Studien über Lichtsinn und Farbensinn.

Von

Dr. Ole B. Bull.

Hierzu Tafel III—VII.

Obwohl man schon seit langer Zeit verschiedene Wege kennt, auf welchen man zu einem numerischen Ausdruck, sowohl für den Lichtsinn, als für den Farbensinn gelangen kann, so fehlt doch noch viel daran, dass die ebengenannten beiden Sinnesenergien so oft und so genau bestimmt würden, als der Formsinn. Dieser Umstand ist gewiss hauptsächlich aus der grossen Bedeutung zu erklären, welche ein Sinken des letzteren unter eine gewisse Minimalgrenze unmittelbar für den Patienten haben muss; zum Theil dürfte derselbe aber auch seinen Grund darin haben, dass der Licht- und Farbensinn mittelst der bisher bekannten Untersuchungsmethoden sich bei weitem nicht so bequem und schnell bestimmen lässt, wie dies beim Formsinn, seit Einführung der jetzt so allgemein gebräuchlichen Leseproben, der Fall ist.

Eines der Ziele, welches ich die 2 oder 3 Jahre hindurch, während welcher ich mit den vorliegenden Untersuchungen beschäftigt gewesen bin, nicht aus dem Auge verloren habe, war darum auch die Auffindung einer praktischeren Methode zur numerischen Bestimmung

sowohl des Licht- als des Farbensinnes. Daneben habe ich mir es angelegen sein lassen, in Bezug auf verschiedene Fragen, welche bisher als unentschieden angesehen wurden, zu grösserer Klarheit zu gelangen. Dahin rechne ich Probleme der Art: ob und wie der Lichtsinn und der Farbensinn vom Centrum nach der Peripherie hin abnehmen, ob und für welche Farbentöne das Centrum eine grössere Empfindlichkeit aufweist, ob es Regionen der Netzhaut giebt, von denen man annehmen muss, dass sie ganz des Vermögens ermangeln, gegen Farbeindrücke zu reagiren und ähnliches mehr. Geflissentlich habe ich mich in der ganzen Zeit, wo ich mit den vorliegenden Untersuchungen beschäftigt war, jedes eingehenderen Studiums der einschlagenden Litteratur enthalten. Erst nach dem Abschluss meiner eigenen Arbeiten, habe ich nach Kräften gesucht, mich mit den Untersuchungen anderer Forscher bekannt zu machen und auseinanderzusetzen, da ich mir dessen wohl bewusst war, welch' dominirenden Einfluss eine vorausgefasste Meinung auf die Ausdeutung einer jeden Beobachtung zu haben pflegt. Bei einer derartigen Arbeitsordnung wird man freilich oft genug die Erfahrung zu machen haben, dass vieles von dem, was man neu entdeckt zu haben glaubte, schon längst von andern publicirt worden ist; die darin liegende Enttäuschung wird jedoch insofern zur Ermunterung, als eine solche Bestätigung der eigenen Beobachtungen das Vertrauen zum eigenen Beobachtungsvermögen stärkt, ein Vertrauen, welches bei Untersuchungen dieser Art oft genug vom Zweifel sich muss anfechten lassen.

Der Lichtsinn.

Nach Prof. Förster's Methode, die, soviel mir bekannt, als diejenige dasteht, welche die weiteste Verbreitung erlangt hat, wird die Bestimmung des Licht-

sinnes im dunkeln Raume vorgenommen. Die Länge der Adaptationszeit ist darum bei derselben ein vorzugsweise in Betracht kommendes Moment. Wie von Förster*) nachgewiesen, steht die Zeit, welche das pathologisch alterirte Auge bedarf, um sich einer schwächeren Beleuchtung zu adaptiren, in keinem bestimmten Verhältniss zu der für das normale Auge erforderlichen Zeit. Ein anderer Faktor, der auch Berücksichtigung beanspruchen dürfte, wenn man die Untersuchungen bei sehr herabgesetzter Beleuchtung vornimmt, ist die Grösse des Eigenlichtes der Retina. Ist dies in Folge des pathologischen Processes gestiegen, $H_0^{**})$ also grösser als die Norm, so muss auch h (die kleinste wahrnehmbare Lichtdifferenz) steigen, wenn dieselbe nicht jenseits der Untergrenze unseres Wahrnehmungsvermögens liegen bleiben soll.

Es kann darum wohl geschehen, dass man mittelst Förster's Lichtsinnmesser zu niedrige Werthe erhält, jedenfalls relativ niedrigere, als die, welche man erlangt hätte, wenn man den Lichtsinn bei einer Beleuchtung von der Stärke geprüft hätte, unter welcher wir gewöhnlich unsere Augen gebrauchen. Dass Förster's Methode in solcher Weise unter bestimmten Verhältnissen ein zu empfindlicher Massstab werden dürfte, kann ihr jedoch nicht eigentlich als Mangel angerechnet werden; was dieselbe indessen minder praktikabel macht, liegt in dem Umstand, dass sie im dunkeln Raume vorgenommen werden muss, während ein solcher nicht jedem zu jeder Zeit zu Verfügung steht. v. Hippel's ***) und Weber's †) Methode beruhen im Wesentlichen auf demselben Princip, wie die Förster'sche und erfordern, wie diese, eine finstere Kammer, die zum

*) Arch. f. Ophth. XX. 1. S. 49.

**) Helmholtz, Physiolog. Optik S. 313.

***) Zehender, Klin. Monatsblätter 1871, S. 346—349.

†) Helmholtz l. c. S. 314.

mindesten einen Zeitaufwand beansprucht, ehe sie sich herstellen lässt.

Eine andere Weise, in welcher sich die Empfindlichkeit für Lichteindrücke prüfen lässt, besteht darin, dass man gleich breite schwarze Striche auf einer weissen Scheibe in verschiedenem Abstand vom Centrum der letzteren aufzeichnet. Lässt man nun die Scheibe rotiren, so kommen mehr oder weniger deutliche Ringe zum Vorschein, deren Lichtstärke im Verhältniss zum weissen Grunde sich berechnen lässt (nach der Formel $h = 1 - \frac{d}{2r m} *$). Diese Methode hat den Vorzug, dass sie sich bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung ausführen lässt. Indessen ist auch sie, abgesehen von dem Umstande, dass zu ihrer Anwendung ein Rotationsapparat erfordert wird, mit verschiedenen Uebelständen behaftet. So ist es schon nicht immer ganz leicht, zumal wenn man es mit weniger intelligenten Personen zu thun hat, bestimmte Angaben darüber zu erhalten, in welchem Abstand vom Centrum die Ringe noch gesehen werden. Man weiss ja nämlich, wie grade bei rotirenden Scheiben jene perversen Wahrnehmungen, welche auf die Einflüsse des Contrastes und der Induction zurückgeführt zu werden pflegen, sich in hohem Grade geltend machen, und wie ihre Einwirkung sich darin zeigt, dass die subjectiven Eindrücke keineswegs immer den objectiven Bedingungen entsprechen, durch welche sie hervorgerufen werden. So werden sich auch bei dem eben erwähnten Experiment in den meisten Fällen unbewusste Schlüsse mit einmischen. Die inneren, deutlichen Ringe werden bei dem Patienten die Vorstellung hervorrufen, dass die ganze Scheibe mit Ringen bedeckt ist, und ihn zu dem Glauben verleiten, dass er solche auch weiter

*) Helmholtz, l. c. S. 314.

gegen die Peripherie hinaus sieht, als sein Wahrnehmungsvermögen in der That reicht. In welchem Grad der Patient sich von solchen falschen Vorstellungen beeinflussen lässt, ist aber wiederum für den Arzt kaum annähernd zu ermitteln, da man hier nicht, wie bei dem Förster'schen Verfahren polymorphe Figuren anwenden und den Patienten diese beschreiben lassen kann. *) Endlich muss man bei der Anwendung dieser Methode das Resultat immer mit dem vergleichen, welches man durch gleichzeitige Untersuchung des eigenen Auges erhält. Man experimentirt nämlich hier nicht, wie bei dem Förster'schen Lichtsinnmesser, mit einer photometrisch bestimmten Lichtintensität, weshalb die absoluten Werthe auch von geringerem Gewichte werden müssen, da ja die Empfindlichkeit für Lichtdifferenzen mit der wechselnden Lichtintensität des Gesichtsfeldes differirt.

Diesen Mangel an Controle über die Angaben des Patienten halte ich für die grösste Unzuträglichkeit der besprochenen Methode. Es lässt sich diesem Uebelstand indessen in der Weise abhelfen, dass man eine Reihe von grauen Nuancen fixirt, die den auf der Rotationsscheibe entstehenden entsprechen, wenn man hier schwarze Striche auf weissem Grund oder weisse Striche auf schwarzem Grund beobachtet. Da ein weisser Grund für minder zweckentsprechend anzusehen ist, da die Menge des von demselben reflectirten Lichtes das Auge blenden kann, so habe ich schwarze Scheiben mit weissen

*) Bei der Anwendung polymorpher Figuren wird freilich Lichtsinn und Formensinn nicht so scharf auseinandergehalten, als da, wo dieselben nicht benutzt werden. Das hat indessen, so lange nur grössere Schwinkel angewendet werden, weniger zu bedeuten. Snellen's und Landolt's Modification der Förster'schen Methode (Graefe und Saemisch, Bd. III. S. 37) halte ich grade aus dem Grunde, dass diese Controle zum grossen Theil aufgegeben wird, für weniger glücklich.

Sectoren von verschiedener Breite gewählt. Zehn Nuancen, die Sectoren von 2° , 3° , 5° , 7° , 10° , 16° , 28° , 40° , 48° und 60° entsprechen, wurden mittelst Pigment fixirt, und darauf, nach der Helligkeit geordnet, auf zwei Tafeln übertragen. Auf diese Tafeln wurden darauf aus Papier ausgeschnittene Buchstaben aufgeklebt und der übrig bleibende Grund darauf mit Schwarz von derselben Tiefe gedeckt, wie das, welches zur Grundirung der Rotationsscheiben angewendet worden war. Entfernt man nun das aufgeklebte Papier, so werden die demselben entsprechenden Buchstaben in Grau auf schwarzem Grunde zu sehen sein, und zwar mit grösserer oder geringerer Deutlichkeit, je nach dem Helligkeitsgrade der zuerst hergestellten grauen Nuancen.

Es ist für den, welcher nur einige Uebung darin hat, mit Pigmenten umzugehen, eine verhältnissmässig leichte Aufgabe (mit einem hinreichenden Grad von Genauigkeit) eine Reihe derartiger Nuancen darzustellen, aber die technische Ausführung zweckmässiger Probeobjecte bietet dennoch immer nicht geringe Schwierigkeiten. Man ist auf den Gebrauch von Oelfarben angewiesen, da nur diese sich gleichmässig mischen lassen und mit Leichtigkeit auf jede Fläche übertragen werden können, mit Sicherheit dafür, dass man, ohne eine Veränderung im Farbenton zu riskiren, immer mit denselben Nuancen operirt. Dieselben haben ausserdem noch den Vortheil, dass die in solcher Weise bemalten Flächen nach dem Trocknen von Staub und Flecken rein gewaschen werden können. Bei der Anwendung von Oelfarben kommen indessen einige Umstände in Betracht, die es erschweren, die Probeobjecte so darzustellen, dass dieselben nur durch ihre Lichtdifferenz von ihrer Umgebung sich abheben. Zunächst ist hier die grössere Körperlichkeit der Oelfarben den Aquarellfarben gegenüber zu erwähnen. Hat man dem Grunde einen helleren Ton gegeben und wünscht denselben nun so zu decken, dass bloss kleinere Theile desselben in der Gestalt von Buchstaben u. s. w. sichtbar bleiben, so werden diese leicht bei gewissen Stellungen der Fläche gegen die Lichtquelle schon allein in Folge der Niveaudifferenz sichtbar werden, welche durch

die zur Deckung des Grundes nothwendige dickere Farbens-
schicht bedingt wird. Der die Buchstaben umgebende Rand
wird nämlich auf der einen Seite Schatten werfen und auf der
anderen durch seine stärkere Beleuchtung sich bemerklich
machen. Sucht man diesem Uebelstande dadurch zu entgehen,
dass man das angewendete Pigment mit Oel verdünnt, so wird
wieder der Farbenton des Grundes leicht durchscheinen. Ein
anderer Umstand, der die Ausführung erschwert, liegt darin,
dass die Oelfarben beim Eintrocknen „einschlagen“. Die Ober-
fläche erhält nämlich Tausende von kleinen Rissen, wodurch
das reflectirte Licht einen mehr in das Bläuliche spielenden
Ton annimmt. Dieses Einschlagen lässt sich auch dadurch
nicht völlig verhindern, dass man die Pigmente auf der Palette
mit Firniss mischt, sondern man muss versuchen, dem Pig-
ment den Ton, welchen es im frischen Zustand hatte, dadurch
wieder zu geben, dass man die damit gedeckten Flächen nach
dem Eintrocknen mit Firniss überstreicht. Hierdurch wird
freilich ein etwas störender Glanz hervorgebracht, der noch
dadurch vermehrt wird, dass man die Tafeln, um sie vor Ver-
stauben zu bewahren, mit Glas überdecken muss. Es hat in-
dessen keine Schwierigkeit, die Tafeln so zu placiren, dass
dieser spiegelnde Glanz sich nicht störend geltend macht.

Wie bekannt, bringt ein intermittirendes Licht, wenn
die Dauer der Intermissionen hinreichend kurz ist, einen
gleichmässigen Eindruck hervor, gerade als ob das Licht
über den ganzen Zeitraum vertheilt gewesen wäre, und
die Intensität des gesammelten Lichteindrucks wird von
der Intensität und der Extensität des ursprünglichen
Lichtes abhängig sein. *) Hat man also eine weisse
Scheibe mit einem schwarzen Sector, so wird die Scheibe
bei hinreichend schneller Umdrehung — da ja das rela-
tative Verhältniss zwischen Weiss und Schwarz auf jedem
Theil der Scheibe dasselbe bleibt — gleichmässig grau
erscheinen, und die Helligkeit dieses Grau im Ver-

*) Plateau, Betrachtungen über ein von Herrn Talbot vor-
geschlagenes photometrisches Princip. Annalen der Physik und
Chemie, Bd. 35, S. 458.

hältniss zum Weiss der Scheibe wird bestimmt durch die Formel $(360^\circ - n^\circ) : 360^\circ$, vorausgesetzt, dass der schwarze Sector von n° kein Licht reflectirt hätte. Da indessen alle Körperflächen einiges Licht zurückwerfen, wird es, wenn man eine ganz genaue Bestimmung verlangt, sich noch als nothwendig erweisen, zuerst eine Untersuchung darüber anzustellen, wie viel Licht die angewendete schwarze Scheibe, im Vergleich mit der weissen, aussendet. Bei zunehmender Winkelbreite des schwarzen Sectors kommt selbstverständlich diese Lichtmenge mehr und mehr in Betracht, und wendet man schwarze Scheiben mit weissen Sektoren von geringer Winkelbreite an, so wird der Einfluss derselben kein unbedeutender mehr sein. Da letzteres Verfahren bei den hier vorliegenden Untersuchungen angewendet worden ist, lag demnach hier die Nothwendigkeit vor, durch eine besondere Beobachtungsreihe erst photometrisch die relative Helligkeit der schwarzen und weissen Scheibe zu bestimmen. Um die Richtigkeit der nach der Massonschen Methode vorgenommenen Observationen zu controliren, wurden diese Beobachtungen gleichzeitig auch auf die relative Helligkeit der 10 grauen Nuancen ausgedehnt. Prof. Schöitz hat in zuvorkommendster Weise eine nicht unbedeutende Zeit dafür geopfert, um zusammen mit mir diese Bestimmungen auszuführen und hierfür, wie für so manchen anderen werthvollen Rath, den ich in verschiedenen, den vorliegenden Gegenstand betreffenden Fragen, von ihm erhalten habe, spreche ich demselben auch bei dieser Gelegenheit meinen verbindlichsten Dank aus.

Die angewendete Untersuchungsmethode stimmte in den wesentlichen Stücken mit der überein, welche von Prof. Aubert beschrieben ist (Physiologie der Netzhaut S. 72).

In einem so viel als möglich verfinsterten Raume mit geschwärzten Wänden und Decke wurde die weisse Scheibe aufgestellt, 5,76 m von der Lichtquelle, einem gewöhnlichen Stearinlicht, entfernt. Die schwarze Scheibe wurde darauf auf einer senkrecht stehenden, längs eines eingetheilten Metallstabs verschiebbaren, um ihre horizontale Axe drehbaren Scheibe aufgeklebt. Das Auge des Beobachters wurde durch einen Schirm gegen das Licht geschützt, während derselbe die Scheiben durch ein inwendig geschwärztes Rohr betrachtete. Um den störenden Reflex der gefirnissten schwarzen Scheibe zu entfernen, zeigte es sich nothwendig, die senkrechte Platte, auf welcher die Scheibe aufgeklebt war, um eine gewisse Anzahl Grade um ihre Verticalaxe zu drehen. Die Beobachtungen wurden stets in doppelter Weise angestellt, indem wir immer zwei Punkte notirten, von denen der eine sich dadurch ergab, dass man die schwarze Scheibe aus einem so grossen Abstand von der Lichtquelle, dass dieselbe dort sich entschieden dunkel gegen die fernere weisse Scheibe abhob, dem Lichte so lange näherte, bis die Scheiben gleiche Helligkeit zeigten, und der andere dadurch, dass man dieselbe Scheibe, nachdem sie dem Lichte so nahe gestanden hatte, dass sie sich heller als die weisse zeigte, nun wieder so weit entfernte bis die Helligkeiten übereinstimmten. Die Mittelzahl der durch diese zwei Beobachtungen gefundenen Werthe wurde darauf notirt. Fast durchgängig war zu bemerken, dass sich für den Punkt gleicher Helligkeit ein geringerer Abstand von der Lichtquelle in dem Falle ergab, wo man die schwarze Scheibe vom Lichte entfernte, als in dem Falle, wo man dieselbe dem Lichte näherte.

Die 10 grauen Nuancen wurden in derselben Weise bestimmt, wie das Verhältniss zwischen Schwarz und Weiss. Bei der Untersuchung der 4 hellsten Nuancen wurde die weisse Scheibe in einem Abstand von 110 cm von der Lichtquelle aufgestellt. Die 6 dunkelsten wurden nach ihrem Verhältniss zu den grauen Nuancen bestimmt, die $28^{\circ} \text{h} + 332^{\circ} \text{s}$ entsprach, nachdem zuerst das Verhältniss letzterer zu Weiss festgestellt war. Wir waren genöthigt, in dieser Weise vorzugehen, da der eingetheilte Stab nur 110 cm mass. Bei der Bestimmung der dunkelsten grauen Nuancen liess sich aber die weisse Scheibe nicht in einem so geringen Abstand von der Lichtquelle placiren, da in solchem Fall die dunklere Scheibe

um die scheinbar gleiche Helligkeit zu erlangen, dem Lichte so nahe gerückt werden musste, dass sie nicht mehr gleichmässig beleuchtet wurde, während auf der andern Seite Weiss in dem früheren Abstand, 5,76 m von der Lichtquelle, sich so dunkel zeigte, dass die helleren grauen Scheiben mehr als 110 cm von letzterer entfernt werden mussten, um gleichen Lichtton zu erzielen.

Bei den Beobachtungen suchten wir immer für die entferntere Scheibe zu accommodiren. Was die Grösse der angewendeten Objecte betrifft, so hatte die in 5,76 m Entfernung aufgestellte weisse Scheibe einen Radius von 30 cm. Die schwarzen und weissen, nach den Radien geschlitzten Scheiben, welche, die eine über die andere geschoben, dazu gebraucht wurden, um auf der Umdrehungsscheibe Grau von verschiedener Helligkeit darzustellen, hatten 5 cm Radius, während die kleineren, nicht geschlitzten, mit grauem Pigment bemalten Scheiben 3 cm Radius massen. Auf der Umdrehungsscheibe bildeten diese den centralen Theil und deckten einen entsprechenden Theil der grösseren schwarzen mit weissem Sector. Letztere sowohl, als auch die schwarzen Scheiben, waren gefirnisst, bei den weissen Scheiben war dies nicht der Fall.

Die nach den Beobachtungen berechneten Werthe sind von Prof. Schöitz bestimmt. Für die schwarze Scheibe ist derselbe das Mittel aus 48 Beobachtungen (24 von jedem der beiden Beobachter), für die grauen das Mittel aus 24 Beobachtungen.

Bezeichnet man die Lichtmenge, welche die weisse Scheibe bei einer gegebenen Intensität der Beleuchtung reflectirt, mit 1,0000, so findet man, dass die schwarze Scheibe bei derselben Beleuchtung nur 0,0052 reflectirt, d. h. 192mal weniger. Wie man ersieht, ist dies eine bedeutend grössere Differenz zwischen Schwarz und Weiss, als Andere gefunden haben. Aubert giebt den Unterschied zwischen dem von ihm angewendeten Schwarz und Weiss zu 1s:57h*), und führt Unger an, nach welchem der Unterschied zwischen dem dunkelsten

*) l. c. S. 73.

Schwarz und dem reinsten Weiss das Verhältniss 1:100 nicht übersteigen soll. Ich glaube indessen nicht, dass das von uns gefundene Resultat auf irgend welchem Beobachtungsfehler beruht. Das gefirnisste (oder nicht getrocknete) Blauschwarz ist ein ungleich tieferes Schwarz, als irgend welche mit Aquarell gefärbte Papierfläche liefert*), während ebenso eine mit Zinkweiss gedeckte Fläche ein reineres Weiss darbietet, als die meisten Papierflächen, welche fast immer in den einen oder anderen Farbenton hinüberspielen. Die in Folge des Glanzes nothwendig gewordene schräge Stellung der schwarzen Scheibe im Verhältniss zur Lichtquelle involvirt unzweifelhaft eine Fehlerquelle, welche vermieden wäre, wenn wir ein matteres Schwarz in Anwendung gebracht hätten, aber es liegt kein Grund zu der Annahme vor, dass diesem Umstand — der selbstverständlich bei der Berechnung seine Berücksichtigung fand — die Schuld dafür beizumessen sei, dass wir ein von anderen so abweichendes Resultat erhalten haben. Wie wir später nachweisen werden, sprechen auch andere Versuche, welche mit denselben Scheiben in der Hinsicht angestellt wurden, um die geringste wahrnehmbare Lichtdifferenz zu ermitteln, für die Richtigkeit des hier angeführten Resultates.

Für die 10 grauen Nuancen fanden wir für das Verhältniss, in welchem dieselben zu Weiss stehen, noch folgende Werthe. l_n bezeichnet die graue Nüance, welche dem Ausdruck $360^\circ s - n^\circ h$ entspricht. Die Zahlen der 1. Columnne bezeichnen die Helligkeit des grauen Pigments, auf Weiss bezogen, wenn diese nach dem auf der Umdrehungsscheibe gefundenen Resultat berechnet werden. Die Zahlen der 2. Columnne sind die

*) Eine mit Tusche gedeckte Papierfläche entspricht $353^\circ s + 7^\circ h$, und ist also bloss 40mal dunkler als das von mir angewendete Weiss.

durch unsere photometrischen Untersuchungen gefundenen Werthe. Für 5 der dunkleren Nuancen von Grau ist in der dritten Spalte noch eine Reihe von Zahlen aufgeführt, welche ebenfalls aus den durch die photometrischen Untersuchungen gefundenen Werthen abgeleitet sind, aber bei welchen man von der auf der Umdrehungsscheibe gefundenen Helligkeit von l_{28} und nicht von dem geringeren in oben beschriebener Weise gefundenen Werthe ausgegangen ist.

		1.	2.	3.
$l_2 = 2^\circ$ Weiss	$+ \frac{(358^\circ \text{ schwarz. } 0.0052)}{360^\circ}$	$= 0,010721$	$0,0092$	$0,0110$
$l_3 =$	„ „	$0,0134$	$0,0110$	?
$l_5 =$	„ „	$0,189$	$0,0123$	$0,0143$
$l_7 =$	„ „	$0,0245$	$0,0162$	$0,0188$
$l_{10} =$	„ „	$0,0327$	$0,0232$	$0,0267$
$l_{16} =$	„ „	$0,0494$	$0,0333$	$0,0387$
$l_{28} =$	„ „	$0,0801$	$0,0756$	
$l_{40} =$	„ „	$0,116$	$0,0930$	
$l_{48} =$	„ „	$0,138$	$0,1112$	
$l_{60} =$	„ „	$0,171$	$0,1417$	

Man ersieht aus diesen Zahlen, dass wir bei den photometrischen Messungen nach Auberts Methode durchgängig niedrigere Werthe gefunden haben, als auf der Umdrehungsscheibe. Dies kann jedenfalls theilweise daraus erklärt werden, dass, während die Beobachtungen auf der Masson'schen Scheibe bei Tageslicht vorgenommen wurden, die anderen bei künstlicher — hier rothgelber — Beleuchtung statthatten. Da nun sämtliche graue Scheiben durch das Eintrocknen einen in das Bläuliche spielenden Ton*) angenommen haben, müssen dieselben

*) Wünscht man vermittelt Pigment ein reines Grau herzustellen, so muss man von den gewöhnlich benutzten Pigmenten, ausser Schwarz und Weiss, nicht unbedeutende Mengen anders gefärbter, namentlich Roth und Gelb, anwenden, und die beim Trocknen eintretende Farbenänderung beruht möglicher Weise auf einer chemischen Veränderung der weniger beständigen unter diesen beigemischten Farben.

bei rothgelber Beleuchtung dunkler erscheinen. Ich werde weiter unten nachweisen, wie ich in anderer Weise versucht habe, die Richtigkeit der mittels der Umdrehungsscheibe gefundenen Uebereinstimmung zwischen dem von Pigmenten reflectirten und dem aus Weiss und Schwarz resultirenden Grau zu controliren.

