

Ueber Verhältnisse der Farbenempfindung bei indirectem und directem Sehen.

Von

Dr. Ed. Raehlmann in Halle.

Hierzu Tafel .II.

Schon vor Purkinje's Versuchen war die Thatsache bekannt, dass die Function der Peripherie der Netzhaut gegenüber dem physiologischen Centrum derselben in Bezug auf das Erkennen farbigen Lichtes im Nachtheile sei, und ist diese Thatsache seitdem von verschiedenen Autoren: Schelske, Aubert, Woinow, Schirmer, zum Gegenstande mehr eingehender Forschung gemacht worden, so dass die Literatur des fraglichen Gegenstandes gegenwärtig keine dürftige genannt werden kann.

Bisher sind aber die Versuche, soviel mir wenigstens bekannt ist, meistens mit Pigmentfarben angestellt worden*) und entbehrten in diesem Falle des Vortheils einer Uebereinstimmung in den Objectflächen, indem sich bei der Verschiedenheit der Pigmente nach Nuance und In-

*) Versuche mit Spectralfarben sind mitgetheilt von Schelske (dieses Archiv IX. 3. S. 44 ff.)

tensität, trotz der grössten Genauigkeit, Unterschiede der Färbungen und somit Abweichungen in den Resultaten nicht vermeiden liessen.

Um nun diese Nachtheile zu vermeiden, habe ich mit Spectralfarben experimentirt, und will mir erlauben, die ganz einfache Methode, welche ich angewandt, kurz zu erläutern.

In einem völlig verdunkelten Zimmer liess ich durch einen schmalen Spalt directes, von einem Heliostaten-spiegel reflectirtes Sonnenlicht auf ein Flintglasprisma mit stark brechendem Winkel fallen. Um die Spectralfarben möglichst rein zu erhalten, liess ich die Strahlen einer bestimmten Gattung durch ein zweites, in einiger Entfernung von dem ersten aufgestelltes Prisma gehen und fing die betreffende Farbe in angemessener Entfernung durch einen vorgestellten tiefschwarzen Schirm auf. Durch viereckige Oeffnungen von verschiedener Grösse, welche in diesem Schirme angebracht waren, konnte ich entsprechend grosse, viereckige Farbenfelder von einer gewünschten Nuance auf einem dahinter angebrachten zweiten Schirme entwerfen. Letzterer besteht aus einer sehr feinen, leicht durchscheinenden Pauspapierfläche, welche in einem breiten Stellrahmen ausgespannt erhalten wird, und mit kleinen Quadraten von 2 Mm. Seite quadrirt ist.

An der Rückseite dieses Stellrahmens stellte ich das Förster'sche Perimeter so auf, dass das Farbenquadrat auf dem Pauspapier, welches durch Veränderung der Grösse der Oeffnung im vorstehenden Schirme seiner Grösse nach verändert werden kann, unmittelbar über oder neben dem Rande des Perimeterbogens je nach dem Winkel, den letzterer mit dem Horizonte bildet, bei Einstellung des Prismas zum Vorschein kommt.

Die Idee der Anwendung des Perimeters musste natürlich, da die Spectralfarbe auf dieselbe Stelle fixirt bleibt, dahin modificirt werden, dass hier statt des indirect beobachteten Objectes das direct (central) fixirende Auge seitlich fortbewegt wird und so der Effect derselbe bleibt.

Wenn der Kopf des Beobachters auf dem Kinnhalter der betreffenden Farbe gegenüber fixirt war, wurde durch Drehung des Auges die Blicklinie einem fest fixirten leuchtenden Punkte nach*) am Rahmen des Perimeters entlang geführt, so dass die Richtungslinie des Farbenobjectes von 0 ansteigend, einen immer grösseren Winkel mit der Blicklinie bildet, welchen Winkel ich zum bessern Verständnisse in Nachstehendem „Abweichungswinkel“ nennen werde.

Das Verhalten der Spectralfarben fand ich nun durchaus verschieden von dem Verhalten farbiger Pigmente.

Die Eigenthümlichkeiten der Uebergänge, die bei Anwendung von Pigmentflächen beobachtet wurden, bestätigten sich auch hier. Die Abhängigkeiten dieser Uebergänge aber von der Grösse der Objectflächen und besonders von ihren Lichtintensitäten weichen von den an Pigmenten gewonnenen und für letztere durchaus nicht anzuzweifelnden Resultaten ganz bedeutend und zwar im Wesentlichen ab, und dieses Factum ist für den, welcher die Verschiedenheit der Effecte des reinen und gemischten Lichtes vom selben Eindrucke kennt, nicht so befremdend.