Nachdem nun also die relative Helligkeit der 10 grauen Nuancen sowohl mittels der Rotationsscheibe, als in der eben geschilderten Weise ermittelt worden ist, und man sich so Probeobjecte in tabellarischer Ordaung verschafft hat, können letztere dazu benutzt werden, um die untere physiologische und pathologische Grenze der räumlichen Lichtdifferenz zu bestimmen, und — insofern man daraus Schlüsse über den Lichtsinn im Allgemeinen ziehen darf — zur Photoptometrie. Zuerst ergibt sich indessen die Nothwendigkeit, in Uebereinstimmung mit dem bei der Eidoptometrie benutzten Verfahren, eine untere physiologische Mittelgrenze aufzustellen, nach welcher die Grade der pathologischen Abweichungen sich beurtheilen lassen. Da die grauen Nuancen mit Hülfe der Rotationsscheibe hergestellt sind und den dort bei weissen Sektoren auf schwarzem Grund auftretenden Tönen entsprechen, so würde man jene untere Grenze mit Hülfe des gleichen Apparates feststellen, und danach von derselben ausgehen können. Für schwarze Scheiben mit weissen Sektoren hat man jedoch meines Wissens bisher noch nicht eine untere Grenze gefunden.*)

*) Für Schwarz auf weissem Grund giebt Helmholtz (S. 315) $\frac{1}{167}$, Aubert (S. 80) $\frac{1}{185}$. Für mein eigenes Auge (S. $\frac{7}{5}$, emmetro-
pisch) würde ich $\frac{1}{180}$ als die mittlere untere Grenze ansetzen, da ein 1,5 mm breiter und 6 mm langer Strich in 35 mm Abstand vom Centrum (bis an die Mitte des Strichs gerechnet) bei Tagesbeleuchtung immer einen sichtbaren Ring hervorbringt, voraus-

Der feinste Strich, den ich mit Oelfarbe auf schwarzer Scheibe, 85 mm vom Centrum, anbringen kann, giebt immer noch einen deutlichen Ring. Schätzt man die Breite des Ringes auf 0,25 mm, so ergiebt sich eine Lichtdifferenz zwischen Ring und Grund $= \frac{1}{11}$. Für Flächen, die durch ihre Körperlichkeit gegen einander sich abgrenzen, wird das Wahrnehmungsvermögen für Lichtdifferenzen indessen bedeutend weniger sein. Deckt man die zwei Scheiben durch eine dritte centrale schwarze Scheibe, so ist ein Sector von ca. $\frac{1}{4}^{\circ}$ erforderlich, wenn eine wahrnehmbare Lichtdifferenz zwischen dem inneren und äusseren Theil der Scheibe auftreten soll. Dies entspricht einer Differenz von ca. $\frac{2}{15}$ und gilt für Scheiben von 5 und 3 cm Radius. Nun ist aber unser Wahrnehmungsvermögen für Lichtdifferenzen nicht allein vom grösseren oder geringeren Contrast gegen die Umgebung, sondern auch von der Ausdehnung des Objectes abhängig. Je kleiner der eine dieser beiden Factoren ausfällt, desto grösser muss der andere sein, wenn der Eindruck bis zu unserem Bewusstsein durchdringen soll. Prof. Ricco*) hat diesen Erfahrungssatz genauer so formulirt, dass das Product aus dem Gesichtswinkel und dem

gesetzt, dass die Scheibe in einer bestimmten Stellung ungefähr 2 m vom Fenster entfernt steht. Bringe ich die Scheibe in den directen Sonnenschein, und dann wieder aus demselben, so bringt ein Strich von gleicher Länge und Breite in 50 mm Abstand vom Centrum immer noch einen grauen Ring, der freilich an der Grenze verwischt, doch aber immer noch sicher wahrnehmbar ist. Dies entspricht einer Lichtdifferenz von $\frac{1}{240}$, welcher hohe Werth da-

für spricht, dass die Lichtdifferenz zwischen dem von mir gebrauchten Schwarz und Weiss nicht zu gross gefunden worden ist.

*) Referirt im Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 23, 1878.

Quadrate der Lichtintensität stets eine constante Grösse bilden müsse oder mit andern Worten, dass die Grenze der Sichtbarkeit bei dem kleinsten Gesichtswinkel dem Quadrat der Lichtintensität umgekehrt proportional sei. Dieses Verhältniss zwischen Gesichtswinkel und Lichtintensität hat zur Folge, dass eine untere Mittelgrenze für den Lichtsinn *) ebenso leicht zu bestimmen ist, als für den Formensinn, ja bis auf einen gewissen Grad muss ja die Bestimmung des letzteren einfach als eine Bestimmung des Lichtsinnes im centralen Theil der Retina angesehen werden, wenn auch aus verschiedenen Gründen keine absolute Uebereinstimmung besteht. Bei Untersuchung einer ziemlich grossen Anzahl von Individuen habe ich gefunden, dass die meisten in einem Abstand von 1 m grade im Stande waren, Buchstaben zu entziffern, die Snellens No. 6 in 1 m Abstand entsprachen.

Den hierzu erforderlichen Lichtsinn nehme ich demnach als Norm an. Finde ich nun, dass ein Patient nicht mehr 1₂, wohl aber eine niedrigere Nummer entziffern kann, so lässt die Abnahme von L, welche in solcher Weise zu Tage tritt, sich dadurch ausdrücken, dass man die gefundene Nummer als Nenner eines Bruches schreibt, dessen Zähler 2 ist. Diese Bezeichnung ist nur dann anwendbar, wenn wir unter L ausschliesslich unser Vermögen für die Wahrnehmung von Lichtdifferenzen im hellen Raume verstehen dürfen, da dieselbe sich jedoch durch ihre Einfachheit so sehr empfiehlt, möchte ich immerhin die Beibehaltung derselben vorschlagen, falls die hier angegebene Methode zur Untersuchung des Lichtsinnes eine weitere Ausbreitung erlangen sollte. Von der practischen Brauchbarkeit von photopmetrischen

*) Unter Lichtsinn oder L wird in dem Folgenden, wo nichts Anderes angegeben wird, das Unterscheidungsvermögen für räumliche Lichtdifferenzen verstanden.

Tabellen, die in der S. 59 beschriebenen Weise hergestellt waren, habe ich mich seit langer Zeit überzeugt. Dass dieselben kein so genaues Resultat liefern können, wie Förster's und v. Hippel's „Lichtsinnmesser“, will ich bereitwillig einräumen, da man hier ja immer auf eine begrenzte Anzahl von Lichtnuancen sich beschränkt sieht, und nicht, wie bei den eben erwähnten Instrumenten sich unmerkliche Uebergänge verschaffen kann; dagegen empfehlen sie sich durch ihre Einfachheit und durch die Schnelligkeit, mit welcher man bei ihrer Benutzung eine Abnahme von L nachweisen kann. Nach meinen bisherigen Erfahrungen sind dieselben für pathologische Fälle ein hinreichend genügendes Prüfungsmittel.

Bei einer bedeutend schwächeren Beleuchtung, z. B. bei Regenwetter, wird normal nur I_3 entziffert, was in solchem Fall mit in Rechnung gezogen werden muss. Soll jedes Auge für sich allein geprüft werden, so muss das gegen das Licht gewendete Auge beschattet werden, da man sonst leicht für die verschiedenen Augen verschiedene Resultate erhalten kann, ohne dass darum in der Wirklichkeit ein Unterschied vorzuliegen brauchte. Braucht der Betreffende in Folge von Refractionsfehlern Brillen, so wird derselbe wegen des durch die Reflexion bedingten Lichtverlustes gewöhnlich einige Schwierigkeit darin finden, I_2 zu lesen.

Wie oben (S. 56) berührt, bestimmt man bei Anwendung des Förster'schen „Lichtsinnmessers“ nicht L allein, sondern gleichzeitig auch das Adaptationsvermögen der Retina. Dies kann annähernd wenigstens auch vermittelt meiner photometrischen Tabellen geschehen, wenn man Rauchgläser, deren Absorptionsvermögen im Voraus bestimmt worden, zu Hülfe nimmt. Zu diesem Zwecke legt man letztere in den offenen Boden einer viereckigen Papp- oder Holzschachtel ein, die so gestaltet ist, dass sie die Augen vor dem von den Seiten einfallenden Lichte schützt. Das Absorptionsvermögen der von mir benutzten Rauchgläser wurde durch wieder-

holte Messungen nach der Lambert'schen Methode bestimmt, unter Beachtung der von Aubert angegebenen Vorsichtsmassregeln. Trotz aller Umsicht fällt das Resultat jedoch immer etwas verschieden aus. Um die Richtigkeit der durch Schattenvergleichung erhaltenen Resultate zu controliren, wurden die Gläser ausserdem noch dadurch geprüft, dass man dieselben neben einem auf der Masson'schen Scheibe befestigten Episkotister hielt, während letzterer so eingestellt war, dass man dieselbe niedrigste Nummer von l_n durch denselben zu lesen vermochte, wie durch das betreffende Rauchglas, wobei natürlich vorausgesetzt, dass beide, sowohl der Episkotister als das Glas, soweit als möglich, denselben Winkel mit dem Auge bildeten. Zur Vergleichung folgen hier nachstehende Zahlen.

In den beiden ersten Reihen findet man die Mittelzahlen aus 10 Beobachtungen nach der Lambert'schen Methode, je 10 und 10 gleichzeitig in derselben Sitzung ausgeführt; in der 3. die Mittelzahlen aus 5 zu verschiedenen Zeiten bei Tageslicht angestellten Vergleichungen mit dem Episkotister. Die Zahlen geben an, wie viel Licht die verschiedenen Gläser durchlassen.

Gläser	1.	2.	3.
A	43,6	45,6	41,4
B	28,9	31,3	28,8
C	16,5	17,6	18,5
D	10,9	12,2	12,3

Es ist, nach diesen Zahlen zu urtheilen, wahrscheinlich, dass ich das Absorptionsvermögen der beiden dunkelsten Gläser bei den Schattenversuchen zu gross gefunden habe. Ich habe dennoch die Zahlen der ersten Reihe den im Folgenden anzuführenden Berechnungen zu Grunde gelegt, als die, welche am besten mit dem durch den Episkotister erhaltenen Resultate übereinstimmen. Eine Mittelzahl sämtlicher Beobachtungen habe ich nicht anwenden wollen, da ich es für das Richtigere ansah, mich nur an solche Resultate zu halten, die unter

möglichst gleichen Umständen und nach derselben Methode erhalten sind.

Wiederholte Untersuchungen mit Hilfe der Gläser haben nun ergeben, dass das gesunde Auge bei guter Tagesbeleuchtung l_2 in 1 m Abstand noch liest, selbst wenn D vor das Auge gehalten wird und also 89,1 % Licht absorbiert wird. Bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung ist es mithin nicht wohl möglich, die Grösse der Adaptation der Retina mittelst der bezeichneten vier Gläser der Untersuchung zu unterwerfen, es sei denn, dass man noch dunklere Nuancen von Grau herstellen oder den Abstand zwischen Tafeln und Auge vergrössern wollte, wodurch aber das Resultat in höherem Grade von der grösseren oder geringeren Schärfe des Formensinnes abhängig werden würde; bei einer minder starken Beleuchtung wird es indessen keiner Schwierigkeit unterliegen, die Adaptation der Netzhaut zu untersuchen und — wenn man nur sorgfältig den Zeitpunkt abpasst, wo die Beleuchtung grade stark genug ist, um das Auge eine der niedrigeren Nummern entziffern zu lassen —, auch ein ziemlich genaues Resultat zu erreichen. Da die Empfindlichkeit für Lichteindrücke innerhalb der ersten paar Sekunden, nachdem das Gesichtsfeld verdunkelt ist*), fast unmessbar schnell steigt, muss man nicht allzukurze Zeit vergehen lassen, ehe man notirt, welche Nummern man lesen kann, nachdem man das Glas vor das Auge gebracht hat. Die Grösse der Adaptation in der gegebenen Zeit kann man alsdann annäherungsweise dadurch bestimmen, dass man das Glas unmittelbar vor oder nach seiner Application ans Auge, direkt auf die Tafeln legt. Hierbei verbleibt freilich die Lichtdifferenz

*) Nach Aubert S. 39 ebensoviel in der ersten Viertelsekunde als später, nach einem Aufenthalt von $\frac{1}{4}$ Stunde im dunkeln Raum im Lauf einer ganzen Stunde.

zwischen Buchstaben und Grund objectiv dieselbe wie bei der Stellung des Glases vor dem Auge, indem in beiden Fällen ein dem Absorptionsvermögen des Glases entsprechender Antheil der von Grund und Buchstaben reflectirten Lichtmenge verloren geht, subjectiv dagegen wird das Verhältniss ein ganz anderes. Während nämlich im letztern Fall das Auge sich mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit der schwächern Beleuchtung adaptirt (und die Pupille sich gleichzeitig stärker erweitert), behält dasselbe im letzteren Falle die Adaptation für die Beleuchtung des Zimmers, vorausgesetzt, dass man nicht allzulang die unter dem Glase liegenden Buchstaben anstarrt. In physiologischer Hinsicht wird somit das Resultat dasselbe werden, als ob den Buchstaben soviel Licht entzogen würde, als durch das Glas absorbirt worden, da es unserer Wahrnehmung entgehen wird, dass der bereits zuvor sehr dunkle Grund eines Theils seines Lichtes verlustig geht. *) Es ist z. B., wenn die Beleuchtung so tief gesunken, dass nur l_5 lesbar ist, nicht mehr möglich, einen Unterschied in der Dunkelheit des Grundes wahrzunehmen, mag man nun A oder D überdecken. Den Unterschied, der sich ergibt zwischen dem Fall, wo man das Glas A vor das Auge hält und dem, wo man dasselbe bei der gleichen Beleuchtungsintensität auf die Tafeln gelegt hat, kann man somit als einen Ausdruck für die Adaptation der Retina in der gegebenen Zeit auffassen. Hier folgen die Resultate einer Untersuchung, die bei einer Beleuchtungsintensität vorgenommen wurde, deren relative Stärke der

*) Ist die vom Grunde reflectirte Lichtmenge so gross, dass dieselbe in wesentlicher Weise das Resultat beeinflusst, so kann diese Untersuchungsweise nicht angewendet werden. Werden so z. B. die Tafeln directem Sonnenlichte ausgesetzt, so wird man immer noch l_2 lesen können, ob man auch alle 4 Gläser übereinander darauf legte.

Nummer von l_n entspricht, die bei derselben mit dem blossen Auge sich lesen liess.

Wenn lesbar mit blosssem Auge						l_2
dann durch A vor dem Auge l_3 auf der Tafel						l_3
B	„	„	l_3	„	„	l_7
C	„	„	l_3 (vix)	„	„	l_{10}
D	„	„	l_5	„	„	l_{28}
						<u>1</u>
A	„	„	l_5	„	„	l_7
B	„	„	l_7	„	„	l_{10}
C	„	„	l_{10}	„	„	l_{40} (vix)
D	„	„	l_{10}	„	„	l_{60}
						<u>l_5</u>
A	„	„	l_{10}	„	„	l_{16}
B	„	„	l_{10}	„	„	l_{28}
C	„	„	l_{16}	„	„	l_{48}
D	„	„	l_{16}	„	„	?
						<u>l_7</u>
A	„	„	l_{10}	„	„	l_{16}
B	„	„	l_{10}	„	„	l_{40}
C	„	„	l_{16}	„	„	l_{60}
D	„	„	l_{28}	„	„	?

Hieraus lässt sich ersehen, wie man bei einer so matten Beleuchtung, dass nur 1 mit blosssem Auge lesbar ist, sogar mit dem Rauchglas A einen bedeutenden Unterschied wahrnimmt zwischen dem Fall, dass man das Glas vor das Auge hält und dem, wo man dasselbe auf die Tafel legt, und ebenso, wie ein Sinken der Beleuchtung bis auf den Punkt, wo l_2 noch grade sich lesen lässt, eine noch weitergehende Herabsetzung von L zur Folge hat, wenn A vor das Auge gehalten wird, während bei vollem Tageslicht l_2 , wie oben bemerkt, ganz ebenso leicht sich durch D hindurch lesen lässt als mit blosssem Auge. Unter der Voraussetzung, dass L für die Retina bereits herabgesetzt ist, wie das bei gewissen pathologischen Fällen vorkommt, werden wir folglich in dieser

Weise auch bei gewöhnlichem Tageslicht die Adaptation prüfen können, und durch Vergleich derselben mit der des gesunden Auges unter einer Beleuchtung, die dessen L in entsprechendem Grad herabmindert, untersuchen können, ob die Geschwindigkeit derselben abgenommen hat oder nicht.

Mit Hülfe der Zahlen in der zweiten Reihe können wir ausserdem noch controliren, ob die vermitteltst Pigmenten hergestellten Lichtdifferenzen zwischen Buchstaben und Grund wirklich den Unterschieden entsprechen, welche die Nuancen nach den ihnen beigefügten Nummern repräsentiren sollen, oder mit andern Worten, ob z. B. l_2 im Verhältniss zu Schwarz (dem Grunde) ebenso dunkel oder hell ist, als das auf der Rotationsscheibe durch $358^{\circ}s + 2^{\circ}h$ hervorgerufene Grau; denn kennt man das Absorptionsvermögen des Glases, so kann man darnach die dunkelste Nummer berechnen, welche bei einer gegebenen Lichtintensität durch dasselbe noch erkennbar sein muss. Bezeichnet nämlich α die Procentmenge des vom Glase durchgelassenen Lichtes, l'_n die dunkelste Nuance von Grau, welche bei einer gegebenen Beleuchtung noch mit blossen Auge zu lesen ist, so findet man l''_n , d. h. die Nummer, welche bei derselben Beleuchtung durch das Glas lesbar sein soll, wenn dasselbe auf die Tafel gelegt wird (wobei also den Buchstaben so viel Licht geraubt wird, als das Glas absorbiert und reflectirt), durch Division von α (d. h. der ganzen Menge des bei einer gegebenen Beleuchtung reflectirten Lichtes) in 100 und durch Multiplication des Facit mit dem Werthe von l'_n (d. h. dem Ausdruck, den unser Unterscheidungsvermögen für die Beleuchtung ergiebt) im Verhältniss zu Weiss.

Als Beispiel diene: Die Lichtintensität sei so niedrig, dass grade noch l_1 lesbar ist; durch C, welches 16,5% durchlässt,

muss dann eine Nuance $l''_n = \frac{100}{\alpha} \cdot l'_n = \frac{100}{16,5} \cdot 0,0189 = 0,1134$ lesbar sein. Bei directer Beobachtung fand man, dass in diesem Falle $l_{48} = 0,138$ sich lesen liess.

Stellt man die berechneten und die beobachteten Werthe zusammen, so wird man, wie aus den unten angeführten Zahlen zu ersehen, eine so grosse Uebereinstimmung finden, als man unter den vorliegenden Umständen nur immer erwarten darf, wo die unmerklichen Uebergänge nicht zu Gebote stehen und dagegen so viele Fehlerquellen sich kaum beseitigen lassen.

Wenn sichtbar mit blossem Auge

Durch das Glas A

	berechnet	beobachtet
l_2	0,0235	$l_2 = 0,0134$
l_3	0,0307	$l_7 = 0,0245$
l_5	0,0422	$l_{16} = 0,0494$
l_7	<u>0,0561</u>	$l_{16} = \underline{0,0495}$
	0,0380	0,0338

B

l_2	0,0370	$l_7 = 0,0245$
l_3	0,0457	$l_{10} = 0,0327$
l_5	0,0653	$l_{28} = 0,0801$
l_7	<u>0,0851</u>	$l_{40} = \underline{0,116}$
	0,0586	0,0633

C

l_2	0,0642	$l_{10} = 0,0327$
l_3	0,0804	$l_{40} = 0,116$
l_5	0,113	$l_{48} = 0,138$
l_7	<u>0,147</u>	$l_{60} = \underline{0,171}$
	0,188	0,104

D

l_2	0,0981	$l_{28} = 0,0801$
l_3	0,122	$l_{60} = 0,171$
l_5	0,122	?
l_7	<u>0,122</u>	?
	0,114	<u>0,125</u>

Die vorstehenden Zahlen stellen die Werthe dar, welche in einer einzelnen Beobachtungsreihe gefunden sind. Nimmt man das Mittel aus mehreren Beobachtungen, so wird die Uebereinstimmung zwischen den gefundenen und den berechneten Werthen noch grösser; dies spricht in bedeutendem Grade für die Zuverlässigkeit der oben angeführten Resultate.

Mit Hülfe der photometrischen Tabellen habe ich ferner zu ermitteln gesucht, wie L bei abnehmender Beleuchtung und adaptirtem Auge sich vermindert. Um hierbei möglichst ungefärbtes Licht zu benutzen, habe ich, in Ermangelung der zur willkürlichen Herabsetzung des Tageslichtes nöthigen Apparate, die Beobachtungen nach Sonnenuntergang angestellt. Im Juni tritt unter dem 60. Breitengrad die Abenddämmerung so langsam ein, dass man ohne merklichen Fehler annehmen darf, nicht nur, dass das Auge für die gegebene Beleuchtung adaptirt ist, sondern auch, dass die Adaptation während der 5—10 Minuten, welche der einzelne Versuch in Anspruch nimmt, in keinem wesentlichen Grade eine Veränderung erleidet. Gleichzeitig mit der Bestimmung von L wurde auch S notirt, und der Farbensinn nach einer später anzugebenden Methode gemessen.

Die Beobachtungen sind zwischen 9 und 10½ Uhr Abends bei wolkenlosem Himmel vorgenommen. Als Lichtmesser habe ich einen dem Bunsen'schen ähnlichen Apparat angewendet, nur dass ich zur Vermeidung des eigenthümlichen Glanzes, den ein Fettfleck auf dem Papiere beim Durchfallen des Lichtes hervorruft, eine doppelte Lage Papier angewendet habe, wobei in der der Lichtquelle zugewendeten Lage ein qem ausgeschnitten war. Die Papiere wurden darauf über eine ziemlich grosse Oeffnung in einem schwarzen Schirm ausgespannt. Die Papierfläche wurde immer gegen die grau-weiße Stubendecke gesehen. Während der Beobachtungen, die sowohl von mir selbst als meinem Gehülfen ausgeführt worden sind, haben wir dafür gesorgt, dass die Stellung aller Gegenstände immer dieselbe blieb, und um alles zu vermeiden,

was irgend merklich dazu beitragen könnte, die Adaptation der Retina zu verändern, haben wir uns davor in Acht genommen, den Blick gegen den Himmel zu wenden. Seitlich einfallendes Licht wurde durch eine grosse schwarz gemalte Tafel und dunkle Vorhänge abgesperrt. Die Beobachtungen begannen mit dem Augenblick, wo l_2 nur grade noch lesbar war. Zur Bestimmung von S wurden die Burchardt'schen internationalen Sehproben angewendet.

Vergleicht man die Abnahme von L mit derjenigen von S bei abnehmender Beleuchtung, so wird man finden, dass ersteres viel schneller abnimmt als das zweite, vorausgesetzt, dass wir die Abnahme von L in der obenbesprochenen Weise ausdrücken, S dagegen übereinstimmend mit der gewöhnlichen Methode. Das Resultat einer einmaligen Beobachtung würde dann für mein eigenes Auge folgendes werden:

Wenn Licht in	28 cm = 1,	dann	$L \frac{2}{2,2}$	$S \frac{100}{80}$
	72 „ = 1:6,6	„	$L \frac{2}{3}$	$S \frac{100}{100}$
	82 „ = 1:8,5	„	$L \frac{2}{5}$	$S \frac{100}{120}$
	133 „ = 1:22,5	„	$L \frac{2}{10}$	$S \frac{100}{160}$
	166 „ = 1:35	„	$L \frac{2}{16}$	$S \frac{100}{200}$
	251 „ = 1:80	„	$L \frac{2}{28}$	$S \frac{100}{250}$

Wie früher hervorgehoben wurde, kann die oben erwähnte Bezeichnungsweise für L nur im hellen Raume als einigermaßen correct gelten. Stellt man dagegen die Untersuchung bei so niedriger Beleuchtungsintensität an, dass das vom Grunde der Tafel reflectirte Licht ohne merklichen Fehler = 0 gesetzt werden kann, so wird es richtiger sein, die Lichtintensität der Buchstaben im Verhältniss zu Weiss (= 1) als das bestimmende anzunehmen; denn bei der Annahme, dass der

Grund kein Licht reflectirt, kann eine Herabsetzung der Beleuchtungsintensität nur die Folge haben, dass die gegen den Grund sich abhebenden helleren Buchstaben wie ein nach Verhältniss der Herabsetzung geschwächter Reiz wirken. Demzufolge wird ein Herabsinken von L, von dem Punkt, wo man l_2 lesen kann, bis zu dem, wo man nur l_3 lesen kann, nicht im Verhältniss von 2:3 stehen, sondern wie 0,0107:0,0134 (s. S. 65).

Dass unser Formsinn bei derselben Lichtinsensitität so weit gesunken ist, dass wir, statt wie vorher die Punkte in Burchardt's Tafel No. 80 unterscheiden zu können, dies jetzt nur bei No. 100 zu thun vermögen, bedeutet auch nichts anderes, als dass der helle Grund um jeden der dunkeln Punkte nur so wenig Licht reflectirt, dass eine diesen Nuancen entsprechende grössere Flächenausdehnung nothwendig ist, wenn jeder Punkt einzeln wahrgenommen werden soll. Es handelt sich somit um Flächen, und in Folge davon wird nicht 80:100 der rechte Ausdruck sein für die Herabsetzung von S, sondern $80^2:100^2$).

Corrigirt man die oben angeführten Zahlen aus diesem Gesichtspunkt, so erhält man folgendes Resultat:

$$\begin{array}{llll} \text{Wenn Licht in } 28 \text{ cm} = 1, & \text{dann } L \frac{10}{10} & S \frac{1}{1} & (\text{be-} \\ & & & \text{rechnet nach } \frac{100}{80} = 1) \\ 72 \text{ „} & = 1:6,6, & \text{dann } L \frac{10}{13} & S \frac{10}{15} \\ 82 \text{ „} & = 1:8,5 & \text{„ } L \frac{10}{18} & S \frac{10}{22} \\ 133 \text{ „} & = 1:22,5 & \text{„ } L \frac{10}{32} & S \frac{1}{4} \end{array}$$

*) Bereits 1863 betonte Vierordt, dass die Schärfe des Sehens sich umgekehrt wie die Quadrate des Diameters der Retinalbilder verhält, und nicht wie die einfachen Diameter (cf. A.f.O. Bd. IX. 1).

Wenn Licht in 166 cm = 1:35, dann L $\frac{10}{49}$ S $\frac{1}{6}$

251 „ = 1:80 „ L $\frac{10}{80}$ S $\frac{10}{96}$

woraus sich ergibt, dass Lichtsinn und Formsinn bei abnehmender Beleuchtung gleichmässig abnehmen. Dass ich für S die ganze Reihe hindurch etwas kleinere Werthe erhalten habe, beruht darauf, dass ich zur Abkürzung der Beobachtung die Nummer notirte, welche ich mit Leichtigkeit zählen konnte. Ein sehr ähnliches Resultat ergibt sich auch für das Auge meines Gehülfen; sowie denn auch eine Untersuchung von L und S bei der viel schwächeren Beleuchtung des Mondlichtes für uns beide eine proportionale Abnahme nachwies. So ist bei Vollmond (klarer Himmel) L (in 1 m) $\frac{100}{1710}$ und S zwischen

$\frac{100}{1369}$ und $\frac{100}{2500}$. Eine vollständige Uebereinstimmung darf man kaum zu erlangen hoffen, selbst wenn man über sehr feine Uebergänge zwischen den Nuancen zu verfügen hätte, da Beobachtungsfehler nie zu vermeiden sind. Die Uebereinstimmung ist indessen gross genug, um als eine Bekräftigung des Satzes zu dienen, dass die Grenze der Sichtbarkeit für den kleinsten Schwinkel dem Quadrat der Lichtintensität umgekehrt proportional ist.

Hier mag bemerkt werden, dass bei allmählicher Verdunklung des Gesichtsfeldes die helleren Nummern nicht ebenso wie die dunkleren verschwinden, sondern nur unlesbar werden. Dasselbe wird man auch bei pathologischen Zuständen finden. Dies beweist, dass das Auge unter solchen Umständen wohl noch eine Lichtdifferenz auffassen kann, die der Differenz zwischen der betreffenden Nummer und Schwarz entspricht, dass aber die Menge des von den einzelnen Theilen der Buchstaben ausgesendeten Lichtes nicht mehr genügend ist, um einen Eindruck von der Stärke hervorzubringen, dass man die Form auffassen kann.

Lichtsinn in der Peripherie der Retina.

Bei den hier einschlagenden Untersuchungen muss man unbedingt noch schärfer als bei der centralen Bestimmung des Lichtsinnes, zwischen dem Wahrnehmungsvermögen für Lichteindrücke im hellen Raum und bei verdunkeltem Gesichtsfeld unterscheiden. Wie von Aubert und später von Charpentier und Landolt *) nachgewiesen, differirt im dunkeln Raum die Erregbarkeit der Retina für Lichteindrücke in der Peripherie, jedenfalls bis gegen 65° — 70° hinaus, nicht von der im Centrum. Wenn man dabei auf die minder günstigen Bedingungen für den Zutritt des Lichtes zu den äussersten peripherischen Theilen gebührende Rücksicht nimmt, so darf man annehmen, dass bei verdunkeltem Gesichtsfeld der Lichtsinn überall gleiche Grösse hat.***) Dennoch darf man aus diesem Umstand nicht den Schluss ziehen, dass die Peripherie unter allen Verhältnissen eine ebenso grosse Erregbarkeit für Lichteindrücke besitzt als das Centrum. Man hat zu bedenken, dass die centralen Theile bei einer sehr schwachen Lichtintensität sich unter ungünstigeren Verhältnissen befinden als die peripherischen, da anzunehmen ist, dass das gelbe Piment, welches hier alle Retinaschichten durchdringt, eine beträchtliche Menge Licht absorbiren muss, welches darin selbstverständlich die musivische Schicht nicht erreichen kann. Dies ist vielleicht der Grund dafür, dass man zu ganz verschiedenen Resultaten gelangt, wenn man den peripherischen Lichtsinn in einem hellen Raume prüft. Will man eine derartige Untersuchung mit vollständiger Genauigkeit ausführen, so muss man nothwendiger Weise einen selbstleuchtenden Körper anwenden, dessen Licht man in der einen oder anderen Weise abschwächen kann. Reflectirtes

*) Ref. in Nagel's Jahresbericht 1880. S. 101.

**) Aubert S. 95.

Licht wird sich nämlich immer als variabel erweisen, nach der verschiedenen Stellung, in welcher das Object zur Lichtquelle sich befindet. Braucht man dabei ein Perimeter, so wird das Object, wenn die Concavität des Instrumentes der Lichtquelle sich zuwendet, eine um so schwächere Beleuchtung erhalten, je weiter es sich vom Centrum entfernt; fällt das Licht dagegen von einer der Seiten her ein, so wird die Beleuchtung in der entsprechenden Hälfte des Gesichtsfeldes eine bedeutend geringere sein. Beim Gebrauch einer Tafel wird das Object dagegen, je weiter es vom Fixationspunkt aus nach der Peripherie hin verschoben wird, sich unter einem um so kleineren Gesichtswinkel präsentieren, wodurch die von demselben ausgesendete Lichtmenge entsprechend verringert wird. Mag nun auch der Einfluss dieser Elemente sich berechnen lassen, so wird es sich doch kaum thunlich erweisen, durch Rechnung zu bestimmen, eine wie grosse Lichtmenge dadurch verloren geht, dass das Object, mag man nun Tafel oder Perimeter brauchen, in gewissen Stellungen durch den eigenen Körper des untersuchten Individuums beschattet wird, was doch kaum und nur dadurch zu vermeiden wäre, dass man immer wieder die Stellung der Tafel und des Perimeters zum Lichte veränderte. Sucht man diesen Fehlerquellen dadurch zu entgehen, dass man mit Dobrowolsky und Gaine*), denen sich Chodin**) angeschlossen, das Object in Ruhe bleiben lässt, dagegen das Auge bewegt, so wird man auf diese Weise selbst für die Theile der Retina, welche sich so untersuchen lassen, doch immer noch fehlerhafte Resultate erhalten, weil es auch bei der grössten Uebung nicht möglich ist, sich davor zu bewahren, dass das Auge nicht an dem

*) Pfüger's Arch. Bd. 12. S. 434.

**) A. f. O. XXIII, 3. S. 185.

Graefe's Archiv für Ophthalmologie, XXVII. 1.

intendierten Fixationspunkt vorbeizielt. Hier, wie überall sonst, ist es somit überhaupt unmöglich, ein ganz vollkommenes Resultat zu erhalten, sei es auch nur aus dem Grunde, dass die subjectiven Zustände so variabel sind. Auf absolute Genauigkeit kommt es jedoch in praxi weniger an; es handelt sich hier vielmehr darum, eine Untersuchungsmethode aufzufinden, welche sich leicht durchführen lässt und im Wesentlichen zuverlässige Resultate giebt, und darum ist man aus leicht verständlichen Gründen auf die Benutzung von reflectirtem Licht hingewiesen.

Eine Frage, deren Beantwortung bei den vorliegenden Untersuchungen von besonderer Wichtigkeit ist, ist folgende: Wie weit darf der Unterschied in der Lichtstärke zwischen einem Object von einer bestimmten Grösse und seiner Umgebung herabsinken, ohne dass eine Verengerung der Grenzen seiner Wahrnehmbarkeit eintritt? oder mit anderen Worten: hat man die Grenzen des Gesichtsfeldes vermittelt eines weissen Fleckes von 1 cm. Durchmesser auf schwarzem Grunde aufgenommen, wobei das Verhältniss der Lichtstärke zwischen Weiss und Schwarz wie 192 : 1 anzusetzen ist; um wie viel kann man dann die Lichtstärke des weissen Fleckes abschwächen, ohne dadurch die Ausdehnung des Gesichtsfeldes zu beschränken? Ein Jeder, der sich mit perimetrischen Messungen beschäftigt hat, weiss aus Erfahrung, wie schwierig es manches Mal ist, darüber ins Klare zu kommen, ob eine Verengerung des Gesichtsfeldes eingetreten oder nicht, und welche Opfer an Zeit es kostet, die Grenzen eines unvollkommenen Defektes festzustellen. Bereits v. Gräfe *) hat hervorgehoben, dass das Gesichtsfeld darum keineswegs normal zu sein braucht, weil man bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung mit weissen Gegen-

*) Zehender, Klin. Monatsbl. 1865. S. 130.

ständen die Grenzen normal findet, und daher auch den Vorschlag gemacht, bei herabgesetzter und womöglich constanter Beleuchtung zu untersuchen. Andere, wie Schön, haben den Vorschlag gemacht, die Beleuchtungsintensität bis auf einen Punkt herabzusetzen, wo die Grenzen des Gesichtsfeldes für Weiss auf Schwarz bei dem gesunden Auge gerade noch die normale Ausdehnung zeigen. Viel praktischer erscheint es mir, das Weiss im selben Grade abzuschwächen. Aus einer grossen Anzahl solcher Messungen des Gesichtsfeldes, an mir selbst und meinem Gehülfen ausgeführt, habe ich das dunkelste Grau zu bestimmen gesucht, welches bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung und unter gleichen Umständen ebensoweit nach der Peripherie hinaus gesehen wird als Weiss.

Zur Untersuchung wurde ein Perimeter (Förster's) von 30 cm Radius angewendet. Derselbe war an einer schwarz gemalten Tafel von ca. 1,20 m Höhe und Breite befestigt. Die Stellung der Tafel zur Lichtquelle blieb immer dieselbe. Zum Festhalten des Kopfes diente ein an der Tafel festgeschraubtes eisernes Gestell. Dieses war mit einer beweglichen Kinnstütze und mit zwei Stützkissen, die unterhalb der Augen des untersuchten Individuums anzulegen waren, versehen. Die Stellung des unter dem fixirenden Auge angebrachten Stützkissens war so regulirt, dass der Knotenpunkt des Auges mit dem Krümmungsmittelpunkt des Perimeters zusammenfiel. Das doppelte Kinnkissen wurde 25° von der Ebene der Tafel nach aussen gedreht und in dieser Stellung festgeschraubt, so dass der Kopf des Untersuchten dadurch eine entsprechende Drehung nach der Seite des nichtfixirenden Auges erhielt. So wurde einer allzu grossen Einschränkung des Gesichtsfeldes durch die Nase vorgebeugt. Weitere Veranstaltungen, um den Einfluss der Gesichtsbildung auf das Gesichtsfeld zu eliminiren, wurden nicht getroffen. Der Kopf wurde immer möglichst in derselben Stellung gehalten und bei den Versuchen wurde für die Ferne accommodirt, indem ein Lichtpunkt fixirt wurde, der von einem dunklen, 2 m hinter der Tafel aufgestellten Glase reflectirt wurde. Diesen Lichtpunkt sah man durch eine 3,5 cm

lange und 0,15 cm weite Oeffnung, die durch den Umdrehungszapfen des Perimeters gebohrt war. Das Object wurde stets von der Peripherie aus nach dem Centrum hin bewegt und der Punkt, wo dasselbe zuerst sichtbar wurde, vom Mittelpunkt des Flecks aus gerechnet, notirt. Die Beobachtungen wurden zwischen 1 und 2 Uhr Nachmittags bei klarem Himmel vorgenommen.

Nachdem wir zuerst die Grenzen für Weiss bestimmt hatten, brachten wir eine Reihe grauer Flecke von zunehmender Dunkelheit in Anwendung, bis ein Grau aufgefunden wurde, das durchschnittlich engere Grenzen ergab. Aus diesen Untersuchungen ersehen wir, dass bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung eine merkbare Verringerung des Gesichtsfeldes nicht eintritt, ehe die Helligkeit des Weiss bis auf $\frac{1}{8}$ abgeschwächt ist. In Fig. 1 habe ich die Grenzen für das Auge meines Gehülfen ausgezogen, wie sich dieselben bei Anwendung von reinem Weiss und von I_{28} ergaben, berechnet als Mittel aus je 10 Beobachtungen für jeden der 20 Meridiane. Ich muss hierbei noch ausdrücklich hervorheben, dass man nur dadurch, dass man das Mittel aus mehreren Beobachtungen nimmt, bei I_{28} ein verengertes Gesichtsfeld erhält, aber keineswegs immer bei der einzelnen Beobachtung. Es fällt in die Augen, wie die Grenzen für Weiss, welche selbstverständlich nur die relativen und keineswegs die absoluten Grenzen des Gesichtsfeldes darstellen, sowohl in dieser Figur, als auch in Fig. 2, wo dieselben nach 10, an verschiedenen Individuen (Studirenden der Medicin) vorgenommenen Messungen eingezeichnet sind, nicht unbedeutend enger sind, als die, welche Andere gefunden haben. Prof. Donders z. B. giebt an, dass die relativen Grenzen für sein Auge im horizontalen Meridian sich bis zu 103.5° hinaus erstrecken *) Bei 100° Länge, wo das Gesichtsfeld

*) A. f. O. XXIII, 2. S. 258. Ist von der Primärstellung ausgegangen.

feld sich in meinen beiden Schematen am weitesten nach der Peripherie hin ausdehnt, reicht dasselbe doch nicht weiter als bis $85^{\circ},4$ und $81^{\circ},7$. Dies schreibt sich vielleicht daher, dass ich meine Untersuchungen bei gewöhnlichem Tageslichte angestellt habe, ohne dafür zu sorgen, dass das ganze Gesichtsfeld gleichmässig verdunkelt war.

Wie man sieht, tritt die Verengerung, wenn man mit l_{28} statt mit Weiss untersucht, hauptsächlich in der äusseren Hälfte des Gesichtsfeldes hervor, d. h. da, wo letzteres nicht durch die Gesichtsformation beschränkt wird. Wenn letzterer Umstand sich nicht geltend gemacht hätte, würde man wahrscheinlich durchgehend dasselbe Verhältniss zwischen l_{28} und Weiss gefunden haben.

Nimmt man ein so helles Grau, wie l_{48} *), so kann man ziemlich sicher darauf rechnen, dass man für jedes normale Auge bei voller Tagesbeleuchtung ebenso weite Grenzen erhält, als für Weiss, aber mit einem solchen Grau wird man doch immer noch pathologische Verengerungen und Defekte ungleich leichter nachweisen können, als mit Weiss. Dies leuchtet leicht ein, wenn man bedenkt, dass Weiss, um ebenso dunkel wie l_{48} auszu-
 zusehen, bis auf weniger als $\frac{1}{7}$ (genau $\frac{138}{1000}$) abgeschwächt werden muss. Selbst für intelligente Personen kann die Entscheidung darüber schwierig sein, ob ein leuchtender Gegenstand etwas mehr oder weniger scharf gesehen wird. Ein Verschwinden des Gegenstandes ist dagegen selbst für den weniger Intelligenten ein auffallendes Phänomen, das sich leicht constatiren lässt, vorausgesetzt, dass der Betreffende zuerst sich an sicheres

*) Da das Wahrnehmungsvermögen für Lichtdifferenzen un-
 zweifelhaft durch Uebung wächst, darf man für das nicht eingübte
 Auge kein dunkleres Grau nehmen, als das obige.

und anhaltendes Fixiren gewöhnt hat*). Welch' grossen Unterschied es macht, ob man mit reinem Weiss oder mit einem Grau, das l_{48} entspricht, die Untersuchung vornimmt, wird man am schlagendsten inne werden, wenn man das Gesichtsfeld auf beide Weisen bei einem Patienten, der an Retinitis pigmentosa leidet, aufnimmt.

Während also erst ein Grau, das l_{28} entspricht, ein Gesichtsfeld ergiebt, das durchschnittlich kleiner ist als das für Weiss beobachtete, erhält man mit dunkleren Nüancen nicht unbedeutende Verengerungen. Auf Grund solcher Beobachtungen kann man sich eine ungefähre Vorstellung darüber bilden wie L vom Centrum nach der Peripherie hin abnimmt. Die 3 engeren concentrischen Grenzen in Fig. 1 zeigen das Resultat (Mittel aus 5 einzelnen Beobachtungen in jedem Meridian), wenn die Grenzen mit l_1^6 , l_{10} und l_5 aufgenommen werden. Man ersieht hieraus, dass das Wahrnehmungsvermögen für Lichtdifferenzen ziemlich gleichmässig abnimmt (in allen Meridianen), so dass das Gesichtsfeld immer seine ovale Form behält, wobei der grösste Durchmesser von innen nach aussen und ein Wenig von oben nach unten gerichtet ist. Wollte man hieraus das Verhältniss bestimmen, nach welchem L gegen die Peripherie hin abnimmt, so müsste man zuerst eine Norm für das Centrum festsetzen. Wenn dies geschehen, wäre noch die Frage zu beantworten, in welcher Weise man die Abnahme berechnen solle, ob nach der Anzahl der Grade des weissen Sektors auf schwarzem Grund, die dem angewendeten Grau entspricht, oder ob nach der Lichtstärke des letzteren im Verhältniss zu Weiss. Im letzteren

*) Um den Patienten im Fixiren einzuüben, beginne ich meine Perimeter-Untersuchungen immer mit Messungen über die Ausdehnung des Mariotte'schen Fleckes. Erst wenn das geschehen, gehe ich dazu über, die Grenzen des Gesichtsfelds zu bestimmen und nach Defecten zu suchen.

Falle würde man eine bedeutend langsamere Abnahme von L vom Centrum aus erhalten. Wählt man die Zahl der Grade als das massgebende, so müsste man in diesem Falle eigentlich $l_{0,66}$ als Norm für das Centrum wählen. Auf den Tafeln ist nämlich der Buchstabe von l_2 von etwas über 1 cm. Höhe als Norm in 1 Meter Abstand genommen, folglich müsste man bei 30 cm Abstand ein Grau nehmen, das $l_{0,66}$ entspräche. Es erhalten sich indessen die dunkleren Nüancen nur dann ganz unverändert sichtbar, wenn der schwarze Grund frisch abgewaschen und darauf mit Glas bedeckt ist. Wenn dagegen, wie bei den Perimeter-Untersuchungen, die Platte nicht mit Glas bedeckt wird, so verliert das Schwarz bald an Tiefe, und der graue Fleck tritt dann weit weniger deutlich hervor. Für die nicht durch Glas geschützte Platte darf man kaum mehr als l_2 als Norm für das Centrum in 30 cm. Abstand annehmen. Construiert man darnach eine Curve zur Veranschaulichung davon, wie L nach der Peripherie hin abnimmt, so wird man finden, dass dieselbe für den horizontalen Meridian die in Fig. 3 wiedergegebene Gestalt annimmt. In derselben Figur ist gleichzeitig dargestellt, wie die Empfindlichkeit für Roth und Blau, sowie der Formsinn im selben Meridian abnimmt. Der Formsinn ist mittelst der Burchardtschen Leseproben untersucht, wobei nur 1 oder 2 Punkte dem Auge dargeboten wurden, und wo zwei Punkte in Anwendung kamen, wurden dieselben immer so gehalten, dass ihre Verbindungslinie senkrecht auf dem Meridiane stand. Nimmt man mehr als zwei Punkte, so erhält man eine noch raschere Abnahme des Formsinns nach der Peripherie hin, wie die eingetragene punktirte Linie nachweist. Da ich immer nur 1 oder 2 Punkte angewendet habe, habe ich bei der Herstellung der Curve die Abnahme des Formsinns in der gewöhnlichen Weise

berechnen können ($v = \frac{d}{D}$). Vergleicht man die Kurve für L, welche durch die ausgezogene Linie bezeichnet wird, mit derjenigen für S, so wird die grosse Geschwindigkeit, mit welcher letztere gegen die Peripherie hin abfällt, im Gegensatz gegen erstere stark in die Augen fallen. Auch darin, dass L in der innern Hälfte des Gesichtsfeldes verhältnissmässig schnell abnimmt, während das Umgekehrte mit S der Fall ist, zeigt sich ein Unterschied. Man hat hierbei an den grossen Einfluss zu denken, welchen die fortwährende Uebung unseres Gesichtesorganes auf die Ausbildung seiner specifischen Energien hat. Es ist klar, wie zweckmässig es im Interesse unserer Sicherheit ist, wenn unser Gesichtsfeld sich soweit als möglich nach aussen erstreckt und darum finden wir denn auch, dass die innern Theile der Retina, ganz bis an die Ora serrata, für Lichteindrücke empfänglich sind, und dass unser Wahrnehmungsvermögen für Lichtdifferenzen hier verhältnissmässig langsamer abnimmt. In der Richtung nach innen fehlt uns indessen die Aufforderung dazu, unsern Lichtsinn auszubilden, und in Folge davon scheint derselbe nach und nach abgestumpft zu sein, denn wir finden hier Unempfindlichkeit für Lichteindrücke in einem nicht unbedeutenden Theil der entsprechenden äusseren Theile der Retina*), welche obendrein hier sich auch nicht einmal so weit nach aussen erstreckt, als auf der Nasalseite. In Uebereinstimmung hiermit finden wir hier auch ein schnelleres Abnehmen von L. In Bezug auf den Formsinne kehren dagegen die Verhältnisse sich theilweise um. Hier liegt es im Interesse der stereoscopischen Auffassung der Objecte, die von der Mittellinie nach aussen

*) Vide Donders, A. f. O. XXIII. 2. Die Grenzen des Gesichtsfeldes in Beziehung zu denen der Netzhaut.

gelegenen Theile genau wahrzunehmen, wenn wir uns eine Vorstellung von der Form des Gegenstandes machen wollen. Die entsprechenden äussern Retinatheile werden in Folge davon mehr eingeübt, und in Harmonie damit finden wir denn auch hier ein langsames Abnehmen des Formsinnes. — Von ähnlichen Untersuchungen, die von Andern ausgeführt sein dürften, habe ich nur Gelegenheit gehabt, mich mit denen Exner's*), Dobrowolski's und Gaine's**), sowie auch Chodin's***) bekannt zu machen. Dieselben zeigen nur geringe Uebereinstimmung mit den meinigen. Alle haben eine weit schnellere Abnahme von L nach der Peripherie hin gefunden, als ich. Eine Angabe über die Grösse des Schwinkels findet sich nicht, aber dieser muss wahrscheinlich bedeutend grösser gewesen sein, als der von mir angewendete. Es ist deshalb zweifelhaft, ob dieselben sich mit den meinigen vergleichen lassen. Dass Chodin für die äussersten Theile der inneren Retinahälfte eine schnellere Abnahme der Empfindlichkeit für Schwarz auf Weiss, oder für Weiss auf Schwarz gefunden hat, als für Blau (S 200), deutet meines Ermessens auf einen Fehler hin. Uebrigens will ich nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dass ich meinen eigenen Untersuchungen mit den dunkelsten grauen Nuancen nur einen sehr relativen Werth beilege. Um dem allzugrossen Einfluss des Reflexes von der gefirnissten Fläche zu entgehen, war es nämlich nothwendig, öfter die Stellung der Tafel zur Lichtquelle zu verändern, je nach den verschiedenen Meridianen, in

*) Bemerkungen über intermittirende Netzhautreizung. Pflüger's Archiv, Bd. 3. S. 214.