Die Spectralfarbe Roth geht nun, wenn die Blicklinie sich von ihr entfernt und ihr Bild sich auf einer immer mehr excentrisch gelegenen Stelle der Netzhaut abbildet, bei einem gewissen Abweichungswinkel in Gelb über, und zwar derart, dass es alle Nuancen vom röthl. Orange zum hellen Schwefelgelb durchmacht und endlich als helles Weiss verschwindet.

Violett geht bei einem gewissen Abweichungs-

*) Selbstverständlich darf der leuchtende Punkt nicht beleuchtend wirken und es kann am zweckmässigsten ein phosphorescirender oder doch hellglänzender Körper oder auch eine sehr niedrig brennende Weingeistflamme angewandt werden.

winkel über in Blau; dieses Blau wird immer heller und verschwindet als Blauweiss.

Grün geht über in ein intensives Goldgelb, dann in Hellgelb und endlich in ein fast reines Weiss und verschwindet als solches.

Die Farben Gelb und Blau verändern nur in sofern ihren Charakter, als sie allmählig heller werden und mehr oder weniger in Weiss übergehen.

Die absoluten Grenzen der Empfindung sind für alle Farben bei einer gewissen Lichtstärke nicht sehr verschieden und nähern sich den Grenzen des Gesichtsfeldes.

Die Uebergänge erfolgen nicht für alle Farben an derselben Stelle der Netzhaut, resp. unter derselben Grösse des Abweichungswinkels, sondern dieser Winkel ist bei relativ gleicher Lichtintensität für die verschiedenen Farben ein verschiedener.

Bei den Versuchen, die ich früher mit Pigmentfarben angestellt und ausführlich beschrieben habe, veränderte sich das Grün zuerst, unter einem kleineren Winkel, später das Violett und endlich das Roth. Ich hatte damals Pigmente ausgesucht, welche mir den spectralen Farbentönen am nächsten zu kommen schienen. Immerhin konnte die Auswahl nur annähernd befriedigen und musste von vornherein die Garantie einer rel. Uebereinstimmung der Intensität nach, bei den einzelnen Farben unter sich, worauf, wie wir sehen werden, das meiste ankommt, fraglich bleiben.

Unter den Spectralfarben verändert sich das Roth zuerst, unter einem kleineren Abweichungswinkel, später erst das Grün und endlich das Violett.

Zugleich muss bemerkt werden, dass Gelb relativ viel später in Weiss übergeht, als Blau und für gewisse abgeschwächte Töne dieser Uebergang gar nicht erfolgt, so dass die betreffende Fläche bis an die Grenze des

Gesichtsfeldes richtig als gelb empfunden wird. Obige Befunde finden, was das spectrale Roth betrifft, ihre Analogie in den Untersuchungen über die Grenzen der Empfindlichkeit des Auges für Spectralfarben, wie sie von S. Lamansky in Heidelberg (vergl. Archiv für Ophth. B. XVII., Abthl. 1, p. 123—134) angestellt wurden. Lamansky bestimmte nach der Methode der eben merklichen Unterschiede die Grenzwerte der Empfindlichkeit für polarisirtes Licht beim directen Sehkakt und fand die Empfindlichkeit für Roth am geringsten, stärker für Violett, am stärksten endlich für Grün.

Für eine Quadratfläche von 20 Mm. und $\frac{1}{4}$ Lichtstärke (siehe unten) habe ich die gefundenen Grenzen der Uebergänge auf der beigegebenen Tafel mittelst Curven schematisch dargestellt. Die Curve, welche die Grenze der zum Grün gehörigen gelben Zone ausdrückt, habe ich punktirt gezeichnet.

Die Tafel stellt eine Projection der Netzhaut dar; der Radius des grössten, dem Aequator des Auges entsprechenden Parallelkreises derselben ist nach Analogie der Gradeintheilung des Perimeterbogens in 90 Gradtheile getheilt und durch jeden zehnten Gradtheil ein concentrischer Parallelkreis gezogen, so dass sich die am Perimeter gewonnenen Daten graphisch darstellen lassen. Die Bezeichnungen A, AO, O, etc. beziehen sich auf die Stellung des Perimeterbogens zum Horizonte (Aussen, Aussen Oben etc.). Die Stellungen weichen immer um 45° von einander ab. Die eingeschlossenen Curven bezeichnen die Grenzen der reinen Empfindung, die umschliessenden die der Uebergangsfarben.