**) Ueber die Lichtempfindlichkeit (Lichtsinn) auf der Peripherie der Netzhaut *ibid.* Bd. 12 S. 432.

***) Ueber die Empfindlichkeit für Farben in der Peripherie der Netzhaut. A. f. O. Bd. XXIII. 3. S. 177.

welchen ich untersuchte, und dadurch sind die Resultate für die drei dunkelsten Nuanccn weniger zuverlässig geworden.

Farbensinn.

Die ophthalmologische Litteratur der letzten Jahre hat eine reiche Fülle von Arbeiten über die Farbenh-wahrnehmung aufzuweisen. Vorzugsweise sind es indessen die einschlagenden physiologischen Fragen, welche hier zur Behandlung kamen. Man hat gesucht, die untere Grenze für die Farbenh-wahrnehmung des normalen Auges festzustellen, und das Verhältniss zu ermitteln, welches zwischen der Empfindlichkeit der centralen und peripherischen Theile besteht, so wie den Einfluss, welchen die Beleuchtungsintensität und der Sehwinkel ausübt, — alles Fragen, deren wahrheitsgemässe Beantwortung selbstverständlich von der allergrössten Bedeutung ist, wenn es sich darum handelt, die Grenze zwischen normaler und abnormer Farbenh-wahrnehmung aufzufinden. Daneben hat man in neuester Zeit sich mit besonderem Eifer darauf gelegt, die verschiedenen Methoden zum Nachweis der Anomalien der Farbenh-wahrnehmung zu verbessern oder durch neuerfundene zu ersetzen, wodurch die grosse Häufigkeit der Farbenblindheit constatirt, und die Bedeutsamkeit derselben unter gewissen Umständen in ein klareres Licht gestellt worden ist. Die bei solchen Untersuchungen zu Tage tretenden Uebelstände haben dann in der nächsten Vergangenheit mancherlei Bestrebungen hervorgerufen, die darauf ausgehen, eine bequeme und zuverlässige Methode aufzufinden, durch welche man die Anomalien der Farbenh-wahrnehmung nicht bloss nachzuweisen, sondern auch numerisch auszudrücken im Stande wäre. Hier sei vorläufig bloss das von Prof. Donders vorgeschlagene

Verfahren erwähnt. *) Bei diesem wird die Empfindlichkeit für Farben (F) theils mittelst des reflectirten, theils mittelst des durchfallenden Lichtes bestimmt. Bei Anwendung von reflectirtem Lichte benutzt man kleine Quadrate von farbigem Papier auf schwarzem Grund und notirt sich den kleinsten Schwinkel, unter welchem das Pigment in seinem richtigen Ton wahrgenommen wird. Ist D der Abstand, in welchem 1 mm des farbigen Papiers normal wahrgenommen wird, d der für das untersuchte Auge erforderliche Abstand, so ist für letzteres $F = \frac{1}{m^2} \frac{d^2}{D^2}$ (worin m der Durchmesser des farbigen Stückchens). Die Methode setzt somit voraus, dass F proportional mit dem Quadrat des Abstandes abnimmt, was wohl im Allgemeinen mit den wirklichen Verhältnissen stimmen dürfte, wobei indessen doch zu bemerken, dass nicht alle Farbentöne sich bei abnehmendem Schwinkel gleichmässig verhalten, denn während die einen innerhalb der Grenzen, zwischen welchen sie überhaupt als farbig erkannt werden können, immer in ihrem richtigen Ton wahrgenommen werden, werden andere bei einer gewissen Kleinheit des Schwinkels in einem andern Ton aufgefasst; Grün z. B. wird bei einem kleinen Schwinkel als Blau gesehen, Rosa als Gelb und Dunkelgelb als Roth. Dies muss voraussichtlich einen nicht unbedeutenden Einfluss auf das Resultat der Untersuchung ausüben, denn hat man erst einmal eine bestimmte, wenngleich unrichtige Vorstellung von einer Farbe angenommen, so wird diese Vorstellung weit über die Grenze hinaus festgehalten werden, bei welcher man das Objekt in seinem wahren Ton erkannt haben würde, falls man nicht durch jene vorläufige Wahrnehmung sich

*) Bericht über die 10. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg 1877.

hätte irre führen lassen. Aus demselben Grunde bietet, die Vergleichung des Farbensinnes der untersuchten Person mit demjenigen des eigenen Auges nur geringe Garantie*), es sei denn, dass man einen Assistenten zur Hand habe, um die Pigmente vorzulegen. Endlich würde es bei einer Bestimmung von F nach dieser Methode wünschenswerth sein, nur Pigmente von gleicher Lichtstärke anzuwenden, da sonst leicht unbewusste Schlüsse von der Helligkeit auf den Ton sich geltend machen können. Dass eine Farbe Gelb sein muss, würde man z. B. schon lange zuvor aus ihrer Lichtstärke errathen, ehe man dieselbe wirklich nach ihrem Ton zu erkennen im Stande ist. Ueberhaupt ist es ein für diese Methode ungünstiger Umstand, dass bei abnehmendem Sehwinkel die Farbenreinheit weniger ins Gewicht fällt als die Lichtstärke.**)

Die hier gemachten Einwendungen treffen zum grössten Theil nicht den andern Theil von Donders' Methode, bei welchem durchfallendes Licht zur Bestimmung von F benutzt wird. Der Sehwinkel kann hier nämlich der gleiche bleiben, während man die Intensität durch Entfernung der Lichtquelle vom farbigen Medium nach Belieben abschwächt. Durchfallendes Licht ist ja auch das Mittel, welches sich in dem besonderen Falle am meisten empfiehlt, wo es sich darum handelt, die Fähigkeit eines Individuums zur Wahrnehmung verschiedenfarbiger Signale zu ermitteln. Minder zweckmässig ist diese Art der Untersuchung indessen da, wo es sich um Bestimmung

*) Dor et Favre *Nouvelles recherches sur la détermination qualitative de la vision chromatique*. Lyon 1878 — haben den Vorschlag gemacht, D.'s Formel zu vereinfachen, indem sie glaubten, diese Vergleichung unterlassen zu können, wenn man nur die Untersuchung stets bei constanter Beleuchtung vornähme. Dadurch wird indessen die praktische Anwendbarkeit der Methode eingeschränkt.

**) Aubert l. c. S. 114.

des centralen F handelt, weil, wie mir das nicht selten vorgekommen ist, absolute Farbenblindheit im centralen Theile schon eingetreten sein kann, während doch bei Anwendung von durchfallendem Licht alle Farben selbst unter sehr kleinem Sehwinkel richtig wahrgenommen werden (in Folge des in den brechenden Mitteln diffundirten Lichtes). Da jedoch der eine Theil der Untersuchung durch den anderen ergänzt wird, lässt die Donders'sche Methode in ihrer Gesamtheit in Bezug auf Genauigkeit gewiss wenig zu wünschen übrig; es kann indessen kaum bestritten werden, dass eine in dieser Weise ausgeführte Bestimmung — bei welcher immer noch beide auf verschiedenem Wege erlangten Resultate mit dem eigenen F verglichen werden müssen —, unter den meisten Umständen eine ziemlich zeitraubende Operation bleibt, zumal wenn man dieselbe mit der durch die Leseproben ermöglichten, fast unmittelbaren Bestimmung von S zusammenhält. Aus letzterem Grunde schon kann der Wunsch nach einem einfacheren und rascheren Verfahren kaum unberechtigt genannt werden, und ein solches hoffe ich in der Methode gefunden zu haben, zu deren Beschreibung ich nun übergehe.

Aubert spricht in seiner Physiologie der Netzhaut S. 112 den Gedanken aus, dass man, um mehr zu erlangen, als das, was er eine Bruttobestimmung von F nennt, nothwendigerweise den Einfluss der Helligkeit eliminiren müsse, was in Anwendung auf den Fall, wo man Pigmente gebrauchen will, nichts anderes besagen kann, als dass man solche von gleicher Helligkeit und gleicher Reinheit auf einem Grunde von entsprechender Helligkeit herzustellen Sorge tragen muss. Es hat indessen den Anschein, als ob Aubert selbst nicht die Hoffnung gehegt, auf dem von ihm angewiesenen Weg zum Ziel zu gelangen, denn er fügt ausdrücklich hinzu: „solche Pigmente giebt es aber nicht.“ Da der Farben-

ton, den ein und dasselbe Pigment liefert, in gewissem Grad unter dem Einfluss der wechselnden Beleuchtung variirt, ist es freilich unmöglich, ein Pigment zu beschaffen, das jederzeit genau denselben Farbenton reflectirt, ohne auf die praktisch kaum erfüllbare Bedingung einer stets gleichbleibenden Beleuchtung einzugehen. Es dürfte indessen wohl fraglich sein, ob die durch den Wechsel der Tagesbeleuchtung unter gewöhnlichen Umständen veranlassten Variationen des Farbentones nicht doch sich als ziemlich irrelevant erweisen würden, wenn man nur erst wirklich eine Reihe von Pigmenten dargestellt hätte, die bei einer bestimmt gegebenen Beleuchtung Farbtöne von gleicher Helligkeit und Reinheit lieferten. Und wenn sich nun wirklich diese Voraussetzung bestätigte, so würde man, indem man von einigen wenigen derartigen, correspondirenden Pigmenten ausginge, und dieselben in der einen oder andern messbaren Weise abschwächte, eine unter sich vergleichbare Reihe von Pigmenten herstellen können, vermittelt welcher F bestimmt und mit einem genügenden Grad von Genauigkeit numerisch ausgedrückt werden könnte. Hier, wie bei der Bestimmung von L und S, handelt es sich ja nämlich zunächst nur um eine annähernde Genauigkeit. Schon der Umstand, dass man bei einer solchen Anordnung der Untersuchung nicht erst den Schwinkel zu variiren brauchte, um aus seiner verschiedenen Grösse den Grad der Empfindlichkeit zu berechnen, sondern dass man direct mit einer gemessenen Reinheit der Farbtöne operiren könnte, ohne dabei in so hohem Grade, wie beim durchfallenden Lichte durch die Diffusion in den brechenden Mitteln gestört zu werden, würde als ein Vortheil zu betrachten sein.

Zur Herstellung einer solchen Reihe vergleichbarer Farbennuancen ist die rotirende Scheibe ein vorzügliches Hilfsmittel, da wir durch dieselbe die Reinheit der Far-

ben in messbarem Grade abzuschwächen im Stande sind und dann die so abgeschwächten Farbentöne fixiren und mit Hilfe von Pigment auf Tafeln übertragen können. Letztere lassen sich sofort zur Bestimmung von F benutzen, in derselben Weise, wie dies bei den photoptometrischen Tafeln in Bezug auf L geschieht.

Es handelt sich also zunächst um Herstellung einer Reihe von Farbentönen von gleicher Reinheit und gleicher Helligkeit, welche sich als Ausgangsfarben brauchen lassen. Hierzu habe ich die vier Hauptfarben: Roth, Gelb, Grün und Blau gewählt.*) Helligkeit und Reinheit derselben habe ich gleichzeitig zu bestimmen gesucht. Zu dem Zweck habe ich mir erst ein graues Pigment hergestellt aus 310^o mattem Schwarz und 50^o Weiss. Darnach habe ich die Hauptfarben und deren Complementärfarben (Grünblau, Ultramarin, Rosa und Orange) paarweis hergestellt, so dass in jedem Paar die Töne gleiche Reinheit erhielten, d. h. auf der Rotationsscheibe in gleichem Verhältniss gemischt (180^o zu 180^o) ein Grau geben, das in Neutralität und Helligkeit dem obigen normalen Grau gleichstand. Hierdurch ist die mittlere Helligkeit der verschiedenen Farbenpaare bestimmt, aber noch nicht die wirkliche Helligkeit jedes einzelnen Farbentons; denn aus dem Grunde, dass beispielsweise ein gewisses Roth und ein gewisses Blaugrün ein Grau von bestimmter Helligkeit ergeben, brauchen die Componenten noch nicht gleiche Helligkeit zu besitzen.

Eine vorläufige Bestimmung der Helligkeit wird dadurch erleichtert, dass innerhalb der 8 Farbentöne Ueber-

*) Die Wahl kann selbstverständlich bloss zwischen den oben genannten vier oder den sogenannten drei Grundfarben stattfinden. Die Gründe, welche mich zur Wahl der ersteren bestimmt haben, werden aus dem Folgenden einleuchten.

gänge vorhanden sind. Während es nämlich eine sehr schwierige Aufgabe ist, darüber zu entscheiden, ob eine rothe Farbe ebenso hell ist, als eine grüne, fällt die Vergleichung zwischen einer blaugrünen und einer grünen verhältnissmässig leicht; ebenso zwischen einer blaugrünen und blauen oder zwischen Ultramarin und Rosa. Diese Uebergänge bieten ausserdem noch den Vortheil, dass sie die Vergleichung der Reinheit der verschiedenen Farbentöne erleichtern. Denn auch hier ist einleuchtend, wie der Umstand, dass jedes Farbenpaar dasselbe Grau liefert, nicht darüber entscheidet, ob auch die relative Reinheit eines jeden Paares die gleiche ist. Finden wir dagegen bei angestellter Vergleichung zwischen Grün und Blaugrün, oder Blau und Ultramarin, dass diese gleiche Reinheit besitzen, so können wir uns davon überzeugt halten, dass auch die Complementärfarben gleich rein sind, da letztere auf der Rotations Scheibe die ersteren aufwägen.

Eine andere Methode, mittelst welcher man annähernd sowohl die Helligkeit als die Reinheit zu beurtheilen vermag, beruht darauf, dass wir in unserm Lichtsinn ein schärferes Reagenzmittel besitzen als in unserm Farbensinn. Trägt man demnach die verschiedenen Pigmente in gleich langen und breiten Streifen auf weissen, grauen und schwarzen Grund auf, in der Art, dass immer ein Paar complementäre Farben auf einer Scheibe nebeneinander stehen, und, falls man weissen oder schwarzen Grund benutzt, durch einen grauen Streifen von bestimmter Helligkeit verbunden sind, und betrachtet demnächst diese Streifen durch eine so sehr verengerte Augenlidspalte, dass jeder Farbenunterschied verschwindet: so werden bei gleicher Helligkeit und Reinheit der Pigmente die aufgemalten Streifen sich entweder als ein gleichmässig dunkler Streifen auf hellem Grunde oder als ein gleichmässig heller Streifen auf

dunklem Grunde darstellen; auf grauem Grunde werden dagegen die beiden complementären Striche, die hier unmittelbar aneinander grenzen können, im grauen Grunde verschwinden. Bei mehreren Farbentönen wird man dasselbe Resultat dadurch erreichen können, dass man die aufgemalten Streifen in einem Abstand von solcher Grösse betrachtet, dass der Eindruck der Farbe verschwindet. Hier zeigt sich indessen unmittelbar, dass F nicht für alle Farben gleichmässig mit dem Sehwinkel abnimmt, wie auch, dass dieselben nicht unter allen Umständen gleich dunkel erscheinen. So wird z. B. bei Vergleichung eines rothen und blaugrünen Pigmentes, welche auf der Rotationsscheibe ein neutrales Grau ergeben und welche sich unter grösseren Sehwinkeln als gleich hell darstellen, das rothe seiner Farbe nach sich immer unter viel kleinerem Gesichtswinkel erkennen lassen, als das blaugrüne, während letzteres in der Entfernung sich immer dunkler ausnehmen wird, als das erstere.

Hat man so nun zuerst die 8 fundamentalen Farbentöne hergestellt und in der oben beschriebenen Weise vorläufig Helligkeit und Reinheit derselben bestimmt, so kann man die Untersuchung des letzteren Verhältnisses in viel zuverlässigerer Weise mit Hilfe der Rotationsscheibe durchführen. Will man nämlich untersuchen, ob alle Farbentöne relativ gleich hell sind, so lässt sich dies dadurch bewerkstelligen, dass man jeden einzelnen Ton aus einer Mischung zweier anderer herstellt. Wünscht man z. B. die Entscheidung darüber, ob das Gelb, welches in Verbindung mit dem Ultramarin Grau giebt, von gleicher Helligkeit ist wie das Ultramarin, so kann man zuerst Gelb aus Roth und Grün herstellen. Diese geben in dem Verhältniss gr. $135^{\circ} + r\ 225^{\circ}$ ein Gelb, das dem angewendeten gelben Pigment $170^{\circ} + \text{Grau } 190^{\circ}$ ent-

spricht*), wobei selbstverständlich die gleiche Beleuchtung vorausgesetzt ist. Findet man nun diese beiden Töne von gleicher Helligkeit, so kann man wiederum, indem man das Roth aus Rosa und Gelb herstellt, die Probe darüber anstellen, ob der so hervorgebrachte Ton dieselbe Helligkeit besitzt, wie Roth + einer gewissen Menge Grau; darnach ob Rosa aus Roth und Ultramarin hergestellt, dieselbe Helligkeit besitzt, wie Rosa + einer gewissen Menge Grau, und ob Ultramarin aus Rosa und Blau hergestellt gleich Ultramarin + Grau. In derselben Weise kann man die Reihe Gelb, Grün, Blaugrün, Blau u. s. w. der Prüfung unterwerfen. Als ich die Reihen in solcher Weise durchmusterte, ergab sich das Resultat, dass meine sämtlichen 8 Farbtöne sich im Besitz gleicher Helligkeit zeigten, — ein Beweis dafür, dass man durch die obenbeschriebene vorläufige Vergleichungsart die Helligkeit der Farbtöne mit genügender Genauigkeit beurtheilen kann.

Die gemeinschaftliche Helligkeit der sämtlichen 8 Pigmente lässt sich auch durch Rotation prüfen, indem man dieselben auf gleichgrosse und nicht zu schmale Sektorabschnitte aufträgt, während der Rest der Scheibe an der Mitte und am Rand mit demselben grauen Pigment bemalt ist. Ob das Grau, welches jedes einzelne Farbenpaar liefert, denselben Ton hat, lässt sich dadurch untersuchen, das man die Complementärfarben paarweis in 8 Halbringen (jeden zu 180°) neben einen grauen Ring — im Ganzen also 5 Ringe — aufmalt. Dies liefert eine sehr feine Probe, da bei diesem Verfahren jeder Fehler, der untergelaufen ist, so zu sagen

*) Von allen Farbtönen geben zwei und zwei immer einen Mischungston, der schwächer ist, als der der Componenten, ausgenommen Roth und Gelb, die ein Orange geben, dessen Intensität die Intensität des dem Blau complementären (und gleichwerthigen) Orange bedeutend übertrifft.

in vergrössertem Massstabe zu Tage tritt. Sollte z. B. das Grau, welches aus Roth und Blaugrün resultirt, ein wenig ins Röthliche spielen, so würde dies durch den simultanen Contrast den beiden angrenzenden Ringen einen grünlichen Schimmer verleihen, und dadurch wieder die Störung der Harmonie sich noch weiter ausbreiten. Durch diese verschiedenen Proben kann man mit hinreichender Genauigkeit sich davon überzeugen, ob die verschiedenen Pigmente dieselbe Helligkeit besitzen und ob gleichzeitig jedes einzelne Farbenpaar dasselbe neutrale Grau ergibt; unsicher bleibt dagegen noch die Beurtheilung der relativen Reinheit der verschiedenen Farbtöne. Es ist einleuchtend, dass man nur eine approximative Bestimmung des letztgenannten Verhältnisses erlangen kann, denn selbst in dem Fall, wo man unter einer in qualitativer sowohl als in quantitativer Hinsicht vollständig constanten Beleuchtung arbeitete, würden doch die wechselnden subjectiven Zustände stets einige Variation des Resultates bedingen. Da indessen die Methode zur numerischen Bestimmung von F, welche ich hier in Vorschlag bringe, darauf basirt, dass die verschiedenen Farbtöne in jeder Nummer in äquivalenten Verhältnisstheilen vorhanden sind, so hat es für mich die grösste Bedeutung, mit möglichster Genauigkeit die relative Reinheit der 8 Farbtöne zu bestimmen, welche die Grundlage der Skala bilden und aus welchen die weniger reinen Nüancen durch eine gemessene Abschwächung hergestellt worden sind. Auch bei Bestimmungen dieser Art erweist sich die Rotationsscheibe als das beste Hilfsmittel, da man auf ihr die Farbtöne mit neutralem Licht mischen, und die zur Wahrnehmung nothwendige minimale Menge festsetzen kann. Will man ein einigermaßen zuverlässiges Resultat erhalten, so muss man indessen eine grössere Anzahl Beobachtungen anstellen und aus ihnen

das Mittel ziehen, denn für einen und denselben Ton kann man, selbst wenn man unter ganz gleichen Umständen operirt, ein ziemlich verschiedenes Resultat erhalten, wenn man sich mit einigen wenigen Beobachtungen begnügen lässt. Es ist ferner nothwendig, dass der Beobachter darüber in Ungewissheit bleibt, welche Farbe vorgelegt wird. Wir haben diese Bestimmungen auf 3 verschiedene Weisen vorgenommen, indem die Farbentöne theils mit dem vorhandenen Grau, theils mit Weiss und theils mit Schwarz vermischt wurden. Immer wurde neutrales Licht derselben Art, als das womit die Mischung geschehen, zum Contrast angewendet. Nach jeder dieser 9 Arten sind 10 Beobachtungen vorgenommen, nämlich 5 durch einen mit 2 Löchern durchborten schwarzen Schirm, so dass der äusserste Rand der Rotationsscheibe, auf welchem sich der gefärbte Sektor befand, durch das eine Loch betrachtet wurde und der ungefärbte Theil der Scheibe durch das andere, — und 5 andere, bei welchen die Rotationsscheibe frei, ohne Schirm, betrachtet wurde. Die Reinheit jedes Farbentones ist also durch 30 Beobachtungen jedes Beobachters (alle 8 zusammen durch ungefähr 500 Beobachtungen) bestimmt. Bei der Untersuchung sind wir in der Weise vorgegangen, dass zuerst ein so kleiner Sector der gefärbten Scheibe eingestellt wurde, dass ein bestimmter Farbeindruck dadurch nicht hervorgebracht wurde. Darnach wurde der farbige Sektor nach und nach soweit vergrössert, bis er im richtigen Ton aufgefasst wurde und die hierzu erforderliche Zahl der Grade als Untergrenze notirt. Für zwei der Complementärfarben, nämlich Orange und Ultramarin, haben wir die Zahl der Grade notirt, bei welcher dieselben sich als gelb und blau zeigten, da Orange resp. Ultramarin nur wenig sich abschwächen lassen, ehe sie mit Gelb resp. Blau zusammen fallen.

Die Untersuchung ist ferner immer nur eine bestimmte Zeit des Tages (zwischen 9 und 11 Uhr) vorgenommen und unter möglichst gleichartiger Beleuchtung. — Die Stellung der Gegenstände gegen die Lichtquelle war ein für alle Mal geordnet und ebenso die Stellung, welche der Beobachter zur Scheibe einnahm. Wenn der schwarze Schirm angewendet wurde, fand derselbe seine Aufstellung in der Mitte zwischen dem Auge des Beobachters und der Rotationsscheibe. Der Abstand zwischen Auge und Schirm betrug 30 cm. Da die Oeffnungen des Schirmes aus Quadraten von 0,5 cm Seitenlänge bestanden und 0,4 cm. von einander entfernt waren, entsprechen offenbar die durch den Schirm auf der Rotationsscheibe überschauten Flächen Quadraten von 1 cm Seitenlänge in einem Abstand von 30 cm gesehen.

Eigenes Auge.				Auge des Gehülfen.			
	roth blaugrün mittel				roth blaugrün mittel		
Graue				Graue			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	22,2	25	23,6	mit Schirm	21,1	25,2	23,1
ohne „	4,1	7,35	5,47	ohne „	4,3	4,7	4,5
Weisse				Weisse			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	51,8	75,6	63,7	mit Schirm	30,8	66	48,4
ohne „	19,2	64	41,6	ohne „	20	24,8	22,4
Schwarze				Schwarze			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	6,1	5,7	5,9	mit Schirm	2,6	3,9	3,25
ohne „	2,1	2,9	2,5	ohne „	1,84	3,6	2,12
Mittel a. allen				Mittel a. allen			
3 Methoden	17,58	30,09	23,8	3 Methoden	13,44	21,36	17,39
	grün rosa mittel				grün rosa mittel		
Graue				Graue			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	23,8	21,6	22,7	mit Schirm	21,6	17,3	19,4
ohne „	4,4	3,45	3,92	ohne „	3	3,1	3,05

Eigenes Auge.				Auge des Gehülfsen.			
	grün	rosa	mittel		grün	rosa	mittel
Weisse				Weisse			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	64,8	57	60,9	mit Schirm	48,6	39	43,8
ohne „	40,2	25	32	ohne „	24,2	17,6	20,9
Schwarze				Schwarze			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	4,6	4,9	4,75	mit Schirm	2,8	3,1	2,95
ohne „	1,95	1,45	1,7	ohne „	1,55	2,7	2,12
Mittela. allen				Mittela. allen			
3 Methoden	23,29	18,9	21,09	3 Methoden	16,96	13,8	15,37
	gelb	ultramarin	mittel		gelb	ultramarin	mittel
Graue				Graue			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	15,6	28,8	22,2	mit Schirm	14,1	39,2	26,6
ohne „	5	17,05	11	ohne „	6	20,5	13,25
Weisse				Weisse			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	66,6	66	66,3	mit Schirm	49	65,4	57,2
ohne „	21	29,4	25,2	ohne „	14	28,8	21,4
Schwarze				Schwarze			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	4,8	3,3	4,05	mit Schirm	2,5	4,7	3,4
ohne „	3,2	2,4	2,8	ohne „	2,2	2,2	2,2
Mittela. allen				Mittela. allen			
3 Methoden	19,37	24,49	21,9	3 Methoden	14,65	26,8	20,67
	blau	orange	mittel		blau	orange	mittel
Graue				Graue			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	28	16,2	22,1	mit Schirm	37	15	26
ohne „	17,05	6,29	11,67	ohne „	20	6,5	13,25
Weisse				Weisse			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	56,2	68,2	62,3	mit Schirm	64	53,4	58,7
ohne „	23	28	25,5	ohne „	26	17,8	21,9
Schwarze				Schwarze			
Scheibe				Scheibe			
mit Schirm	3,7	4,1	3,9	mit Schirm	3,6	3,6	3,6
ohne „	2,3	2,95	2,62	ohne „	3,3	3,1	3,2
Mittela. allen				Mittela. allen			
3 Methoden	21,75	20,95	21,33	3 Methoden	25,65	16,56	21,11

Zunächst möchte ich auf den nicht unbedeutenden individuellen Unterschied aufmerksam machen zwischen dem heller pigmentirten Auge meines Gehülfen und dem meinigen, insofern jenes, mit meinem verglichen, sich im Besitz einer nicht unbeträchtlich grösseren Erregbarkeit für rothe und grüne Töne zeigt. Wir begegnen in diesem Umstand einem neuen Moment, das nicht aus dem Gedächtniss gelassen werden darf, wenn es sich um Aufstellung eines gemeinsamen Massstabes für F handelt. — Ein kurzer Blick auf die vorliegenden Zahlenwerthe zeigt ferner, dass wir für die verschiedenen Farbtöne sehr abweichende Resultate erhalten haben. Wäre nun das Resultat für jeden einzelnen Ton als massgebend anzusehen, so müsste man daraus den Schluss ziehen, dass es mir in der obenbeschriebenen Weise nicht entfernt geglückt sei, Pigmente herzustellen, die unter einigermaßen gleichartiger Beleuchtung gleich reine Farbtöne lieferten. Ganz anders wird indessen die Sachlage, wenn man das Mittel aus jedem Farbenpaar als den wahren Ausdruck für die Reinheit der verschiedenen Töne auffasst. Im letzteren Falle findet man nämlich, dass sämtliche vier Farbenpaare in Bezug auf mein Auge als ziemlich genau gleichwerthig bezeichnet werden können. Dies gilt zumal von den Versuchen, bei welchen die Scheibe mittelst des Schirmes betrachtet wurde, — (also in Bezug auf die centrale Empfindlichkeit für Farben) — und bei welchen graues Licht zur Mischung und zum Contrast angewendet wurde; doch ergibt auch der Durchschnitt aus sämtlichen 30 Beobachtungen ziemlich gut übereinstimmende Resultate wenigstens in Bezug auf die 3 Paare Grün-Rosa (21,09), Gelb-Ultramarin (21,9) und Blau-Orange (21,33). Dass Roth-Grünblau eine etwas grössere Anzahl von Graden (nämlich 23,8) ergibt, dürfte muthmasslich seinen Grund allein in dem Umstande haben, dass der

Ton des Blaugrün ziemlich in der Mitte zwischen Blau und Grün liegt, und somit weiter von den Hauptfarben entfernt, als die übrigen. Hierdurch wird letztere Farbe in ihren Mischungen schwerer zu diagnosticiren. Man darf mithin aus der vorliegenden Differenz nicht folgern, dass das roth-blaugrüne Farbenpaar weniger intensiv gewesen sei, als die 3 andern. Dass dies aber auch in Wirklichkeit nicht der Fall gewesen, wird noch bedeutend wahrscheinlicher durch den Umstand, dass Roth im Vergleich mit Rosa, wenn man nach der Zahl der Grade urtheilen darf, sich reichlich so rein als jenes ausweist (nämlich 17,58 zu 18,9), während an der Berechtigung zu einer solchen Zusammenstellung kaum zu zweifeln ist, da Rosa selbst bei Mischung mit grossen Quantitäten neutralen Lichts sich fast immer im eigenen Farbentone zeigt. Hat man nun aber wirklich ein Recht, in solcher Weise die Complementärfarben zusammen zu fassen, oder würde es nicht doch vielleicht sachgemässer sein, hier, wo es sich um die Bestimmung der Reinheit der einzelnen Farbentöne handelt, die Complementärfarben ganz ausser Spiel zu lassen und sich allein an die Resultate zu halten, welche sich aus den Beobachtungen über die verschiedenen gesonderten Farbentöne ergeben? Diese Frage werde ich später wieder aufnehmen, hier indessen bis auf Weiteres unbeantwortet lassen und vorläufig annehmen, dass das Resultat, welches durch die Mittelzahl der zusammengehörenden Paare complementärer Farben dargestellt wird, der richtige Ausdruck für die Reinheit jedes Tones ist, und wenn das der Fall, so ergiebt sich aus dem Angeführten, dass die 8 fundamentalen Farbenpaare ziemlich genau den gleichen Grad von Reinheit besitzen.

Von der so gewonnenen Grundlage ausgehend, habe ich nun innerhalb jedes Tones 8 schwächere oder weniger reine Nüancen hergestellt. Jeder der ursprünglichen

Töne wurde nämlich mit Grau in solchem Verhältniss gemischt, dass seine Reinheit jedesmal um $\frac{1}{9}$ verringert wurde. Die so erhaltenen Nüancen wurden dann mit Pigment nachgebildet und darnach auf zwei Tafeln übertragen, auf welchen Quadrate von 1 cm. Seite mit demselben bemalt wurden. Diese Quadrate sind mit einem oder mehreren grauen Quadraten zusammengestellt, so dass immer unter 12 derartigen Quadraten, die in 2 Reihen geordnet sind, (wobei jedes Quadrat immer 1 cm. von dem anderen entfernt steht) jeder der 8 Farbentöne von gleicher Helligkeit und Reinheit wenigstens einmal vorkommt neben einem oder mehreren grauen Quadraten.

Auf den mattschwarz grundirten Tafeln findet man demnach von jedem Farbenton 9 Nüancen, nämlich den ungemischten Farbenton und 8 daraus abgeleitete schwächere Töne, welche aus ersteren durch Mischung mit Grau erhalten wurden in den resp. Verhältnissen:

40 Grau	80 Gr.	120	160	200	240	280	320
320 Farbe,	280 F.,	240,	200,	160,	120,	80,	40.

Im Folgenden werden diese abgeleiteten Töne dadurch bezeichnet werden, dass man einfach die Zahl der Grade des farbigen Sektors der Rotationsscheibe der Bezeichnung des betreffenden Farbentons beifügt. Ausserdem habe ich auf den Tafeln 8 andere möglichst reine Farben von demselben Ton, wie die ursprünglichen 8, beigelegt, aber ohne auf das gegenseitige Verhältniss der Lichtstärke derselben Rücksicht zu nehmen. *) Man findet demgemäss auf den Tafeln im Ganzen 80 verschiedene Farbensnüancen, aber abgesehen von dem neutralen Grau,

*) Diese sind zur Anwendung bei weiter fortgeschrittenen Fällen von erworbener Farbenblindheit bestimmt. Da indessen farbige Gläser das geeignetste Mittel zur Entscheidung darüber sind, ob überhaupt Farbenwahrnehmung vorhanden ist, so können diese Töne auch fortgelassen werden.

nur 8 verschiedene Farbentöne. Innerhalb der einzelnen Reihen sind die verschiedenen Farben nicht nach irgend welcher bestimmten Regel geordnet, um so die Möglichkeit auszuschliessen, aus der Reihenfolge auf den Farbenton zu schliessen. Wünscht man nun den Farbensinn eines Individuums zu untersuchen, so kann dies sehr schnell und unabhängig vom Farbensinn des Untersuchers mittelst eines den Tafeln beigegeführten Index geschehen. Man mache nur den, der sich der Untersuchung unterwirft, darauf aufmerksam, dass in jedem Reihenpaar, (— die 12 Quadrate, welche eine Nummer ausmachen, und in welchen Nüancen von gleicher Farbestärke zusammengestellt sind, sind auf den Tafeln in 2 Reihen von je 6 Quadraten geordnet —) sich verschieden gefärbte Quadrate, sowie ein oder mehrere graue vorfinden; dann zeige man auf eines der grauen oder farbigen Quadrate, und fordere den Patienten auf, ein anderes anzugeben, welches ihm mit dem angezeigten übereinzustimmen oder die meiste Aehnlichkeit zu haben scheint. Ist der Betreffende farbenblind, so wird dies sich unmittelbar dadurch verrathen, dass er ungleiche Farbentöne verwechselt und zwar werden es in weitaus den meisten Fällen die complementären Farben sein, welche er zusammen wirft. Bei einem durch pathologische Zustände geschwächtem F, kann man constatiren, in welchem Grad und für welche Farbentöne dies der Fall ist. Finden wir z. B. bei einem Opticusleiden, dass der Patient (in einem Abstand von 1 Meter von der Tafel) die rothen Nüancen bis r_{200} und die grünen bis zu gr_{240} unterscheidet, während er die blauen bis bl_{40} wahrnimmt, so ist dadurch nicht allein die Art seiner beginnenden Farbenblindheit nachgewiesen, sondern zugleich auch der Grad der Schwächung seiner Farbenwahrnehmung für die respectiven Töne. Rein empirisch ist ein F, welches die Wahrnehmung der schwächsten Nüancen der Tafel (d. h. also f_{40}) im

richtigen Ton und unter einem Schwinkel von ca. 30' möglich macht, als Norm angenommen. Im eben angeführten Beispiel ist demnach das F des Patienten für $r = \frac{1}{5}$, für $gr = \frac{1}{6}$ und für Blau dagegen normal.

Die technische Ausführung einer solchen Reihe von Farbtönen und Nüancen nimmt viel Zeit und Geduld in Anspruch. Aus dem schon S. 59 entwickelten Grunde lassen sich nur Oelfarben anwenden und da die Objecte, soweit dies möglich, glanzlos sein müssen, muss man die Farben „einschlagen“ lassen. Hierdurch ändert sich indessen sowohl die Helligkeit als der Ton des gebrauchten Pigments in unberechenbarer Weise, so dass kein anderer Weg übrig bleibt, als der der fortgesetzten Versuche. In der ersten Zeit meiner Beschäftigung verlor ich viel Zeit und Arbeit dadurch, dass ich nicht genügende Rücksicht auf die Beleuchtungsqualität nahm. Dass letztere einen nicht unbedeutenden Einfluss auf den Farbenton eines bestimmten Pigmentes ausübt, ist ja gewiss für Jeden, der ein wenig sich mit Malen abgegeben, eine bekannte That-
sache; wie gross aber dieser Einfluss in der That sei, wurde mir da erst recht einleuchtend, als ich mich daran machte, die auf der Rotationsscheibe sich zeigenden Töne zu fixiren. Ein Farbenpaar, welches den einen Tag auf das Beste mit dem angewendeten Grau harmonirte, stimmte den folgenden Tag durchaus nicht mehr. Wurde der Fehler verbessert, so musste die vorgenommene Correction den nächsten Tag schon wieder geändert werden. Nur dadurch, dass ich von einem Farbenpaar ausging (und da, wie bekannt, Roth-Blaugrün sich am schwierigsten zu farblosem Licht vereinigen lässt, wurde dieses gewählt) und keine Mischungsversuche vornahm, ausser wo das Probenpaar ein neutrales Grau ergab, erreichte ich endlich ein befriedigendes Resultat. Nachdem erst einmal vier Farbenpaare zu Stande gebracht waren, die bei einer gewissen Beleuchtung ein neutrales Grau hervorbrachten, konnte ich mich in der Folge davon überzeugen, wie scheinbar ganz unbedeutende Veränderungen in der Beleuchtung, wie z. B. eine leichte Bewölkung, der verstärkte Reflex eines naheliegenden Hauses u. s. w. ausreichend waren, um Disharmonie hervorzurufen. Die schwächeren Nüancen der 8 Ausgangsfarben liessen sich vielleicht dadurch herstellen, dass man die Pigmente im rechten Verhältniss

zu dem grauen Pigmente abwäge. Dies habe ich indessen nicht versucht, sondern habe dieselben in der gleichen Weise hergestellt, wie ich graues Licht von verschiedener Lichtstärke hergestellt hatte, d. h. durch Aufstellung eines farbigen Sectors von bestimmter Grösse auf der grauen Scheibe. Um z. B. r_{80} herzustellen, wurde ein rother Sector von 80° auf der grauen Scheibe aufgelegt. Darauf suchte ich einen rothen Farbenton von entsprechender Reinheit mittels Pigment herzustellen. Um möglichst günstige Bedingungen für die Vergleichung zu erlangen, erweist es sich auch hier nothwendig, kleinere Scheiben ca. 5 cm Diameter oben auf die grösseren (farbige und graue von 11 cm) zu appliciren. Wenn man jene kleineren Scheiben mit dem Pigment übermalt, durch welches man den Farbeindruck wiederzugeben sucht, den die rotirende graue Scheibe mit farbigem Sector im Auge hervorruft, kann man leicht controliren, wie weit der innere Theil der Scheibe mit dem Rande übereinstimmt. Die verschiedenen Nüancen der complementären Farben werden am zweckmässigsten gleichzeitig hergestellt, denn dabei kann man am leichtesten untersuchen, ob sie gleich rein und gleich hell sind. Man braucht nämlich nur kleinere Scheiben zur Hälfte mit jeder der beiden Farben zu übermalen, und gegen das normale Grau zu probiren. Dadurch wird es sich leicht ermitteln lassen, ob Fehler bei dem Herstellen der einzelnen oder beider complementären Farbentöne begangen sind.

Das Resultat, welches die Untersuchung des F eines Individuums mit Hülfe einer derartig construirten chromatoptometrischen Tafel ergibt, ist selbstverständlich nicht nur vom Farbensinn des Betreffenden, sondern wesentlich auch von dem Grad der Genauigkeit abhängig, mit welchem die Tafel ausgeführt ist. Wie bereits hervorgehoben, muss man vor Allem dessen gewiss sein, dass die 8 Farbentöne, von welchen man ausgeht, gleiche Lichtstärke und gleiche Reinheit besitzen. Das erste kann man mittelst der oben von mir beschriebenen Methoden mit leichter Mühe untersuchen, sowohl in Betreff der ursprünglichen Farbentöne, als in Betreff der von letztern abgeleiteten Nüancen; und dieser

Forderung ist denn auch auf der von mir hergestellten Tafel, einzelne unwesentliche Fehler abgerechnet, Genüge geleistet. Ob die von den Ausgangsfarben abgeleiteten Nüancen in Reinheit den Nüancen entsprechen, welche sie repräsentiren sollen, d. h. ob z. B. r_{80} wirklich einem rothen Sektor von 80° auf Grau 280° entspricht, ist ebenfalls ohne Schwierigkeit zu untersuchen. Ob dagegen die 8 Pigmente, die der Darstellung der Tafel zu Grunde liegen, Farbentöne von gleicher Reinheit geben, ist nicht mit genügender Sicherheit dargethan, wenn man nicht, wie wir vorläufig gethan, die durch Vermischung mit neutralem Licht erhaltenen Resultate zu Gunsten einer solchen Annahme ausdeutet, indem man die Farbentöne paarweis beurtheilt. Ob man zum letzteren Verfahren wirklich berechtigt, soll nun genauer untersucht werden.

Wie bereits erwähnt, ist es eine wohlbekannte Thatsache, dass Variationen in der Beleuchtungsqualität (— wir sprechen hier bloss vom Tageslichte —) einen nicht unbedeutenden modificirenden Einfluss auf den Ton ausüben, der von einem gegebenen Pigment reflectirt wird. Dieser Einfluss zeigt sich als besonders gross, wenn man einen Farbenton auf der Rotationsscheibe durch Mischung zweier andern Farbentöne herzustellen sucht, und tritt in solchem Fall am schärfsten zu Tage, wenn die beiden Componenten Roth und Blaugrün sind. Das von mir hergestellte Farbenpaar Roth-Blaugrün giebt bei einer gewissen Beleuchtung neutrales Grau, wie sich am leichtesten zeigen lässt, wenn man die beiden geschlitzten farbigen Scheiben so in einander steckt, dass jede Farbe 180° einnimmt, und die combinirte Scheibe mit einer kleineren grauen Scheibe deckt. Dies ist indessen nur unter einer bestimmten Beleuchtung der Fall, wie dieselbe etwa zwischen 9 und

12 Uhr bei klarem Himmel gewöhnlich auf meinem Arbeitszimmer eintritt. Untersucht man späterhin am Tage, etwa zwischen 2 und 4 Uhr, so können dieselben Scheiben Grau ergeben bei dem Verhältniss $r_{195} + \text{blgr}_{165}$; bei bewölktem Himmel kann das Verhältniss sich umkehren, so dass man $r_{165} + \text{blgr}_{195}$ *) anwenden muss, um ein einigermaßen neutrales Grau zu erhalten.

Wie eine Veränderung der Beleuchtung eine so bedeutende Differenz zwischen dem Farbenton, der dem grauen Pigment zugehört, und dem Farbenton bewirken kann, der aus Roth-Blaugrün sich erzeugt, vermag ich mir nach keiner der Geltung habenden Theorien zu erklären. Rose **) hat denn auch hierin einen Beweis gegen die Richtigkeit der Young-Helmholtz'schen Theorie erblicken wollen. Hat man nämlich ein Farbenpaar, welches bei einer gegebenen Beleuchtung Grau ergiebt, und die Beleuchtung ändert sich so, dass dieselbe beispielsweise röthlicher wird, da müsste doch dieser Umstand, wenn er überhaupt irgend welche grössere Veränderung in unserer Farbenwahrnehmung hervorbringen kann, zunächst die Wirkung haben, dass die rothen Töne deutlicher oder jedenfalls heller würden, während in demselben Grad die blaugrünen verdunkelt

*) Bei Variationen, die bewirken, dass man einen so grossen Ueberschuss der einen Complementärfarbe anwenden muss, um die andere aufzuwägen, erhält man kein vollständig neutrales Grau.

**) A. f. Ophth. Bd. VII. Abth. 2. S. 91. Wenn man eine auf der Rotationsscheibe correcte Gleichung, die also aus zwei complementären Farben in der Zusammenstellung mit reinem Grau besteht, durch ein gefärbtes Glas betrachtet, so wird die Harmonie gleich aufgelöst. Die Differenz zwischen dem äusseren und innern Theil der Scheibe wird besonders gross bei Anwendung von gelbem oder blauem Glas. Vielleicht dürften bei der Benutzung farbiger Gläser ähnliche Absorptionsphänomene sich geltend machen, wie bei der Mischung von Pigmenten auf der Palette. Vide Dove. Pogg. An. Bd. I. S. 142.

würden. Dies würde freilich auf die Nothwendigkeit führen, den blaugrünen Theil der Rotationsscheibe zu vergrößern, um ein neutrales Grau zu erhalten, aber es empfängt ja auch die graue Scheibe, die man zur Vergleichung anwendet, denselben Ueberschuss an Roth, wie die roth-blaugrüne Scheibe, und muss somit auch röther erscheinen. Warum besteht denn nun die Gleichung nicht länger? Dass es der aus Roth-Blaugrün combinirte Farbenton ist, welcher sich am meisten verändert, kann man bei auffälligeren Variationen in der Beleuchtungsqualität unmittelbar wahrnehmen, ohne erst eine Vergleichung anstellen zu müssen, da derselbe solchen Falls deutlich in einen bestimmten — weniger neutralen — Ton überzuspielen pflegt. Man darf indessen nicht vergessen, dass auch das zum Contrast dienende Grau sich nach derselben Richtung hin verändert und dass also die wahrnehmbare Differenz zwischen diesem und dem aus der Mischung des Farbenpaares resultirendem Tone nicht die ganze Veränderung ausdrückt, welche durch die Aenderung der Beleuchtung hervorgerufen ist, sondern nur einen Theil derselben. Da jedoch der Ton, welcher 2 oder mehreren Componenten seine Entstehung verdankt, in weit höherem Grade modificirt wird als der, welcher von einem einzelnen Pigment her stammt, so haben wir an der Rotationsscheibe eine Art Reagens auf die Beleuchtungsart. Die durch Pigment nachgeahmten Farbtöne dürfen somit, im Vergleich mit den durch Mischung auf der Rotationsscheibe entstandenen, als relativ stabil angesehen werden; da aber jene von diesen abgeleitet sind, bieten erstere doch nicht mehr als einen Ausdruck für letztere unter einer willkürlich gewählten Beleuchtung. Durch das Fixiren der Farbtöne erreicht man also, freilich nur theilweise, den Zweck, sich von der Beleuchtung unabhängig zu machen.

Es ergibt sich aus dem Gesagten, wie geringes Gewicht man allen durch die Masson'sche Scheibe erhaltenen Resultaten beilegen darf, wenn man nicht bei durchaus gleicher Beleuchtungsqualität arbeitet. *) Aus demselben Grunde wird aber auch die Rotationsscheibe, wenn letztgenannte Bedingung nicht erfüllt wird, nur ein unvollkommenes Hilfsmittel zur Bestimmung der Reinheit eines bestimmten Farbentones genannt werden können, — vorausgesetzt, dass man nicht gleichzeitig die Reinheit der diesem Tone entsprechenden Complementärfarbe mitbestimmt; in letzterem Fall werden aber die Fehler, welche aus der fortwährend wechselnden Beleuchtung resultiren, sich zum grossen Theil gegenseitig compensiren. Dies ergibt sich auch aus unsern Aufzeichnungen der einzelnen Beobachtungen. Denn obwohl wir nie unsere Beobachtungen vornahmen, ohne zuerst uns davon überzeugt zu haben, dass das roth-blaugrüne Farbenpaar mit dem angenommenen Grau übereinstimmte**), (so dass beide ein gleichartiges Grau ergaben), so geschah es doch oft genug, dass die Beleuchtung unter diesen zeitraubenden Versuchen sich so stark veränderte, dass die Gleichung beim Ende der Versuche nicht mehr stimmte, aber wenn auch z. B. Roth dadurch bei einer geringeren Gradezahl des rothen Sektors sichtbar wurde, so wurde durch denselben Umstand eine grössere Gradezahl von Blaugrün erfordert,

*) Die Beleuchtungsquantität hat, wenn dieselbe nicht innerhalb allzuweiter Grenzen variirt, einen verhältnissmässig geringen Einfluss auf den Farbenton. Bei einer sehr starken Beleuchtung überwiegen jedoch die Töne von geringerer Brechbarkeit. Roth-Blaugrün wird, wenn man die Rotationsscheibe dem directen Sonnenschein aussetzt, röthlich, und Blau-Orange gelblich im Verhältniss zum neutralen Grau.

**) Da dies keineswegs täglich der Fall war, nahm die Ausführung unserer Versuchsreihe fast 3 Monate in Anspruch.

und deshalb blieb der Mittelwerth zwischen beiden verhältnissmässig unverändert.