Wie die schematische Darstellung zeigt, ist die innere Seite der Netzhaut, vom physiologischen Mittelpunkt aus betrachtet, rücksichtlich der Farbenempfindung entschieden bevorzugt; dagegen zeigt die äussere Seite ein beschränkteres Empfindungsvermögen. Fasst

man jedoch die Eintrittsstelle des Sehnerven als anatomischen Mittelpunkt ins Auge, so gestalten sich die Verhältnisse der Empfindung in den seitlichen Netzhautparthien symmetrischer.

Bei ein und derselben Farbe und bei gleicher Intensität ihres Lichtes ist die Grösse der centralen Zone, innerhalb welcher die Empfindung sich der Nuance nach nicht ändert, abhängig von der Grösse der beobachteten Fläche. Aus den Beobachtungen an Pigmentflächen wissen wir, dass mit der Zunahme der Objectgrösse auch das Feld der reinen Empfindung wächst oder m. a. W. die Farbe um so später in ihre Variationen abklingt.

Beim Versuche mit Spectralfarben beobachtete ich nicht dasselbe Verhalten; hier schien, je grösser die Fläche gewählt wurde, diese desto eher in ihre Veränderungen überzugehen. Bei sehr geringer Grösse des Objectes, wenn dessen Fläche der Dimension nach sich mehr dem Lichtpunkte nähert, ist der Uebergang weniger deutlich und schwieriger zu urtheilen, wann die Variation der Empfindung stattfindet.

Die Grösse des Abweichungswinkels, unter welchem eine Farbenfläche von gewisser Grösse in ihre Uebergangsfarbe sich verändert, ist besonders abhängig von der Lichtstärke der Fläche. Wenn man von sehr kleinen Flächen, bei welchen, wie schon erwähnt, die Verhältnisse wegen des sehr kleinen Gesichtswinkels schwieriger zu beurtheilen sind, absieht, gilt der Satz, dass mit Abnahme der Intensität die Grösse der Empfindung im obigen Sinne zunimmt, wobei jedoch eine Verminderung der Lichtstärke höchsten Grades ausgeschlossen ist, weil sich dann die Unsicherheit der Empfindung ähnlich verhält, wie bei sehr kleinen Flächen.

Bei Anwendung von Pigmentfarben ist beim Abklingen der Empfindungseindrücke die Empfindungsstärke

immer bedeutend geringer, als die Empfindung der Grundfarbe. Man darf sich hierdurch nicht verleiten lassen, ähnliche Verhältnisse bei den Spectralfarben zu präsumiren, sondern man hat hier die Eindrücke der Uebergangsfarben in solcher Intensität, dass sie sich der Empfindungsquote nach nur mit direct gesehenen bezügl. Spectralfarben vergleichen lassen. Bei Abschwächung der Lichtstärke der betreffenden Grundfarbe wird freilich mit der räumlichen Abnahme ihrer peripheren Zone die Empfindung der Uebergänge abgeschwächer, wobei schliesslich die Uebergangsfarben etwas Blasses, Unreines beigemischt bekommen. Je weniger intensiv das Licht gewählt wurde, um so weniger deutlich tritt demgemäss auch der schliessliche Uebergang in Weiss hervor, so dass letzterer bei Lichtstärken etwas unter mittlerer Intensität für Roth und Violettt schon fast unmerklich wird, während er für Grün, dessen gelbe Zone überhaupt relativ schmal ist, noch deutlich wahrzunehmen ist.

Die Abnahme der Lichtstärke des farbigen Lichtes brachte ich hervor durch Einschaltung einer Convexlinse zwischen der viereckigen Schirmöffnung und dem Auffangeschirm, mittelst welcher ich eine Zerstreuung des Lichtes auf den doppelten Raum etc. herbeiführen konnte. Hatte ich z. B. für eine Farbenqualität und für die Flächenausdehnung von 10 Mm. eine bestimmte Grenze gefunden, bei welcher die Abänderung des Grundtones eintrat, und wünschte ich für dieselbe Objectgrösse bei nur halber Lichtstärke diese Grenze zu finden, so stellte ich unmittelbar hinter einer viereckigen Schirmöffnung von der halben Grösse, also von 5 Mm. eine Convexlinse auf und rückte den Auffangeschirm mit der quadrirten Papierfläche in eine solche Entfernung, dass das Zerstreuungsbild genau 10 Mm. gross wurde. Ich fand nun, wenn ich auf diese Weise das farbige Licht

abschwächte, dass die Abänderung in die bezügliche Uebergangsfarbe hier später erfolgt, als sie ohne Einschaltung der Linse bei derselben Grösse der Fläche, aber unverminderter Lichtstärke sich erweist. Der Eindruck der Uebergangsfarben verlor im selben Grade an Intensität, in welchem die Objectfarbe der Intensität nach abgestumpft worden war. Liess ich durch weitere Entfernung des Auffangeschirms von der Durchgangsöffnung und der Linse, die Grösse eines kleinen Farbenquadrates immer mehr zu- und die Intensität immer mehr abnehmen, bis zu dem Grade, wo der Charakter der betreffenden Farbe noch eben wahrgenommen werden konnte, so wurde die Beurtheilung der Eigenschaft der Farbe selbst und ihres Ueberganges so schwierig, dass die Beobachtung weniger genau ausfallen konnte.