Die wechselnde Beleuchtung ist also ein Grund dafür, dass man leicht ein fehlerhaftes Resultat erhält, wenn man die relative Reinheit der durch eine Reihe von Pigmenten reflektirten Farbentöne dadurch zu bestimmen sucht, dass man dieselben auf der Rotations-scheibe mit farblosem Licht zusammenmischt und das Resultat einzeln für sich beurtheilt. Ein anderer Grund, dass man bei derartiger gesonderter Beurtheilung ein getrübtetes Resultat erhält, liegt darin, dass, wenn die Farbentöne solchergestalt auf der Rotationsscheibe mit farblosem Licht gemischt werden, eine sehr verschiedene Erregbarkeit für die verschiedenen Farbentöne zu Tage tritt. So werden gelbe Farbentöne lange vor den blauen wahrgenommen und dasselbe ist, wenn auch in minderem Massstabe, bei Roth im Verhältniss zu Grün der Fall. Vergleicht man die Zahlen für Gelb und Orange mit den für Blau und Ultramarin (s. S. 102), so wird man für jene fast durchgehends eine weit geringere Gradezahl finden, als für diese. Da beide Farbenpaare auf der Rotationsscheibe reines Grau ergeben, muss man aber doch annehmen, dass dieselben in gleichen Aequivalenten vorhanden sind. Eine befriedigende Erklärung dieser Thatsache vermag ich nicht zu geben, um so weniger, da dasselbe Verhalten gar nicht statt hat, wenn sehr schwache gelbe und blaue Nuancen durch Pigment hergestellt werden und gegen Grau oder Schwarz contrastiren. In letzterem Fall scheint sogar das Verhältniss sich umzukehren, so dass die meisten Menschen leichter das Blau wahrnehmen als das Gelb. Hier zeigt es sich unwidersprechlich, dass die auf der Rotationsscheibe statthabenden Verhältnisse nicht den Verhältnissen analog sind, welche sich beim Betrachten von Körperfarben

geltend machen. Da nach Prof. Ricco *) „die Dauer der Empfindung der verschiedenen Farben sich verhält, wie die Brechbarkeit der letzteren“, so würde man eher erwarten, dass Blau auf der Rotationsscheibe bei einer geringeren Gradezahl sichtbar werden würde, als Gelb, aber wenn die Geschwindigkeit der Umdrehung eine gewisse Höhe erreicht hat, lässt sich überhaupt nicht einsehen, welchen Einfluss das mehr oder weniger schnelle Verschwinden des Eindruckes ausüben kann, den die verschiedenen Farbentöne hinterlassen.

Aus dem Angeführten erhellt indessen immerhin so viel, dass die S. 100 beschriebene Weise zur Bestimmung der relativen Reinheit der Farbentöne als die am meisten befriedigende bezeichnet werden darf. Ich kann indessen nicht umhin, zu bemerken, dass für mein Auge und bei gewöhnlicher Betrachtung das rothe, orange und gelbe Pigment im Verhältniss zu dem sie aufwiegenden blaugrünen, blauen und ultramarinen Pigment matt erscheinen. Das Gelb, welches in Lichtstärke dem angenommenen Grau entspricht, zeigt sich überdies als ein ziemlich dunkles Gelb, wirkt aber doch auf schwarzem Grund als reines Gelb.

Aus den S. 101 mitgetheilten Zahlenwerthen lassen sich ausserdem noch Schlüsse in Bezug auf verschiedene andere Fragen ableiten.

Da wir zur Abschwächung der Farben weisse, graue und schwarze Scheiben angewendet haben, illustriren die erhaltenen Resultate den Einfluss, welchen die Mischung mit neutralem Licht von verschiedener Stärke auf die Wahrnehmung der verschiedenen Farbentöne ausübt. Wie durch Aubert **) und Andere constatirt worden, schwächt Weiss einen Farbenton mehr als Schwarz. Dasselbe ergiebt sich auch aus meinen Untersuchungen.

*) A. f. O. Bd. XXII, 1., S. 287.

**) L. c. S. 143.

Dividirt man die Ziffern, welche angeben, wie gross ein farbiger Sektor auf Weiss sein muss, damit der Farbenton sich auffassen lässt, mit den kleineren Zahlen, welche die Grösse des Sektors für dieselbe Farbe auf Schwarz ausdrücken, so wird man die hier folgenden Verhältnisse finden.

Töne		Rotationsscheibe frei betrachtet	durch Oeffnungen im schwarzen Schirm	Mittel
Eigenes Auge	roth	9,1	8,5	8,8
	grün	20,6	14	17,3
	blau	10	15,2	12,5
	gelb	6,5	13,7	10,1
Auge des Gehülfen	roth	10,8	11,8	11,3
	grün	15,6	17,3	16,4
	blau	7,8	17,7	12,7
	gelb	6,3	19,6	12,9

Wie man hieraus ersieht, haben wir sehr bedeutende Unterschiede und insonderheit beträchtlich grössere gefunden, als z. B. Chodin*), welcher einen 3—5 mal grösseren Sector bei Weiss als bei Schwarz erforderlich fand. Diese Differenz in den Resultaten dürfte indessen theils sich daher schreiben, dass das von mir angewendete Schwarz und Weiss von grösserer Reinheit gewesen ist, theils daher, dass meine Untersuchungen mit schwarzen Scheiben in einer vorgerückteren Jahreszeit und darum auch bei einer grösseren Lichtintensität vorgenommen sind, als die mit den weissen. Jene wurden nämlich in der Zeit zwischen dem 19. April und 3. Mai, diese vom 20. März bis 18. April ausgeführt, und obwohl wir unsere Beobachtungen immer bei klarem Himmel und

*) Arch. f. Ophth. Bd. XXIII. 3. S. 196. Chodin hat indessen nur eine einfache Beobachtung für jeden Farbenton angestellt.

um dieselbe Tageszeit vorgenommen haben, so muss die Lichtstärke in dieser Zeit voraussichtlich bedeutend zugenommen haben. Da letztere bei allen Versuchen, durch welche man die untere Grenze der Farbenwahrnehmung zu ermitteln strebt, eine sehr wesentliche Rolle spielt, müsste man, um ein zuverlässiges Resultat in Bezug auf diese Frage zu erlangen, entweder bei constanter Beleuchtung untersuchen oder für jede Beobachtungszeit die Lichtstärke bestimmen und darnach das Resultat berechnen. Aus unseren Beobachtungen ergibt sich gleichzeitig, dass eine Beimischung von Grau den Farbenton mehr schwächt als eine Beimischung von Schwarz, aber um die Abhandlung nicht mit Zahlen zu überladen, will ich die Verhältnisszahlen hier nicht auführen.

Aus den über die Reinheit der verschiedenen Farbtöne angestellten Untersuchungen ergibt sich ferner, dass die verschiedenen Farben in mehreren Beziehungen sich sehr verschieden verhalten; sie werden z. B. nicht alle in gleichem Verhältniss durch Mischung mit neutralem Licht von verschiedener Stärke abgeschwächt; einzelne verändern dadurch ihren Ton, nicht alle werden in gleicher Weise sichtbar, insofern einige sich direkt zu erkennen geben, andere nur durch das Hervortreten ihrer Complementärfarbe in dem farblosen Theil der Scheibe. Diese und einige damit in Verbindung stehende Phänomene seien hier noch einer näheren Betrachtung unterworfen.

Vergleicht man die so eben (S. 115) mitgetheilten Zahlenwerthe mit einander, so wird man ersehen, dass Roth der Ton ist, der bei der Mischung mit weissem Licht von allen am wenigsten geschwächt wird, während bei Grün die grösste Schwächung stattfindet. Da wir immer in ein und derselben Sitzung alle 8 Farbtöne durch-

genommen haben und diese somit unter gleicher Beleuchtung untersucht sind, können die Variationen in der Lichtstärke, die daher rühren, dass die Beobachtungen einen ziemlich langen Zeitraum umfassen, hier nicht in Betracht kommen. Diese ungleiche Abschwächung der verschiedenen Farbentöne durch weisses Licht — die kaum auf eine individuelle Zufälligkeit sich zurückführen lässt, da das Resultat für beide Beobachter ziemlich übereinstimmend ist — muss, wenn sie nicht mit berücksichtigt wird, die Zuverlässigkeit jeder Methode vermindern, die darauf beruht, unsere Empfindlichkeit für verschiedene Farbentöne dadurch festzusetzen, dass wir dieselben mit weissem Licht in gemessener Menge versetzen.

Die Veränderungen im Farbenton, welche bei Anwendung weisser Scheiben bemerkt worden sind, können grösstentheils ungezwungen eben aus jener stärkeren Abschwächung des grünen Lichtes erklärt werden, denn in Folge einer solchen Abschwächung muss Blaugrün, ehe es in seinem richtigen Ton wahrgenommen wird, sich erst als Blau, und Grasgrün (dem das angewendete Grün ziemlich genau entspricht) sich erst als Gelb zeigen. Ersteres war stets der Fall, letzteres sehr häufig, besonders für das Auge meines Gehülfen. Es bleibt nur noch das Violett übrig, das eigenthümlich genug mehrmals bei starker Versetzung mit Weiss sich als Gelb zeigte, was, wie wir später sehen werden, auch dann der Fall ist, wenn dasselbe unter einem sehr kleinen Schwinkel betrachtet wird. In Bezug auf das blaue Pigment will ich speciell hervorheben, dass dasselbe sich beinahe immer zuerst in seinem richtigen Ton zeigte und dass das benutzte Ultramarin nur selten als Violett auftrat. Ich glaube deshalb annehmen zu dürfen, dass, wenn andere Ver-

fasser, wie Aubert*) und Chodin**), gefunden haben, dass Blau durch Vermischung mit Weiss Violett ergiebt, dies seinen Grund nur in der Anwendung von einem solchen Pigment haben kann, das stark mit Roth versetzt war, wie dies bei den meisten blauen Pigmenten, die im Handel vorkommen, gewöhnlich der Fall ist. Wird ein solches physiologisch minder reines Blau mit Weiss gemischt, so müssen die rothen Strahlen, als diejenigen, welche weniger als die blauen und noch weniger als die grünen abgeschwächt werden, zum Vorschein kommen. Diese Erklärung scheint mir jedenfalls näherliegend, als die von Aubert***) aufgestellte, nach welcher dieses Verhalten darauf beruhen sollte, dass wir eine verkehrte Vorstellung von Hellblau haben.

Ein grosser Unterschied zwischen den verschiedenen Farbentönen ergab sich auch bei diesen Versuchen betreffs der Art, wie dieselben sich bemerkbar machten. Während Grün, und zumal Blaugrün, in den meisten Fällen sich dadurch zu erkennen gab, dass ihre Complementärfarbe im farblosen Theil der Scheibe auftrat, war dies nur sehr selten bei den complementären Roth und Rosa der Fall. Blau dagegen kündigte sich häufiger zuerst in der besprochenen Weise an. Auch hierin findet zwischen beiden Beobachtern eine ziemlich grosse Uebereinstimmung statt. Bei Aubert findet man Blau als die Farbe angegeben, welche sich am häufigsten durch Contrast bemerkbar macht. Auf der Palette findet genau das Umgekehrte statt. Nehme ich eine kleine

*) l. c. S. 138.

**) Arch. f. Ophth. XXIII, 3, S. 194.

***) l. c. S. 138. Dass Himmelblau bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung mehr grünlich- als röthlich-blau sein sollte, kann ich durchaus nicht finden. Mir erscheint es eher umgekehrt, und dies zeigt sich auch, wenn man einen ähnlichen Ton durch Pigment herstellt. Hier muss man bedeutende Quantitäten Roth neben dem zur Dämpfung des grellen Blauen nothwendigen Gelb anwenden.

Portion rein graues Pigment und applicire dasselbe auf ein schwach rosafarbiges (letztere Farbe kann so schwach sein, dass sie, wenn das Pigment nicht gegen rein Grau contrastirt, gar nicht ins Röthliche zu schimmern scheint), so tritt die grüne Farbe mit einer so auffallenden Deutlichkeit hervor, dass ich oft glaubte, einen Fehlgriff begangen und etwas Grün mit auf das Messer bekommen zu haben. Wird dagegen umgekehrt reines Grau auf ein grünes Pigment, von nicht grösserer Intensität als das vorhin benutzte Rosa, applicirt, so erhält man keinen Eindruck von Rosa.

Dieser Umstand, dass Grün und Blau häufiger als Gelb und Roth sich in complementärer Hinsicht geltend machen, könnte darauf hindeuten, dass die absolute Empfindlichkeit für letztere Farben im Centrum am grössten sei. Meine Resultate würden dann mit dem übereinstimmen, was Aubert*) und Chodin**) und andere gefunden haben, sowie dieselben auch an das sich anschliessen würden, was die Meisten, die in neuerer Zeit sich eingehender mit dem Studium der Farbewahrnehmung in pathologischen Zuständen beschäftigt haben, in Bezug auf die Frage ermittelt haben, welche von den beiden Farben, Roth oder Grün, zuerst unsichtbar wird***). In der Literatur findet man jedoch in diesen Punkten noch die verschiedensten Ansichten verfochten. Lamansky meint, aus seinen Untersuchungen ableiten zu können, dass das normale Auge die grösste Empfindlichkeit für Grün und Gelb besitze†), Raehl-

*) l. c. S. 112.

**) A. f. O. XXIII. 3, S. 207.

***) So Galezowski in *Annales d'ocul.* Tome LXV. Mai und Juni, S. 232. Schön, die Lehre vom Gesichtsfeld, S. 23. Treitel, über den Werth der Gesichtsfeldmessung mit Pigmenten für die Auffassung des nervösen Sehapparats. A. f. O. Bd. XXV. 2.

†) A. f. O. XVII. 1, S. 131.

mann ebenso.*) Mandelstamm glaubt, dass das Auge geringere Empfindlichkeit für Roth und die grösste Empfindlichkeit für Gelb besitze**), Dobrowolski dagegen nimmt an, dass letzteres für Blau zu gelten habe***). Einer nicht geringeren Uneinigkeit begegnen wir in der Frage, welche Farben bei pathologischen Zuständen zuerst unsichtbar werden. Da das Resultat, für das normale Auge wenigstens, dasselbe bleibt, ob man Spectralfarben oder Pigmente anwendet, die letzteren aber für die Anwendung ungleich bequemer sind, so wird die Frage, nach meinem Dafürhalten, am leichtesten dadurch entschieden werden, dass man Pigmente herstellt, welche unter einer gewissen Beleuchtung und unter einem gegebenen Schwinkel äquivalente Farbtöne liefern. Für das Pigment, das bei abnehmendem Gesichtswinkel am längsten sichtbar bleibt, muss man dem Centrum die grösste Empfindlichkeit zuschreiben.

Da wir nun auf der Rotations Scheibe die untere Grenze der Wahrnehmbarkeit verschiedener Farbtöne in doppelter Weise bestimmt haben: einmal, indem wir das Object frei betrachteten, und dann, indem wir dasselbe durch ziemlich kleine Oeffnungen in einem schwarzen Schirm beobachteten — so haben wir in den auf diese Weise erhaltenen Werthen einen Ausdruck für den Einfluss des Schwinkels erlangt. Die so berechneten Werthe zeigen aber eine Abweichung untereinander, je nach der Anwendung von Weiss, Grau oder Schwarz zur Versetzung der Farben. Ich sehe davon ab, hier die gefundenen Resultate mitzutheilen, da diese Unter-

*) A. f. O. XX. 1, S. 242. „Dass die grössere Empfindlichkeit des Auges besteht für die Wellen mittlerer Brechbarkeit, für die Mitte des Spectrums, und dass die Empfindlichkeit abnimmt gegen die Seite und am geringsten ist gegen die Enden.“

**) A. f. O. XIII. 2, S. 406.

***) A. f. O. XVIII. 1, S. 87 und Pfüger's Arch. Bd. 12 S. 449.

suchungen nicht für den eben bezeichneten Zweck an-
gestellt wurden und ich, obwohl wir im Ganzen immer
für Beibehaltung derselben Stellung sorgten, doch nicht
dafür eintreten kann, dass der Abstand zwischen der
Scheibe und dem Auge des Beobachters stets genau
der gleiche gewesen ist. Ich will nur bemerken, dass
man, wenn man das Mittel aus sämtlichen Beobachtungen
zieht, in dieser Weise für die 4 Hauptfarben ein ziemlich
genau übereinstimmendes Ergebniss erhält. Dividirt
man nämlich mit den kleineren, durch Betrachtung der
Scheibe ohne Schirm erhaltenen Zahlen in die grösseren,
bei Benutzung des Schirmes gefundenen, so bekommt
man folgende Werthe:

Eigenes Auge:	Auge des Gehülfen:
Roth 3,1, Grün 2,0,	Roth 2,0, Grün 2,5,
Gelb 2,9, Blau 2,0.	Gelb 2,9, Blau 2,1.

Hieraus wage ich indessen keine Schlüsse in Bezug
auf den Einfluss des Schwinkels auf die Erregbarkeit für
die verschiedenen Farbentöne zu ziehen, weil einmal, wie
oben bemerkt, den Abständen nicht genügende Aufmerk-
samkeit gewidmet ist, dann aber auch, weil von uns
immer ungefärbtes Licht (von derselben Art, wie das zur
Versetzung gebrauchte) als Contrast benutzt wurde. Es
ist aber einleuchtend, dass man bei Untersuchungen der
hier besprochenen Art auch die Frage im Auge behalten
muss, welches Resultat sich ergibt, wenn jeder Farben-
ton für sich allein dem Auge dargeboten wird, ohne
weiteren Contrast als einen so weit als möglich neutralen
und also am liebsten schwarzen Grund. Auch eignet
sich die Rotationsscheibe nicht zu diesen Untersuchungen
wegen des oben besprochenen grossen Einflusses, den eine
veränderliche Beleuchtung auf das mehr oder minder
deutliche Hervortreten des Farbentones ausübt. Mit
durch Pigmente hergestellten Farbentönen lässt ausser-

dem eine derartige Untersuchung sich viel leichter ausführen und darum habe ich dazu dieselben Pigmente gewählt, die zur Herstellung der chromatoptometrischen Tafeln benutzt wurden.

Ich habe mit denselben eine grosse Anzahl von Messungen sowohl meines eigenen Auges, als des meines Gehülfen vorgenommen, werde aber hier nur die durch Untersuchung meines Auges gefundenen Zahlen anführen. Mittel aus mehreren Beobachtungen an verschiedenen Personen dürften nämlich kaum einen ganz zuverlässigen Ausdruck für die thatsächlichen Verhältnisse ergeben, denn es handelt sich hier vor allem darum, die Untersuchung unter so gleichartigen Umständen als nur möglich auszuführen. Vornehmlich ist es von Wichtigkeit, bei möglichst gleichbleibender Beleuchtung zu untersuchen. Ueber das Auge meines Gehülfen habe ich zudem keine vollständige Reihe gleichzeitig ausgeführter Beobachtungen. Es ist übrigens keine ganz leichte Sache, in dieser Weise über 100 Bestimmungen in so grossen Abständen vorzunehmen, als hier zur Anwendung kommen müssen, und für das Auge ist es obendrein eine sehr ermüdende Aufgabe, die nur auf die Weise ausgeführt werden kann, dass man sehr kurze Zeit fixirt und in der Zwischenzeit die Augen schliesst oder den Blick unstät umherschweifen lässt. Die Untersuchungen sind im Freien angestellt und, was die hier angeführten anlangt, bei bewölktem Himmel, der möglicher Weise die Wahrnehmung der rothen Farbtöne begünstigt haben dürfte. Wie die Ueberschrift der Zahlenreihen ausweist, ist die Untersuchung durchgeführt: mit den Farbtönen Roth, Blau, Rosa, Grün und Gelb; mit Quadraten von 4, 2 und 1 cm linearer Ausdehnung und mit 3 Nuancen jeden Farbentones, nämlich mit f_{320} , f_{160} und f_{80} . Für jeden dieser Fälle haben wir die Erregbarkeit untersucht sowohl wenn das Object dem Auge allein, ohne anderen

Contrast als den dunklen (schwarzen) Grund dargeboten wird, als auch wenn dasselbe gegen ein graues Objekt von derselben Grösse und Helligkeit contrastirt, wie endlich noch für 1 qcm, wenn dasselbe wie auf den Farbentafeln mit mehreren anderen farbigen Objekten zusammengestellt ist.

Um zu verhindern, dass die beim Aufstellen der Tafeln unvermeidlichen Fehler sich mit den ebenso unvermeidlichen Beobachtungsfehlern compliciren, habe ich in der ersten Tabelle die Zahlen zusammengestellt, die gefunden wurden, wenn man Quadrate von ungleicher Grösse benutzte, die aber aus einer Fläche ausgeschnitten waren. Aus den gefundenen Werthen ist zu ersehen, dass F, falls man nicht allzu grosse Abstände anwendet, proportional mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt. Da man nun aber in Bezug auf F auch annehmen muss, dass zum Hervorrufen einer bestimmten Empfindung einfach nur eine bestimmte Grösse des Reizes erforderlich ist, gleichgültig, ob letzterer stark auf einige wenige Retinalelemente oder schwach auf viele einwirkt — oder, mit anderen Worten, da F im einfachen Verhältniss zur Intensität, aber im quadratischen zur Extensität der erregten Fläche steht*), — so müssen — wenn anders die Pigmente richtig und in Uebereinstimmung mit den auf der Rotationsscheibe sich ergebenden Nuancen hergestellt sind, so dass also z. B. f_{320} wirklich 320° Farbe und 40° Grau entspricht — die Zahlen in der zweiten Reihe für die reinere Nuance denen in der ersten Reihe für die nächstschwächere Nuance entsprechen. Dies finden wir aber auch in der That bestätigt. Um dies besser zu illustriren, habe ich in der zweiten Tabelle alle

*) Dieses Gesetz für die Farbenwahrnehmung kann jedoch nur mit den Modificationen gelten, die aus der ungleichen Erregbarkeit für Farben im Centrum im Vergleich mit der Peripherie sich ergeben müssen.

eben besprochenen Zahlen neben einander gestellt, wie man hier auch alle die Zahlen zusammengestellt findet, die gleich sein müssen, wenn das kurz zuvor in Bezug auf F ausgesprochene Gesetz gültig ist, und, wie man sieht, stehen die Resultate hiermit im Einklang, mit Ausnahme vereinzelter Abweichungen, die man Beobachtungsfehlern zuschreiben darf.

Tabelle I.

Roth.

	f_{320}			f_{160}			f_{80}		
	4qcm	2	1	4	2	1	4	2	1
Contrastirt gegen									
schwarz. Grund	70 ?	46	29	46	32	15	28	10	9,5
zusammengestellt									
m.grauem Quadr.	70 ?	40	29	47	32	18	29	17	9
auf den Tafeln			28			11			6
	90 ?	43	28,5	46,5	32	15	28,5	13,5	8

Blau.

Contrastirt gegen									
schwarz. Grund	70 ?	46	23	42	24	14	26	13	9,5
zusammengestellt									
m.grauem Quadr.	70 ?	39	24	36	29	13	27	17	6
auf den Tafeln			28			11			6
	85 ?	42	25	39	26	12,7	26,5	15	7

Gelb.

Contrastirt gegen									
schwarz. Grund	53	38	15	27	16	5	14	10	4
zusammengestellt									
m.grauem Quadr.	63	27	14	23	13	6	24	8	4,5
auf den Tafeln			12			7			4,5
	58	32	13,6	25	14,5	6	19	9	4,2

Grün.

	f_{320}			f_{160}			f_{80}		
	4qcm	2	1	4	2	1	4	2	1
Contrastirt gegen									
schwarz. Grund	33	28	15	29	12	6	11	3	2,5

	f_{320}				f_{160}				f_{80}		
	4 qcm	2	1	4	2	1	4	2	1		
zusammengestellt											
m. grauem Quadr.	23	12	14	21	12	6	11	5	4		
auf den Tafeln			9			4,5			4		
	28	20	12,6	25	12	5,5	11	4	3,5		

Rosa.

Contrastirt gegen											
schwarz. Grund	32	13	7	16	10	3	8	3	4		
zusammengestellt											
m. grauem Quadr.	20	12	10	17	7	3	7	5	2		
auf den Tafeln			5			3,5			3		
	26	12,5	7,3	16,5	8,5	3,1	7,5	4	3		

Tabelle II.