Der Uebergang in die besprochenen secundären Variationen erfolgt in den excentrischen Parthien der Netzhaut endlich um so früher, unter einem um so kleineren Winkel, je näher der gewählte Farbenton in der spectralen Farbenreihe dem Uebergangstone liegt. Das Roth der Linie C geht bedeutend eher in Gelb über, als das der Linie D u. s. w.

Um diese Versuche mit einer gewissen Genauigkeit machen zu können, ist es nöthig, mit stark dispergirenden Prismen zu experimentiren und wo möglich das Licht einer bestimmten Qualität durch ein zweites Prisma zu brechen, um ein möglichst grosses und reines Farbefeld zu erhalten.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Farbenempfindung in den peripheren Netzhautparthien hat die Accommodationseinstellung des Auges. Man kann sich von dem Einflusse der Accommodation auf die Grösse der Empfindung auf folgende Art leicht überzeugen. Lässt man eine bestimmte Farbenfläche, z. B. eine Fläche des spectralen Roth, so weit seitlich einfallen, dass ein Ueber-

gang des Farbtones stattgefunden hat und die Fläche orange-gelb erscheint, so wird, sobald man vom bisherigen Fixationspunkte des Perimeters aus, den Blick über oder neben dem Rahmen des Perimeters weg nach einem entfernten Punkte richtet, man eine Abänderung der Uebergangsfarbe Gelb in den Grundton Roth bemerken. (Sehr geeignet für ähnliche Versuche, wo der Accommodation Rechnung getragen werden muss, zeigt sich ein von Brudenell Carter angegebene Perimeter, welches im Principe eine Hohlkugel mit centraler Oeffnung vorstellt.)

Denselben Effect kann man erzielen, wenn man bei unveränderter Accommodation auf den Perimeter ein Convexglas mittlerer Brennweite zwischen dem gelb erscheinenden Quadrat und dem Auge einschaltet. Die erwähnte Reduction der Empfindung in die Grundfarbe tritt noch ein, wenn die Farbe schon bedeutend excentrisch einfällt. Beim Vorhalten der Linse erscheint die Fläche wieder roth, nach Wegnahme des Glases wieder gelb.

Auf den Umstand der unzureichenden Accommodation ist auch die Thatsache zurückzuführen, dass Myopen ein besseres Unterscheidungsvermögen für Farben besitzen, als normalsichtige Augen, und ich habe bei M. demgemäss am Perimeter weit grössere Zonen für die reine Empfindung gefunden, als sich a priori erwarten liess. Ferner konnte ich auch nach Einwirkung von Atropin auf ein emmetropisches Auge eine Zunahme des centralen Farbenfeldes am Perimeter constatiren.

Was nun die Erklärung dieser eigenthümlichen Modificationen der Empfindungseindrücke in peripheren Netzhauttheilen betrifft, so muss dieselbe in einer besonderen physiologischen Function der Theile gesucht werden.

In meiner früheren Arbeit über denselben Gegenstand habe ich die Erscheinungen zu erklären gesucht

durch die Annahme, dass die anatomisch constatirte Abnahme der specifischen Theile in der Peripherie der Retina für die verschiedenen Elemente in verschiedenem Grade erfolge, oder diese Elemente in verschiedenem Grade an Erregbarkeit verlören, um so durch verschiedene Grössenverhältnisse der Componenten Uebergänge des Grundeindruckes erklären zu können. Schon damals habe ich darauf hingewiesen, dass auch die von Helmholtz betonten Abhängigkeiten der Empfindungsquote von der Lichtstärke in Betracht kommen müssten; es gelang mir jedoch nicht, die an Pigmenten beobachteten Erscheinungen auf dieses einheitliche Moment zurückzuführen.

Durch die beschriebenen Beobachtungen an Spectralfarben bin ich jedoch zu der Ansicht geführt, dass in diesen Momenten das Wesen der Uebergänge begründet liegt, glaube, sämtliche Farbenübergänge durch Functionen der Lichtstärke erklären zu können und finde, dass diese Annahme nicht allein allen besprochenen Verhältnissen genügt, sondern auch aus Gründen der Analogie mit gewissen Erscheinungen, die bei directem Sehen beobachtet werden, sehr vieles für sich hat.

Bei directem Sehen folgt die Lichtempfindung dem psychophysischen Getetze; es entsprechen die Steigerungen der Empfindung constanten relativen Grössen des Reizes.

Bei farbigem Lichte hängt nun die Empfindungsstärke nicht allein ab von der lebendigen Kraft der Schwingungen, sondern auch von ihrer Form und für verschieden farbiges Licht ist die Empfindungsstärke eine verschiedene Function der Lichtstärke.

Es ist bekannt, dass Violett bei schwächerem Lichte gesehen wird, Roth erst bei stärkerem. Auf Gemälden verschwinden bei hereinbrechender Dunkelheit zuerst die rothen Töne und erscheinen früher schwarz, als die

grünen und violetten. Bei steigender Lichtstärke geht Roth und Grün in Gelb über, Violett in Blau. Bei intensiver Beleuchtung wiegen im Colorit der Natur die gelben Töne vor, bei schwacher Beleuchtung die blauen. Durch ein rothes Glas, welches nur homogene Strahlen durchlässt, erscheint das Bild der Sonne nicht roth, sondern gelblich weiss etc.

Bei grosser Lichtintensität ist also die Unterscheidung der Farbentöne unvollkommener, als bei gewissen Graden mittlerer Helligkeit; ebenso ist diese Unterscheidung schwieriger bei sehr geringer Lichtintensität, sowie bei Farben von geringer Flächenausdehnung, welche unter sehr kleinen Gesichtswinkeln einfallen.

Diese Erscheinung der Abänderung der Farbeempfindung mit der Intensität des Lichtes erklärt Helmholtz (vergl. Phys. Opt., p. 320) — an dessen Definitionen der Grundempfindungen wir uns genau halten — durch die Annahme, dass in den drei von ihm angenommenen Nervenfasern die Empfindungsstärke nicht proportional der Lichtstärke wachse, sondern, dass sie in den violett empfindenden Nerven-elementen bei steigender Intensität anfangs schneller, später langsamer wachse, als in den grün empfindenden; in diesen ebenso, in Vergleich mit den roth empfindenden.

Uebertragen wir nun diese Verhältnisse auf das indirecte, periphere Sehen, so sind sämmtliche Erscheinungen ohne Schwierigkeit erklärt, sobald wir annehmen, dass, auf Grund der oben erwähnten anatomischen oder besonderer physiologischer Verhältnisse der Elemente rücksichtlich der Erregbarkeit, das Wachsen der Empfindungsstärke mit der Lichtintensität nach den excentrischen Netzhautparthien zu immer stärker erfolge, mithin für jede Faser ein gewisses Maximum der Empfindung früher, also bei einer relativ geringeren Reizung eintrete. Es würde dann für den Effect das-

selbe sein, ob, wie wir es für die Peripherie der Netzhaut annehmen, für dieselbe Lichtstärke die Empfindungsstärke sich ändert, oder ob, wie es bei directem Sehen der Fall ist, bei gleicher Empfindungsstärke die Lichtstärke variirt. Wir können also unter jener Prämisse die oben berührten Thatsachen direct übertragen und finden demnach, dass ein Roth von einer gewissen schwachen Intensität, welches bei directem Sehen seine Farbe noch zeigt, weil das bezügliche Erregungsverhältniss der rothempfindenden Elemente, gegenüber dem der grün- und violett empfindenden, in gehörigem Grade prävalirt, mehr oder weniger excentrisch betrachtet, die rothempfindenden Fasern bei gleicher objectiver Lichtstärke schon ad maximum erregen würde. Nun würde, da die Rothempfindung nicht weiter oder nur sehr schwach steigt, die Grünempfindung ansteigen und ein solches Grössenverhältniss zu der des Roth annehmen, dass die Empfindung der Mischfarbe Gelb resultirt. An einer weiter peripherisch gelegenen Stelle, wenn auch die Grünempfindung zu einem gewissen Maximum gediehen ist und relativ langsamer ansteigt, würde dieselbe rothe Fläche, weil nun auch die von rothem Lichte am schwächsten afficirte violett empfindende Faser in merklicher Weise erregt wird durch Hellgelb in Weiss übergehen.