	Roth.						Blau.			
Gegen schwarzen										
Grund	70?	46	28				70?	42	26	
		46	32	10			46	24	13	
			29	15	9,5			23	14	9,5
zusammengestellt										
m. grauem Quadr.	70?	47	29				70?	36	27	
		40	32	17			39	29	17	
			29	18	9			24	13	6
auf den Tafeln			28	11	6			28	11	6
	90?	45	29,4	14	8	85?	41	26	13,5	7

	Rosa.						Grün.			
Contrastirt gegen										
schwarz. Grund	32	16	8				33	29	11	
		13	10	3			28	22	12	3
			7	3	4			15	6	2,5
m. grauem Quadr.										
zusammengestellt	20	17	7				23	21	11	
		12	7	5			12	12	5	
			10	3	2			14	6	4
auf den Tafeln			5	3,5	3			9	4,5	4
	26	14,5	7,7	3,5	3,7	28	22,5	12	5	4

Gelb.

Contrastirt gegen schwarzen Grund	53	27	14		
		38	16	10	
			15	5	4
mit grauem Quadrat zusammengestellt	63	23	24		
		27	13	8	
			14	6	4,5
auf den Tafeln			12	7	4,5
	58	26	14	7	4,5

Aus diesen Zahlen erhellt, dass unter allen Farben Roth unter dem kleinsten Gesichtswinkel gesehen wird, demnächst Blau. Zwischen diesen beiden Farben ist betreffs der Wahrnehmbarkeit nur ein geringer Unterschied, dagegen erscheint in der Entfernung die letztere bedeutend dunkler, die erstere bedeutend heller als Grau. Da mehr als 70 m Abstand mir nicht zur Verfügung standen und sowohl Roth als Blau von 4 qcm Grösse und f_{320} Intensität in diesem Abstand gut gesehen wurden, konnte das gegenseitige Verhältniss zwischen diesen Farbentönen nicht genauer bestimmt werden. Nach Roth und Blau kommt Gelb, für welches die Empfindlichkeit des Centrums ungefähr $\frac{1}{3}$ geringer zu sein scheint, als für jene. Für Grün und seine Complementärfarbe Rosa finden wir einen mehr als doppelt so grossen Sehwinkel erforderlich, wenn farbige Flächen von derselben Ausdehnung, die unter gewissen Verhältnissen Farbentöne von gleicher Reinheit, wie das angewendete Roth und Blau, geben, in ihrem rechten Ton aufgefasst werden sollen. Hier kommt indessen auch die höchst räthselhafte Verwandlung dieser Farbentöne in Betracht. Lange ehe dieselben in ihrem richtigen Ton sich wahrnehmen lassen, werden sie schon farbig gesehen, aber in einem falschen Ton, indem Grün Blau wird, und Rosa, selbst

wenn es in das Violette spielt, als Gelb sich zeigt.*) Setzt man für die Farbentöne die Grenze da, wo sie zuerst als farbig gesehen werden, so wird dieselbe der Grenze für Gelb viel näher fallen, ja vielleicht zwischen die Grenzen für Gelb und für Blau.

Ich will hier bemerken, dass das von mir angewendete Grün für Manche bei einem grösseren Gesichtswinkel und starker Mischung mit Grau, in das Gelbliche zu spielen scheint. Darum wird dasselbe bei einem kleinen Gesichtswinkel als ein ziemlich schwaches Blau wahrgenommen. Ein Grün, wie das der Stilling'schen Leseproben wird im Abstand als ein ungleich stärkeres Blau aufgefasst. Bei Spektraluntersuchung erwies sich übrigens mein Grün als das reinste aller von mir angewendeter Pigmente.

Es ist eine wohlbekannte Thatsache, dass es, wo es sich um Bestimmung sehr schwacher Körperfarben handelt, eine bedeutende Hilfe gewährt, wenn man eine möglichst neutrale Fläche, am liebsten von derselben Helligkeit, zur Vergleichung zur Hand hat. Auch bei der Betrachtung sehr schwacher Farbentöne auf der Umdrehungsscheibe zeigt eine solche Fläche sich sehr nützlich, denn, wie schon erwähnt, werden Rosa und Blau mit ihrer Hülfe schon lange zuvor in ihrem richtigen Ton erkannt, als sonst der Fall gewesen wäre, indem ihre Complementärfarben auf dem farblosen Theil der Scheibe inducirt werden. Ich hatte deshalb erwartet, dass bei der Betrachtung von Farben unter einem kleinen Schwinkel etwas ähnliches eintreten werde, aber darin sah ich mich getäuscht. Wie man aus den Tabellen ersehen kann, ist nämlich eher gerade das Entgegengesetzte der Fall, es scheint nämlich in der That, als ob die Farben, welche

*) Meines Wissens hat Aubert zuerst auf diese Erscheinung aufmerksam gemacht l. c. S. 114.

unter einem kleinen Schwinkel in einem falschen Ton aufgefasst werden, die dem falschen Tone complementäre Farbe in dem zum Contrast aufgestellten Grau induciren, wodurch der Beobachter noch länger in seiner Illusion festgehalten wird. So wird das gegen Grün contrastirende Grau deutlich gelb, so lange das Grün als Blau aufgefasst wird, und das gegen Rosa contrastirende Grau bläulich, so lange Rosa als Gelb erscheint.

Auch da, wo ein Farbenton mit mehreren andern zusammengestellt wird, wird derselbe unter einem kleinen Schwinkel nicht leichter, sondern eher minder leicht wahrgenommen, und doch trägt eine solche Zusammenstellung schwacher Farbensnancen unter grösseren Schwinkeln unzweifelhaft viel zu einer sichereren Beurtheilung der einzelnen Töne bei, indem bei wechselnder Fixation sowohl der simultane als auch der successive Contrast der Reihe nach die Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Farbtöne zu vermehren scheinen. Darum wird F meiner Meinung nach am sichersten geprüft, wenn man dem Auge mehrere Farbtöne gleichzeitig und unter einem nicht allzu kleinen Schwinkel darbietet. Bei Betrachtung von nur einer, schwach gefärbten Fläche wird das Resultat mehr von psychischen Momenten abhängig werden. Der, welcher an die Beschäftigung mit Farben gewöhnt ist und in Folge davon die ganze Reihe der hier möglichen Schlüsse instinctiv zur Hand hat, wird bei einer solchen Probe einen bedeutenden Vorsprung vor dem minder Erfahrenen haben. Aber dieser Vorthail verschwindet zum grossen Theil, wenn die objektiven Bedingungen für eine Vergleichung hergestellt werden. Aus einer einzelnen Probe, bei welcher ein schwach gefärbtes Objekt gegen schwarzen Grund contrastirt, den Schluss ziehen zu wollen, dass das geübtere Auge sich im Besitz einer feineren Empfindlichkeit für die Farben befinde, wäre ebenso übereilt, als wenn man

schliessen wollte, dass ein Auge für Wahrnehmung der Formen besser ausgerüstet sei, weil dasselbe im Stande war, einen Fehler in der Ausführung einer Zeichnung zu entdecken, den das ungeübte Auge erst wahrnahm, als es darauf aufmerksam gemacht worden. Dass hier nur psychische Momente in Betracht kommen, zeigt sich am besten dadurch, dass derselbe Fehler, den der im Zeichnen Ungeübte zuerst nicht sah, ihm, wenn er einmal auf denselben aufmerksam gemacht ist, so in die Augen springen kann, dass er sich darüber wundern muss, denselben nicht früher entdeckt zu haben.*) In diesem Betracht ist es ein Vorthail, mehrere Uebergänge von stärkeren zu immer schwächeren Farbennuancen zu haben, denn dadurch erhält der weniger Geübte Anleitung zu einer richtigeren Wahrnehmung der schwächsten Nuancen, wenn sein Auge überhaupt dafür Empfindlichkeit hat.

Wird F bei sinkender Beleuchtung untersucht, so findet man gleichfalls, dass Roth und Blau in ihrem richtigen Ton länger wahrgenommen werden, als Gelb und Grün. Daneben sieht man, wie Gelb in Roth und Grün in Blau übergeht. Doch ist diese letzte Verwandlung nicht so hervortretend, wie bei abnehmendem Sehwinkel. Rosa dagegen wird jetzt nicht als Gelb wahrgenommen, sondern erscheint zuerst unter allen Farbentönen als farblos. Dies tritt jedenfalls ein, wenn, wie auf den chromatoptrometrischen Tafeln, mehrere Farbentöne zusammengestellt sind. Dabei werden mit dem Abnehmen der Beleuchtung Roth und Gelb stetig dunkler,

*) Unter dem Begriff Farbensinn versteht man im täglichen Leben mehr den Sinn für die Harmonie der Farben, als eine grosse Empfindlichkeit für Farben. Wenn auch letztere vorhanden, kann doch der erstere gänzlich mangeln, in Analogie damit, dass ein Individuum ein sehr feines Vermögen besitzen kann, zwei nahe liegende Töne von einander zu unterscheiden, während dasselbe des musikalischen Sinnes doch gänzlich entbehrt.

Roth zum Schluss so dunkel, dass es dunkler scheint als der schwarze Grund. Blau, Blaugrün und Violet zeigen sich dagegen sogar heller, als das bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung gleich helle Grau. Somit verhält sich unsere Farbenerregbarkeit in Bezug auf die verschiedenen Farben bei abnehmender Beleuchtung in derselben Weise wie bei abnehmendem Sehwinkel, ausgenommen darin, dass Rosa bei abnehmender Beleuchtung nicht vor seinem Verschwinden als Gelb gesehen wird; in Bezug auf unsere Wahrnehmung der Helligkeit der verschiedenen Farbtöne ist dagegen eine Umkehrung der Verhältnisse eingetreten, insofern gerade die Töne, welche bei abnehmender Beleuchtung heller erscheinen, bei abnehmendem Sehwinkel sich dunkler zeigen, und umgekehrt.

Durch Vergleich der S. 78 angegebenen Zahlen mit den für den Farbensinn sich ergebenden findet man übrigens, dass letzterer bei abnehmender Beleuchtung für Roth und Blau vielleicht in einem etwas langsameren, für Grün, Gelb und Rosa dagegen in einem rascheren Verhältniss abnimmt, als dies beim Lichtsinn und Formsinn der Fall.

Bei 1: 6	L $\frac{10}{13}$	S $\frac{10}{15}$	F $\frac{1}{2}$ für Roth $\frac{40}{40}$
1: 8,5	L $\frac{10}{18}$	S $\frac{10}{22}$	F $\frac{1}{2}$ „ Rosa $\frac{1}{3}$
1: 22,5	L $\frac{10}{32}$	S $\frac{1}{4}$	F Roth $\frac{1}{2}$, Blau $\frac{1}{3}$, sonst $\frac{1}{5}$
1: 35	L $\frac{10}{49}$	S $\frac{1}{6}$	F Roth u. Blau $\frac{1}{4}$, sonst $\frac{1}{7}$
1: 80	L $\frac{10}{80}$	S $\frac{10}{96}$	F Roth u. Blau $\frac{1}{6}$, sonst $\frac{1}{9}$.

Da das Abendlicht oft (bei klarem Himmel) in das Grünliche spielt, ist es nicht unmöglich, dass ich für Roth und Grün zu niedrige Werthe erhalten habe, denn ein grünliches Licht muss diese Farbtöne weniger wahrnehmbar machen, in derselben Weise wie das gelbe

Abendlicht die Wirkung hat, dass sowohl Gelb als Blau an Deutlichkeit verlieren, indem ersteres sich schwieriger von Weiss unterscheiden lässt und letzteres schwächer und dunkler wird. Das Verhältniss bleibt indessen im Wesentlichen dasselbe bei der Untersuchung im weissen Licht, so ist z. B. bei klarem Himmel und Vollmond in einem Meter Abstand nur Roth und Blau sichtbar.*) Bei pathologischen Zuständen, die eine Herabsetzung des Lichtsinnes bedingen, finden wir dasselbe Verhalten wie für das normale Auge bei abnehmender Lichtintensität, da auch hier Roth und Blau die Farbtöne sind, welche am längsten wahrnehmbar bleiben, während Rosa sich bald als Grau zeigt und Grün zu Blau und tiefes Gelb zu Roth wird.**)

Aus dem Vorhergehenden erhellt, dass eine Skala, in welcher alle Farbtöne bei einigermaßen gleicher Beleuchtung gleiche Reinheit und Helligkeit haben sollen, sich nur für einen bestimmten Abstand herstellen lässt. Die von mir dargestellte Skala wurde mit Hilfe der Rotationsscheibe ausgeführt, indem diese in 30 cm Abstand betrachtet wurde. 1 m wurde erfahrungsmässig als Normalabstand für die schwächsten Farbennuancen gewählt, aber schon in diesem Abstand zeigt sich, wie das Roth vorzugsweise sich geltend macht. Diese Farbe wird von den Meisten mit der grössten Sicherheit erkannt. Möglicherweise beruht dies zum Theil auf einem Fehler in der Ausführung, denn ein solcher kann sich leicht einschleichen, wenn es sich um die Darstellung von Nuancen handelt, die so schwach sind, dass sie der Untergrenze unseres Wahrnehmungsvermögens ziemlich nahe liegen. Sonst haben sich übrigens die chroma-

*) Dies Resultat stimmt nicht mit demjenigen überein, das Aubert gefunden hat (l. c. S. 131). Nach ihm müsste für Blau bei einfachem Abnehmen der Lichtintensität ein quadratisches Zunehmen des Seh winkels ausreichen, um dasselbe wahrnehmbar zu machen; für Roth dagegen wäre eine Zunahme in weit stärkerem Verhältniss, als das quadratische, erforderlich.

**) Ich darf mich indessen nicht bestimmt darüber aussprechen, ob nicht F. unter solchen Zuständen auch abnimmt und vielleicht verhältnissmässig noch mehr als L.

topometrischen Tafeln recht zweckdienlich gezeigt, sowohl zur Diagnose von Farbenblindheit, als zur Bestimmung davon, in welchem Grad eine Schwächung des Farbensinnes bei pathologischen Zuständen eingetreten. Für den, welcher sowohl die angeborene als die erworbene Farbenblindheit studiren will, ist es natürlich von selbst geboten, verschiedene Methoden anzuwenden, und ich habe demgemäss auch immer bei jedem Falle mehrere Untersuchungsweisen benutzt, wie die von Donders (mit durchfallendem Licht), von Holmgren, mit Daae's und Stilling's Farbentabellen, mit dem simultanen Contrast, mit der Farbengleichung auf der Masson'schen Scheibe, mit den durch Interferenz entstehenden complementären Farben (das Arago'sche Instrument). Ebenso wurde auch nach dem Charakter der Nachbilder gefragt. Ein Spektroskop stand leider nicht zu meiner Verfügung, so dass ich die von Dr. Cohn und Dr. Magnus angewendete wollspektroskopische Methode nicht benutzen konnte. Betreffs der bisherigen Resultate meiner Untersuchungen über angeborene Farbenblindheit will ich nur bemerken, dass es mir nicht gelungen ist, einen so durchgreifenden Unterschied zwischen der sogenannten Rothblindheit und Grünblindheit zu finden, dass ich dieselben als zwei wesentlich verschiedene Krankheitsklassen aufzustellen wagte. Mittelst der durch Interferenz erzeugten Complementärfarben habe ich freilich wohl in Uebereinstimmung mit allen Anderen gefunden, dass einige Patienten Roth-Blaugrün, andere Grün-Rosa für Grau erklären, aber ebensowohl habe ich es erlebt, dass einige die zwischen diesen Tönen liegenden complementären Farbpaaire als Grau ansahen. Ich habe speciell meine Aufmerksamkeit darauf gerichtet gehabt, ob die sogenannten Rothblinden das, was wir Roth nennen, dunkler und die Grünblinden das Grün dunkler, als die entsprechende Complementärfarbe, wahrnehmen, aber weder bei Gebrauch des Arago'schen Instruments noch bei Anwendung des simultanen Contrasts oder der Umdrehungsscheibe habe ich dies als eine in allen Fällen eintretende Erscheinung nachweisen können und kann deshalb auch in diesem Umstand kein zuverlässiges Diagnostikum zwischen den beiden Arten von Farbenblindheit anerkennen. Hiermit stehe ich freilich in bestimmtem Widerspruch mit dem, was mehrere Andere, wie Holmgren, Donders u. s. w., gefunden haben wollen, muss aber doch an der Thatsächlichkeit meiner Erfahrungen festhalten. Ich kann nur hervorheben, dass man in

diesem Stück sich sehr in Acht nehmen muss, nicht zu rasche Schlüsse aus den Aussagen des Betreffenden zu ziehen, und letztere nicht nach bloß einmaliger Untersuchung oder Anwendung von nur einer Untersuchungsmethode acceptiren darf. Bei Wiederholung der Untersuchung erhält man oft widersprechende Antworten, selbst bei Anwendung desselben Apparats. Wo Pigmente benutzt wurden, kann dieses freilich seinen Grund in Variationen der Beleuchtung haben. Es ist nämlich einleuchtend, dass der Farbenblinde mit einer ganz anderen Sicherheit die Abweichungen wahrnehmen kann, welche ein Wechsel in der Quantität und Qualität der Beleuchtung hervorruft, als dies bei dem Normalsichtigen der Fall ist, der sich durch den dominirenden Eindruck beherrschen lässt, den die für ihn so schwer vergleichbaren Farbentöne hervorbringen. Darum möchte ich glauben, dass die sogenannten pseudoisochromen Proben nicht zuverlässig sein können. Auf der Rotationsscheibe spielt, ausser letztgenanntem Moment, der Reflex eine grosse Rolle. Auch für den Normalsichtigen kann sich auf dieser Roth-Blaugrün z. B. bald heller, bald dunkler zeigen, als das contrastirende Grau, je nach der Stellung des Beobachters zur Scheibe. Was die Untersuchung durch farbige Schatten angeht, so möchte ich die Aufmerksamkeit darauf hinlenken, dass die meisten Normalsichtigen sich dazu neigen, die ins Bläuliche spielenden Schatten für dunkler zu halten, als die in das Gelbliche oder Röthliche spielenden, und also bei rothem Glas den blaugrünen Schatten für dunkel erklären und bei grünem Glas den rosafarbigem.*). Dies beruht wahrscheinlich auf einem Beurtheilungsfehler, der darauf sich gründet, dass alle Halbschatten ins Bläuliche spielen. Ausserdem variirt auch hier das Verhalten nach der Stellung des Beobachters zur Lichtquelle. Bei der Besprechung der Farbenperception in der Peripherie der Retina komme ich auf diese Frage zurück.

Auch bei pathologischen Zuständen, wo man gleichfalls häufig einen Mangel an Erregbarkeit für eines der beiden Farbenpaare Roth-Blaugrün und Grün-Rosa vorfindet, habe ich ebenso wenig eine scharfe Grenze constatiren können, so

*) Cfr. Aubert, S. 184; ein blauer Sektor von bestimmter Grösse auf schwarzer Scheibe kann einen dunklen Ring auf dieser erzeugen.

dass immer entweder das eine oder das andere sich hätte nachweisen lassen, sowie ich auch nie einen derartigen Fall getroffen habe, wo eine totale Unerregbarkeit für Roth stattgefunden hätte, ohne gleichzeitig für Grün bestanden zu haben, und umgekehrt. Untersucht man in der gewöhnlichen Weise durch Pigmentflächen von nicht bedeutender Ausdehnung, so wird man freilich wohl finden, dass die Erregbarkeit für Grün häufiger zu mangeln scheint, als für Roth — und insofern stimme ich mit den Meisten überein — dies lässt sich aber einfach dadurch erklären, dass man in dieser Weise gewöhnlich mit einem Roth untersuchen wird, das ein grösseres Gewicht hat, als das angewendete Grün. Von den im Handel vorkommenden Pigmentfarben sind nämlich die hochrothen die intensivsten. Vergleicht man die 8 Pigmente, welche ich mit Hülfe von Oelfarben in grösstmöglicher Intensität hergestellt habe, mit den 8 Farbentönen von gleicher Helligkeit und Reinheit, die bei Herstellung der schwächeren Nuancen zu Grunde gelegt sind, so findet man folgende Verhältnisse:

Pigment grösster Intensität		D° von gl. Reinheit u. Helligkeit
Roth 120° + Grau 240°	=	r 360°
Orange 95° + Grau 150° + Schwarz 205°	=	or 360°
Gelb 90° + Schwarz 270°	=	gb 360°
Grün 300° + Grau 60°	=	gr 360°
Blau 310° + Grau 50°	=	bl 360°.

Nach diesen Zahlen würde man glauben, dass das gelbe Pigment das stärkste wäre; aber um dieses auf Gelb 360 zurückzuführen, musste Schwarz angewendet werden, welches das Gelb ca. 2mal weniger abschwächt als Grau, folglich wird, wenn man dies in Betracht zieht, Orange oder Roth das stärkste Pigment. Ein ähnliches Verhältniss findet man, wenn man mit Hülfe farbiger Gläser untersucht. Mit solchen haben Dor und Favre eine ca. 6mal grössere Erregbarkeit für rothe als für grüne Farben erhalten und Donders ungefähr dasselbe. Auch in der Natur findet man keine anderen Farbentöne von so grosser Intensität, als die hochrothen. Die Blüten einzelner Pelargonium-Arten wirken z. B. gradezu blendend auf mein Auge. — Bei Untersuchung von erworbener Farbenblindheit darf man auch niemals vergessen, dass diese Zustände sich gewöhnlich mit einer Abnahme des Lichtsinns compli-

ciren, so dass also die Verhältnisse denjenigen analog werden, welche sich für das normale Auge bei herabgesetzter Beleuchtung darbieten, und demzufolge können wir denn auch nichts anderes erwarten, als dass grüne Töne schwieriger wahrgenommen werden. Deshalb muss man bei diesen Zuständen noch vorsichtiger sein, nicht zu sichere Schlüsse aus den Aussagen des Patienten über die scheinbare Lichtstärke des Farbentones auf die Art der Farbenblindheit zu ziehen, und wenn z. B. Roth im Verhältniss zu Blaugrün für dunkel erklärt wird, darum den Betreffenden für rothblind zu halten.

Farbenempfindlichkeit in den peripherischen Retinatheilen.

Wenn schon in Beziehung auf die centrale Empfindlichkeit in mehreren Punkten Uneinigkeit herrscht, so ist dies in Beziehung auf die peripherische Empfindlichkeit in noch viel höherem Grade der Fall. Was hier feststeht, ist kaum mehr als der Satz, dass die Empfindlichkeit vom Centrum aus nach der Peripherie hin abnimmt. Wie sie abnimmt, und in welchem Verhältniss für die verschiedenen Farbentöne, sind Fragen, welche entweder gar nicht oder doch nur fragmentarisch gelöst sind. Man streitet sogar noch darüber, inwieweit den äussersten Theilen der Retina irgend welche Empfindlichkeit für Farben zukommt, oder ob dieselben als farbenblind anzusehen sind.

Schon 1857 sprach Aubert*) die Ueberzeugung aus, dass im normalen Auge keine eigentlich farbenblinde Zone existire, sondern dass alle Farben bei genügender Grösse des Objectes bis ganz hinaus an die äusserste Grenze der Retina gesehen würden. Spätere Verfasser, wie Schelske, Preyer, Adamük und Woinow, haben dagegen angenommen, dass am Aussenrande ein farbloses Feld vorhanden sei, ja einzelne, wie Krükow und Woinow, wollen sogar die

*) A. f. O. Bd. III. Abth. 2, S. 51.

Grenze desselben vollständig fix und von der Grösse der Objekte unabhängig gefunden haben. Erst in neuerer Zeit haben Donders, Snellen, Landolt, Klug und Schön die Aubert'sche Anschauung von der Empfindlichkeit aller Theile der Retina für Farbeindrücke wieder geltend gemacht. Es könnte freilich scheinen, als müsste es ein Leichtes sein, sich von dem wirklichen Thatbestand zu überzeugen. Bei Anwendung von Körperfarben braucht man nur in einem sonst dunklen Raum ein einigermassen intensiv gefärbtes Objekt zu beleuchten, um bei nicht zu kleinem Sehwinkel alle 4 Hauptfarben bis ganz hinaus an die Grenzen des Gesichtsfeldes wahrzunehmen. Da man indessen hierbei eine ziemlich intensive Beleuchtung anwenden muss, kann man, wie Dobrowolsky thut, mit Recht einwenden, dass die unter solchen Umständen stattfindende Farbenwahrnehmung dem in den brechenden Medien diffundirten Licht zuzuschreiben ist. Dieser Einwand gilt natürlich in noch höherem Grad, wenn man durchfallendes Licht oder Spektralfarben benutzt. So wahrscheinlich es nun aus verschiedenen Gründen auch sein mag, dass auch die äussersten Retinatheile Farbenempfindlichkeit besitzen, so dürfte diese Voraussetzung, schon des Umstandes wegen, dass es kaum möglich ist, den Durchgang farbiger Lichtstrahlen durch die Sclera zu verhindern, immerhin sehr schwer zu beweisen sein.