Das grüne Licht erregt stark die gleichnamigen, schwächer die beiden andern Faserarten. Da aber die Rothempfindung mit der Lichtstärke schneller wächst, als die des Violett, würde Grün in Gelb und endlich, wenn alle drei sich ihrem Maximum nähern, in Weiss übergehen. Ebenso erklärt sich der Uebergang des Violett in Blau. Die Prävalenz endlich der Empfindung Gelb an den entlegensten Theilen würde die Bedeutung haben, dass durch gelbes Licht die violettpercipirende

Faser ansteigend den beiden andern gegenüber in äusserst schwachem Grade erregt werde.

Die Unterscheidung des Farbentons würde auch hier auf der Vergleichung der Empfindungsstärke beruhen. Die Empfindungsstärke als Function der Lichtstärke lässt sich bei mittleren Graden der Helligkeit am besten vergleichen; folglich muss auch hier die Farbenunterscheidung bei einem mittleren Grade von Helligkeit am genauesten sein. Hieraus erklärt es sich einerseits, warum mit der Intensität des Lichtes der angewandten Farbfläche die Zone der reinen Empfindung sich einengt, und die Farbe um so eher übergeht, und andererseits, warum die durch Zerstreung des Lichtes bedingte Abnahme der Lichtstärke auf mehr excentrisch gelegenen Parthien noch die reine Empfindung hervorbringt.

Ebenso leicht erklärt sich der grössere Farbensinn myopischer Augen aus der Thatsache, dass bei ihrer ungenauen Einstellung die Zerstreungsbilder der Netzhaut zugleich eine Verminderung der Lichtstärke und so bessere Bedingungen für Farbenunterscheidungen herbeiführen.

Was nun die untere Grenze der Empfindung betrifft, so muss bei einer gewissen Schwäche der Beleuchtung die Erregung für die eine bez. die rothe Componente unter die Reizschwelle treten, und ausserdem die Empfindungsreinheit abhängig sein vom subjectiven Eigenlichte der Netzhaut, welches die Beurtheilung der Empfindungsstärke stört, indem nicht mehr unterschieden werden kann, ob neben der schwachen Erregung der einen Fasergattung noch eine minimale Erregung der andern vorhanden ist oder nicht.

Wenden wir uns nun von diesen bei jedem Menschen normaliter vorkommenden Erscheinungen zur Betrachtung einiger anomaler Verhältnisse der centralen wie peripherischen Farbenempfindungen, zu den Erscheinungen

der sogenannten Farbenblindheit, so sehen wir, dass bei gewissen sonst physiologisch normalen und ferner auch bei gewissen pathologischen Zuständen der Retina Defecte in der Farbenempfindung vorkommen, welche die reine Perception der ganzen Reihe der Farbtöne corumpiren.

Rücksichtlich der Häufigkeit des Vorkommens dieser Zustände war man im Irrthume, wenn man sie für sehr selten hielt. Im Gegentheile fand ich bei den Untersuchungen, welche ich anstellte, dass bei weitem nicht alle Personen die Grenzen der Töne des Spectrums genau und richtig sehen, dass vielmehr in ca. 40% aller Fälle Verkürzungen an den Spectralenden vorkommen.

Zum Zwecke einer genauen Prüfung dieser Verhältnisse hatte ich in einem Bunsen'schen Spectralapparate die Spalte am Objectivrohre so verengt, dass ich die photographische Scala auf die Fraunhoferschen Linien genau einstellen konnte. Die Enge der Spalte hatte ich so regulirt, dass, bei der Einstellung des Theilstrichs 7,5 auf die Linie D, die Grenze des äussersten Roth mit dem Theilstrich 5 zusammenfiel. Um die Lichtintensität möglichst constant zu erhalten, benutzte ich nicht directes Licht, sondern liess letzteres von einer weissen Wand reflectiren. Unter 70 Personen gaben nun die richtige Grenze bei 5,0 nur an 30 Personen; zwischen 5,0 und 5,3 sahen das spectrale Ende des Roth 20 Personen; 5,4 und 5,5 wurde als Grenze angegeben von 12 Personen. In die Strecke von 5,5—6,0 fiel dieselbe bei 5 Personen. 2 Personen sahen das Ende bei 6,3, einer bei 6,5. Das violette Spectralende untersuchte ich bei nur 20 Personen, fand aber auch hier merkliche Verkürzungen; besonders schien mir bei Verkürzung des rothen auch eine Verkürzung am violetten Ende vorzukommen, so dass die spectrale Farbenreihe an beiden Seiten reducirt gefunden wurde.

Um Beobachtungsfehler zu vermeiden, liess ich bei diesen Versuchen, wenn eine merkliche Verkürzung am rothen Ende constatirt war, zur Controle durch Vorhalten eines rothen Glases nur rothes Licht durch den Spalt fallen, welches sich in Form eines schmalen Streifens am äussersten Roth deutlich präsentirte, und überzeugte mich, dass auch jetzt nach Ausschluss der übrigen Farben die Verkürzung bestand, resp. bei hochgradiger Verkürzung das Gesichtsfeld für leer erklärt wurde.

Trotz dieser genauen Beobachtung mögen noch Fehler in den Angaben vorliegen; jedenfalls fallen sie bei der Anzahl der Fälle nicht ins Gewicht und glaube ich auf Grund dessen zu der Annahme berechtigt zu sein, dass zwischen den Normalzuständen gewöhnlicher Sicherheit in den Farbenunterscheidungen und jenen anomalen Zuständen, wo die Hauptfarben verwechselt werden, constante Uebergänge stattfinden; so zwar, dass der Mangel an Farbensinn erst bei gewissem Grade grob merklich wird.

Auch wird man nicht sehr fehlen, wenn man die meisten jener Personen, welchen erfahrungsmässig die Unterscheidung von Farbennuancen äusserst schwer wird, für in geringem Grade farbenblind resp. rothblind hält. Es soll zwar nicht in Abrede gestellt werden, dass Mangel an Erfahrung und Beobachtung mit Antheil haben, aber wie bei Personen mit mangelhaftem musikalischem Gehör (einem Ausfall der Empfindung für einen verschieden grossen Theil der Wellen längster Form?) die schönste Belehrung sehr viel zu wünschen übrig lässt, so wird es auch hier nur zu gewissen Finessen im Urtheil gebracht werden können.

Mit einer abgeschwächten Reizempfänglichkeit für Roth würde im oben entwickelten Sinne schon bei mässiger Lichtstärke die grüne Componente mit erregt und statt Roth die Mischfarbe Gelb vortäuschen; hier

würde, wie der Versuch am Farbenkreisel bestätigt, ein tiefes Roth mit Orange identisch sein. Dieses Roth würde bei Zunahme der Lichtstärke in Hellgelb übergehen. Das äusserste Roth, die Strahlen längster Wellenform würden von der an Empfindlichkeit abgestumpften Faser gar nicht mehr percipirt werden.

Bei den Zuständen exquisiter Farbenblindheit würde die Function der rothempfindenden Faser vollständig Null geworden sein; ein grösserer Theil des Roth würde am Spectrum ausfallen und das übrige Roth durch Erregung der grünpercipirenden Faser als schwaches Grün empfunden werden.

Selbstverständlich ist, dass nun auch Gelb mit Grün und Roth identisch erscheint, analog dem Grassmann'schen Satze über Farbenmischung, dass, wenn 2 Farben den gleichen Eindruck machen, auch nothwendig ihre Mischfarbe identisch erscheinen muss. Violet würde, wegen Ausfalls des rothen Antheils der Empfindung, blau erscheinen, besonders bei hoher Lichtintensität, wo die Erregung der grünen Componente anschwillt. Demgemäss sehen die betreffenden Personen im Spectrum nur zwei Farben: Grün und Blau.

Was nun jene Formen von partieller oder totaler Farbenblindheit betrifft, welche als Folge pathologischer Processe der Retina nicht selten beobachtet sind, so muss zunächst constatirt werden, dass sie mit jenen angeborenen Formen auf denselben Grundursachen beruhen. Von einigen Autoren ist angegeben worden, dass die pathologische Farbenblindheit eine Grünblindheit sei, dass zuerst für die Wellen mittlerer Länge die Empfindung schwinde. Ich muss diese Annahme für sehr zweifelhaft halten, zumal ich bisher keinen einzigen Fall derart gesehen habe. Sämmtliche Amaurotische, die ich untersuchte, waren rothblind; ein Theil des spectralen Roth war bei Anwendung mittlerer Helligkeit

für die Empfindung Null; ein anderer Theil schwand bei abnehmender Lichtstärke, hervorgebracht durch Verengerung der Spalte des Spectroscops. Bei noch stärkerer Abnahme des Lichtes verschwand der gelbe Complex, dann erst das Grün u. s. w. Die Farben nahmen ab analog der Zunahme ihrer Brechbarkeit, bis bei schwächster Lichtstärke nur noch blaue Töne unterschieden wurden.

Die periphere Empfindung steht zur Grösse der Farbenblindheit in ganz bestimmtem Verhältnisse. Bei den niederen Graden, wo noch eine gewisse Sicherheit, über Farbennuancen zu urtheilen, vorhanden ist, fand ich die Zonen der Uebergangsfarben nach der Mitte zu erweitert; das Feld der centralen reinen Empfindung entsprechend eingeengt.

Dieses Verhalten führte mich zu folgender Erwägung: Ich habe eben darauf hingewiesen, dass das centrale Feld der Netzhautfläche, innerhalb welches die Farben ihren ursprünglichen Charakter beibehalten, unsymmetrisch gelagert ist zum gelben Flecke, dem Punkte des physiologischen Fixirens, dass vielmehr dieses Feld die Eintrittsstelle des Sehnerven mehr oder weniger concentrisch einschliesst (vergl. die Tafel.)

Bei gewissen pathologischen Processen geht nun die secundäre Degeneration und Atrophie der empfindenden Theile von der Eintrittsstelle des Sehnerven aus und von hier aus excentrisch weiter. Würde diese Atrophie der Theile eine gewisse Grösse erreicht haben, so könnte sie Erregbarkeitsverhältnisse herbeiführen, die den obigen Erscheinungen zu Grunde liegen; würde sie für eine gew. centrale Zone vollständig sein, so würde mit einer Vergrösserung des blinden Fleckes auch die Function der in seinem Bereiche liegenden centralen spec. Theile, von denen wir wissen, dass sie das genaueste Farbenunterscheidungsvermögen besitzen, weg-

fallen; das Feld der Farbenunterscheidung würde excentrischer verlegt werden und eine gewisse Quote der Empfindlichkeit würde ausfallen. In diesem Sinne würde hochgradiges Staphyl. p. und ähnliche Zustände die Farbenempfindung beeinflussen können.

Ich hatte Gelegenheit, einen Fall zu untersuchen, der in dieser Hinsicht sehr interessant war. Das Auge des Betreffenden bot ophthalmoscopisch das Bild einer hochgradigen markigen Sehnervenausbreitung bei nicht erheblich geschwächtem Sehvermögen. In der Breite eines Opt.-Querschnitts war die Papille von einem hellweiss schimmernden Ringe, der nur an der med. Seite eine kleine Unterbrechung zeigte, umgeben.

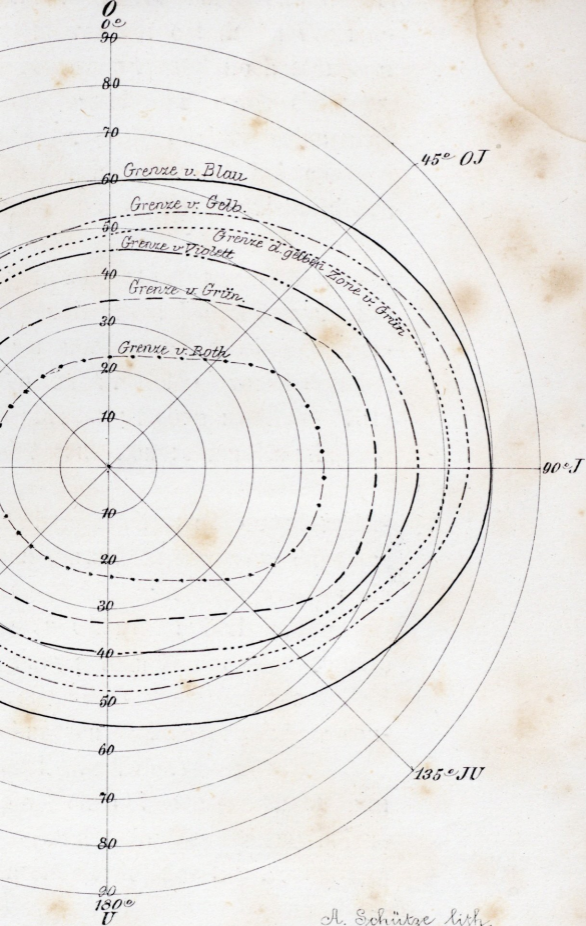
Meine Vermuthung, dass hier die Farbenempfindung eine Schwächung zeigen müsste, bestätigte sich insofern, als das rothe Spectralende verkürzt angegeben und beim Vorhalten des rothen Glases das Gesichtsfeld für völlig dunkel erklärt wurde.

Wenn sich bei einer gewissen Zahl von Beobachtungen das obige Verhalten als Regel nachweisen liesse, so würde man in der That Verhältnisse, wie sie jeder bei indirectem Sehen an sich selbst beobachten kann, auf den directen Sehaht der betreffenden Personen übertragen können und damit alle Erscheinungen in befriedigender Weise erklärt haben.

Halle, im September 1873.

Fig. 2.





A. Schütze lith.