Von grossem Interesse ist die Frage, welchen Farbtönen das grösste Gesichtsfeld zukommt. Von den Hauptfarben ist der Reihe nach Grün, Gelb und Blau als die bevorzugte Farbe angesehen worden*), gegenwärtig dreht

*) Schelske, A. f. O. Bd. IX. Abth. 3, S. 46 nahm in Uebereinstimmung mit der Young-Helmholtz'schen Theorie an, dass es die durch Grün erregbaren Elemente seien, welche in der äussersten Zone allein noch vorkämen; er sah nämlich, dass Gelb und Blau peripherisch ins Grünliche übergingen. Ebenso behaupten Woinow (A. f. O. Bd. XVI. Abth. 1, S. 223), Adamük und

der Streit sich hauptsächlich darum, welche von den beiden Farben Roth und Grün am meisten peripherisch gesehen wird. Es ist einleuchtend, dass man nie über diese Punkte zur Einigkeit gelangen kann, ehe man mit Farbentönen untersucht, deren relative Helligkeit und Reinheit im Voraus bestimmt worden. Da, wie oben bemerkt, Körperfarben und Spektralfarben in allem Wesentlichen für das normale Auge gleiche Resultate ergeben, kann diese Frage am einfachsten gelöst werden, wenn man mit äquivalenten Pigmentfarben untersucht. Von denen, die überhaupt Pigmente benutzt, haben, bemerkenswerth genug, so weit mir bekannt, bloss Woinow und Holmgren versucht, die Reinheit und Helligkeit derselben zu bestimmen.

Aus Woinow's Abhandlung ist nicht zu ersehen, ob dies in einer hinreichend genauen Weise geschehen. Woinow hat dieselbe Methode benutzt, welche zur Bestimmung von L angewendet wurde, indem er nämlich gleich breite

Woinow (*ibid.* Bd. XVII. Abth. 1, S. 155); Holmgren (*Nordisk Med. Arch.* Bd. 6. Hft. 4, S. 16) und, wie es scheint, auch Klug (*A. f. O.* Bd. XXI. Abth. 1, S. 268), dass Grün als die Farbe anzunehmen sei, welche das grösste Gesichtsfeld besitze. Rählmann glaubte nach seinen Untersuchungen an die weiteste Ausbreitung des gelben Gesichtsfelds (*A. f. O.* Bd. XX. Abth. 1, S. 252). Woinow und Holmgren haben jedoch später ihre Anschauungen modificirt, der erstere dahin, dass in der Peripherie nur lichtwahrnehmende Elemente zu finden seien (*A. f. O.* Bd. XXI. Abth. 1, S. 226); der andere, insofern er, auf Grund seiner Beobachtungen über die Einschränkung des Gesichtsfeldes bei Blaublindheit, am Aussenrand bloss blau-percipirende Elemente meint annehmen zu dürfen (*Om Färgblindheten.* Upsala 1877. S. 44). Gegenwärtig halten die meisten dafür, dass Blau am weitesten nach aussen wahrgenommen wird. So: Schirmer (*A. f. O.* Bd. XIX. Abth. 2, S. 199); Schön (*Die Lehre vom Gesichtsfelde.* Berlin 1874. S. 9); Dobrowolsky (*Pfäuger's Arch.* Bd. 12, S. 457); Chodin (*A. f. O.* Bd. XXIII. Abth. 3, S. 22); B. Joy. Jeffries (*Colour Blindness.* Boston 1879. Introduction XVII); Th. Treitel (*A. f. O.* Bd. XXV. Abth. 2 und 3).

Striche in radialer Richtung auf einer rotirenden Scheibe auftrug. Es wird aber nichts darüber berichtet, inwiefern die Scheiben von einem Anderen aufgestellt wurden, so dass er selbst nicht gewusst, welchen Farbenton das zu untersuchende Pigment zu geben habe, ebenso wenig darüber, ob die angeführten Zahlen bloss das Ergebniss einer einzelnen Beobachtung sind oder das Mittel aus mehreren Beobachtungen darstellen. Dagegen kann man aus den Versuchen, welche er in gleicher Weise angestellt hat, um die relative Helligkeit der Pigmente zu bestimmen, den Schluss ziehen, dass letztere von ziemlich verschiedener Lichtstärke gewesen sind. Vornehmlich ist sein Blau bedeutend dunkler gewesen, als sein Roth und Grün, ein Umstand, der kaum ohne Einfluss auf das erhaltene Resultat bleiben konnte.

Prof. Holmgren hat in einer ganz anderen Weise sich äquivalente Farbentöne zu verschaffen gesucht, indem er nämlich aus einer grossen Auswahl von Proben die auswählte, welche einem Farbenblinden gleich erschienen. Dieses Verfahren giebt wohl eine gewisse Garantie dafür, dass man complementäre (und gleich helle) Farbentöne erhält, aber eine Sicherheit dafür, dass die Wahl auch gleich reine Töne trifft, kann dieselbe selbstverständlich nicht bieten.

Die Untersuchung des peripherischen F muss aus den schon bei den centralen Versuchen besprochenen Gründen unter möglichst constanter Beleuchtung und für sämtliche Farbenproben gleichzeitig vorgenommen werden.

Der peripherische Farbensinn ist in derselben Weise bestimmt, wie dies S. 83 für den Lichtsinn beschrieben. Ehe eine Untersuchung begann, haben wir mittelst der Rotations-scheibe geprüft, ob Roth-Blaugrün Grau von der Art ergab, wie das angenommene. Es wurden dieselben Pigmente angewendet, wie bei der centralen Bestimmung von F, indem die

8 verschiedenen Farbtöne von gleicher Reinheit auf eirkelrunden Scheiben aufgetragen wurden, welche letztere in eine 6 qcm grosse schwarze Platte sich einlegen und um einen in der Platte befestigten centralen Stift sich drehen liessen. Dadurch, dass man einen der 1 qcm grossen Pigmentflecke unter ein in der schwarzen Platte ausgeschnittenes viereckiges Loch vorschiebt, kann man schnell und ohne Wissen des Untersuchten die verschiedenen Farbtöne zur Beobachtung darbieten. Die Platte ist auf dem Perimeter immer von der Peripherie nach dem Centrum geführt und der Punkt notirt worden, wo der Farbenton richtig aufgefasst wurde. Für jeden Farbenton sind in jedem der 20 Meridiane 5 Beobachtungen vorgenommen.

Ich darf voraussetzen, dass ein Jeder, der sich etwas mit Perimeteruntersuchungen abgegeben hat, einräumen wird, dass man selbst bei Untersuchungen unter möglichst gleichbleibender Beleuchtung doch bei ein und demselben Individuum immer noch nicht unbedeutende Differenzen erhalten wird. Ich unterlasse daher die Angabe der Zahlenwerthe für die 8 Farbtöne und die 3 schwächeren Nuancen (nämlich f_{240} , f_{120} und f_{80}), mittelst welcher die Untersuchung durchgeführt wurde, und trage bloss für die 4 Hauptfarben die Grenzen auf den Fig. 4, 5, 6 und 7 aufgezeichneten Schematen ein. Ich betone indessen nachdrücklich, dass diese Grenzen, die somit nach dem Mittel von 5 Beobachtungen eingetragen sind, bloss insofern eine Bedeutung haben, als sie nachweisen, wie die Farbenempfindlichkeit für verschiedene Töne in der Peripherie im Vergleich mit derjenigen des Centrums bei demselben Individuum sich verhält, d. h. also, wie dieselbe vom Centrum nach der Peripherie hin abnimmt.

Nimmt man 1 qcm der auf den Tafeln aufgeführten schwächsten Nuancen der 4 Hauptfarben, also f_{40} , in 30 cm Abstand betrachtet und allein gegen schwarzen Grund contrastirt, als den für das normale Auge unter den gegebenen Umständen wahrnehmbaren

schwächsten Farbeindruck*) — so dass also hierdurch die Untergrenze für das centrale F angegeben wird — so sieht man bei Vergleichung der 4 Gesichtsfeldkarten, dass bereits 10° vom Centrum F auf seinen halben Werth herabgesunken ist. Innerhalb dieser Strecke geht die Abnahme fast gleichmässig für alle Farbentöne vor sich, weshalb auf Fig. 7 bloss die Grenzen für Roth und Blau ausgezogen sind. Für Blau ist freilich eine kleine Ausweichung nach aussen hin sichtbar; aber diese ist kaum ein adäquater Ausdruck für das thatsächliche Verhältniss, sondern ist darauf zurückzuführen, dass Blau so oft ausserhalb des blinden Flecks gesehen worden ist, dass die Mittelgrenze auch ausserhalb desselben fällt. Für die übrigen Farben kann man annehmen, dass ihre Grenzen, wenn der blinde Fleck nicht vorhanden gewesen wäre, mitten durch diesen gehen würden, wodurch selbstverständlich die Differenz zwischen ihnen und Blau geringer ausgefallen wäre. Diese kleine Ausbuchtung für Blau abgerechnet, zeigt sich zugleich, dass F in diesem Abstand vom Centrum für alle Meridiane gleich gross ist, weshalb die Grenze fast cirkelrund ausfällt. Untersucht man dagegen mit Farbentönen von 3 mal so grosser Reinheit, als fürs Centrum angewendet, so finden wir, dass für sämtliche Farbentöne die Empfindlichkeit am schnellsten nach oben hin und am langsamsten nach aussen hin abnimmt, woraus als Folge sich ergibt, dass die Felder eine ovale Gestalt annehmen, wobei der grösste Durchmesser schräg liegt und von innen und ein wenig nach oben nach aussen und ein wenig nach unten verläuft. Zugleich sieht man, dass in diesem Fall die

*) Dies ist wirklich der Fall für das Auge meines Gehülfen; die meisten können jedoch so schwache Farbentöne nicht wahrnehmen, ausgenommen, wenn dieselben gegen Grau von derselben Lichtintensität im Contrast stehen.

Empfindlichkeit für Blau langsamer abzunehmen beginnt, als bei den 3 anderen Farben.

Nimmt man Pigmente, welche Farbentöne von 6mal grösserer Reinheit ergeben, so bemerkt man, wie auch das gelbe Feld sich weiter nach aussen erstreckt, als das rothe und das grüne, und diese Erweiterung zu Gunsten von Blau und Gelb nimmt zu bei steigender Reinheit. Insoweit ist das Resultat in guter Uebereinstimmung mit dem, was die meisten Anderen gefunden haben. Für Grün und Roth weichen dagegen meine Resultate von denen der Uebrigen ab, die Alle für jede dieser beiden Farben ein Gesichtsfeld von ungleicher Ausdehnung gefunden haben. Nach meinen Untersuchungen fallen nämlich die Grenzen für Roth und Grün so genau zusammen, dass man nicht entscheiden kann, welcher von diesen beiden Farben das grössere Gesichtsfeld zukommt. — Es liegt auf der Hand, dass es schon an und für sich — und dann besonders in Bezug auf den Streit, der gegenwärtig darüber geführt wird, ob die Young-Helmholtz'sche oder Hering'sche Theorie diejenige ist, nach welcher man sich die verschiedenen Phänomene der Farbenwahrnehmung am besten zurechtlegen kann — von grösstem Interesse sein muss, darüber zur Klarheit zu kommen, ob in Wirklichkeit drei verschieden grosse Gesichtsfelder bestehen (eins für Roth, eins für Blau und eins für Grün) oder ob die Grenzen der Gegensatzfarben Blau-Gelb und Roth-Grün einander folgen.

Was nun zuerst das roth-grüne Gesichtsfeld betrifft, so kann ich natürlich nicht berechtigt sein, aus meinen Untersuchungen über ein einzelnes Auge den Schluss zu ziehen, dass diese zwei Farben mit einander gehen, denn auch bei der allergenauesten Durchführung der Untersuchung liesse sich der Einwand nicht beseitigen, dass das Resultat auf einer individuellen Eigenthümlichkeit

beruhe. Andere, so z. B. Holmgren, haben ja auch bald das rothe und bald das grüne Gesichtsfeld bei demselben Pigment am grössten gefunden. Es bedarf der Untersuchung einer grösseren Zahl von Individuen, um in dieser Angelegenheit eine berechtigte Meinung aufstellen zu können. Diesen Weg habe ich denn auch eingeschlagen und, einige unwesentliche Abweichungen abgerechnet, dabei dasselbe Resultat erhalten. Die Anhänger der Young-Helmholtz'schen Theorie können indessen immer noch den Einwand machen, dass ich in einem Betracht nicht mit zureichender Genauigkeit vorgegangen bin, insofern ich nicht den Punkt notirt habe, wo die angewendeten Pigmente zuerst überhaupt gefärbt erschienen, sondern nur den, wo sie in ihrer richtigen Farbe wahrgenommen wurden. Da Roth und Grün in der Peripherie, ehe sie in ihrem richtigen Ton wahrgenommen werden, als Gelb gesehen werden, ist es ja wohl möglich, dass ich bei dem angedeuteten Verfahren ein anderes Resultat erhalten hätte. Letzteres kann ich nicht bestreiten und räume sogar ein, dass ich am richtigsten gehandelt, wenn ich auch auf diesen Umstand Rücksicht genommen hätte.

Diese Eigenthümlichkeit der beiden besprochenen Farben, zuerst als gelb sich darzustellen, dürfte aber überhaupt die ganze Frage bedeutend schwieriger machen, zumal wenn wir sie in den Nüancen in Anwendung bringen wollten, die für das Centrum die typischsten zu sein scheinen; und dies um so mehr, da es wohl als eine Unmöglichkeit bezeichnet werden muss, darüber zum Einverständniss zu kommen, welche Töne man für reines Roth und für reines Grün anzusehen hat. Die Frage kann indessen in einer direkteren Weise gelöst werden, dadurch, dass man ein Roth und ein Grün darstellt, welche in der Peripherie nie als Gelb wahrgenommen werden, sondern nur entweder als farblos oder im

richtigen Ton. Dass ein derartiges Roth und Grün existiren müsse, kann man apriori wissen, da die complementären Farben zu den rothen und grünen Nüancen, welche gewöhnlich als reines Roth und Grün bezeichnet werden, — nämlich Blaugrün und Rosa, peripherisch sich als Blau zeigen. — Ich bin später darauf aufmerksam geworden, dass Woinow*), durch dasselbe Raisonnement geleitet, auf der Rotationsscheibe ein Roth und Grün hergestellt hat, welche peripherisch nur im richtigen Ton aufgefasst wurden. Dasselbe lässt sich indessen auch ohne Schwierigkeit durch Pigment erreichen, indem man einen Ton herstellt, der ziemlich in der Mitte zwischen Hochroth und Rosa auf der einen Seite, und Blaugrün und Grasgrün auf der andern Seite liegt, und darauf versucht, ob der Ton nicht ausserhalb der Grenzen, wo er als Roth oder Grün gesehen wird, ganz farblos erscheint. Die relative Reinheit und die Helligkeit der dargestellten Pigmente ist darauf ganz in der oben für die andern 8 Farbtöne beschriebenen Weise bestimmt worden.

Mit diesen 2 Farbtönen, welche ich im Folgenden als physiologisch reines Roth und Grün**) bezeichnen will, sind, ausser Anderen, 10 Studirende der Medicin unter Beobachtung der besprochenen Vorsichtsmassregeln untersucht worden. Ich habe für Letztere den Punkt notirt, wo die Farben bei der erstmaligen Untersuchung sich in ihrem richtigen Ton zeigten; denn praktisch genommen, wird es das Resultat der erstmaligen Untersuchung sein, worauf hier das Hauptgewicht zu legen ist. Durch Uebung wird, wie auch Dobro-

*) l. c. S. 227.

**) Diese Farbtöne liegen denen von Holmgren (Nord. med. Ark. Bd. 6, 4. Heft) ziemlich nahe, nur spielen sie, mit jenen verglichen, etwas in's Bläuliche.

wolski betont*), die Grenze für die Wahrnehmung desselben Pigments nicht unbedeutend erweitert. Um weitere Felder zu erhalten, hatte ich Quadrate von 2 cm Seitenlänge angewendet. Gleichzeitig mit den Grenzen für Roth und Grün sind auch die für Gelb und Blau, wie auch die für Weiss mit 1 cm grossem weissen Fleck aufgenommen. In Fig. 3 sind die Grenzen nach den Mittelwerthen aus den 10 Beobachtungen eingetragen.

Auch hier zeigt es sich, dass die Grenzen für Roth und Grün zusammenfallen, und ich halte mich deshalb für berechtigt, dies als eine allgemeine Regel aufzustellen. Dass Andere nicht zu demselben Resultat gelangten, kommt, wie ich meine, daher, dass sie nicht mit äquivalenten Farbentönen untersucht haben. Hieraus kann man sich auch erklären, warum die Meisten ein grösseres Gesichtsfeld für Roth als für Grün erhalten haben, denn, wie oben erwähnt, sind die rothen Körperfarben durchgehends stärker als die grünen (s. S. 134).

Nimmt man an, dass einer jeden Farbenwahrnehmung, oder überhaupt einer jeden Lichtwahrnehmung, eine materielle Veränderung zu Grunde liegt, durch welche ein Stoffverbrauch bedingt ist, so muss man gleichfalls annehmen, dass dieser Veränderung ein Reparationsprocess nachfolgt, welcher wieder eine entgegengesetzte Empfindung auslöst. Ist z. B. der Stoff zugegen, durch dessen Verbrauch die Empfindung Roth hervorgerufen wird, so muss auch die Empfindung des Gegensatzes Grün auf die eine oder andere Weise bemerkbar gemacht werden können.***) Dass die Gegensatzempfindung ebenso deutlich hervortreten müsste, als die primäre, ist keine

*) l. c. S. 470.

**) Ich sehe hier vorläufig von pathologischen Zuständen ab; für diese lässt sich ein so träger Verlauf des Reparationsprocesses denken, dass derselbe keine Empfindung irgend welcher Art auslöst.

nothwendige Folgerung aus dem Gesagten, denn die „D-Erregbarkeit“ und die „A - Erregbarkeit“ können in einem sehr verschiedenen Verhältniss zu einander stehen. *)

Wenn so Roth dissimilirend und Grün assimilirend wirken sollte, so liegt es nahe, in Analogie mit dem, was für den Lichtsinn statthat, anzunehmen, dass Roth sich leichter bemerkbar macht, als Grün. Deshalb braucht der Umstand, dass man mit einem gegebenen Roth ein grösseres Gesichtsfeld findet, als mit einem gleich gewichtigen Grün, keineswegs gegen die Richtigkeit der Theorie zu sprechen, wogegen die Constatirung eines totalen Mangels an Empfindung für die eine der beiden antagonistischen Farben beim Vorhandensein der Empfindung für die andere eine solche Theorie unwahrscheinlich machen würde. In einer ähnlichen Weise würde es sich denn wohl auch genügend erklären lassen, dass wir für die beiden anderen Complementärfarben (antagonistischen Farben) Gelb und Blau in der That ungleich grössere Gesichtsfelder finden. Doch brauchen wir nicht erst auf eine derartige Hypothese zurückzugehen, um letzteres erklärlich zu machen, denn der angegebene Umstand lässt sich ungezwungen aus der Gegenwart des gelben Pigments in den centralen Theilen und der dadurch bedingten Absorption einer gewissen Menge blauer Strahlen erklären. Hierdurch entsteht nämlich in den entsprechenden Theilen der Retina eine geringere Empfindlichkeit für Blau sowohl als für Gelb, insofern beide weniger von Grau differiren, aber während Gelb in Folge davon, mit farblosem Licht verglichen, an Lichtstärke gewinnen muss, wird Blau als dunkler aufgefasst werden müssen und so doch sich nur minder

*) Hering, Zur Lehre vom Lichtsinne. VI. Sitzungsbericht d. K. Akad. d. Wissensch. LXX. 3. Abth., S. 183.

v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie, XXVII. 1.

geltend machen können. Untersucht man also peripherisch mit einem Blau und Gelb, welche für die centralen Theile äquivalent sich verhalten, so muss man von vornherein erwarten, ein grösseres Gesichtsfeld für das erstere als für das letztere zu finden, denn ausserhalb des gelben Fleckes wird jenes als ein lichtstärkeres Blau auftreten müssen. Die Differenz zwischen der Grösse des gelben und blauen Feldes ist nach meinen Beobachtungen individuell verschieden; bei hellpigmentirten Individuen ist dieselbe gewöhnlich nur unbedeutend; hier kann sogar das gelbe Feld in den Richtungen nach oben und nach innen sich über das blaue hinaus erstrecken. Dies beruht darauf, dass bei derartigen Personen das gelbe Retinalpigment weniger reichlich vorhanden ist, wie dies anatomisch schon längst eine bekannte Thatsache gewesen.

Wir sind hier bei einem Punkt angelangt, der bei der Ausdeutung der in den mannigfachsten Modificationen vorkommenden Farbenblindheit nicht in genügender Weise in Betracht gezogen ist. Es ist dies eben dieser individuelle Unterschied in der Pigmentirung. Dass letzterer einen Einfluss auf die Erregbarkeit durch die verschiedenen Farbentöne ausüben muss, ist freilich von mehreren Seiten hervorgehoben. So nimmt Maxwell an, dass in diesem Umstande der Grund dafür zu suchen ist, dass man bei einzelnen Individuen eine relative Unempfindlichkeit für gewisse Farbentöne findet, obwohl im Uebrigen ihr Farbensinn ganz normal ist*); ja bei

*) The theory of compound colours. Phil. transact. Vol. 150. 377. „Now ordinary white light is a mixture of all kinds of light, including that between E and F, which is partially absorbed. If therefore we compound an artificial white containing the absorbed ray as one of its three components, it will be much more altered by the absorption, than the ordinary light, which contains many rays of nearly the same colour, which are not absorbed. On the other hand, if the artificial light do not contain the absorbed ray, it will be less altered, than the ordinary light which contains it.”

einzelnen Personen kann in dieser Beziehung sogar ein nicht unbedeutender Unterschied zwischen den beiden Augen eingetreten sein. Dr. J. J. Müller*) berichtet z. B., dass eine Mischung von Roth und Gelbgrün, welche für das rechte Auge im Vergleich mit dem spektralen Gelb sich grün zeigte, für das linke Auge sich roth darstellte. — Diese Ungleichheit in der Art der Pigmentirung muss selbstverständlich sich auch in den Fällen geltend machen, wo die durch Roth-Grün erregbaren Elemente fehlen, und man kann von diesem Gesichtspunkte aus sich die mannigfachen Variationen erklären, welche in der centralen Farbenempfindung sowohl bei angeborener, als bei erworbener Farbenblindheit beobachtet werden.

Nehmen wir an, dass die Pigmentirung im Centrum und seiner nächsten Umgebung rein gelb ist. In solchem Fall werden weder die rothen, noch die grünen Strahlen in merkbarem Grade von dem Pigment absorbirt werden. Wir werden darum eine Unempfindlichkeit für das physiologisch reine Roth und Grün vorfinden, und falls (wie dies oft bei hellblonden Individuen der Fall ist) das gelbe Pigment nicht reichlich vorhanden ist, so werden wir zugleich einen geringen Unterschied in der Ausdehnung des gelben und blauen Feldes antreffen; falls aber reichliches Pigment vorhanden, so tritt Verwechslung von Dunkelblau (Violett) und Schwarz**) ein; in beiden Fällen aber wird Roth und Grün als Grau gesehen.

Spielt das Pigment in das gelb-röthliche, so wird im Centrum Blaugrün absorbirt und folglich dieses und

— Dies erklärt, wie man bei einem und demselben Individuum ein höchst verschiedenes Resultat betreffs der Helligkeit verschiedener Farbentöne erlangen kann, je nach der Art der verschiedenen Untersuchungsmethoden.

*) A. f. O. XV. 2, S. 251.

**) Vide Preyer, Arch. f. d. gesammte Physiol. Bd. I, S. 324.

seine Complementärfarbe Roth als Grau aufgefasst werden. Die sogenannte Rothblindheit ist das Resultat.

Hat das Pigment endlich einen grünlichen Schimmer, so muss das dem Gelbgrün complementäre Rosa absorbiert werden und die sogenannte Grünblindheit tritt ein.

Allen diesen Fällen gemeinsam ist eine peripherische Unempfindlichkeit für physiologisch reines Roth und Grün. So habe ich es auch in der That bei allen Farbenblinden, die ich bisher untersucht, angetroffen.

Im Gegensatz gegen die gewöhnliche Annahme, denke ich mir also die Farbenwahrnehmung ausserhalb der Macula lutea als normal, innerhalb derselben als pervers (mag sie auch in quantitativer Beziehung im Centrum bedeutend feiner sein als in der Peripherie).*)

Anhänger der Young-Helmholtz'schen Theorie werden vermuthlich hier daran zu erinnern haben, dass man den eben

*) Dadurch, dass man die Macula lutea in der einen oder anderen Weise entoptisch sichtbar macht, kann man selbst die Farben des gelben Pigmentes studiren. Mir glückt dies am Besten durch Exner's Methode (Arch. f. d. gesammte Physiol. Bd. 3) bei Anwendung von intermittirendem Licht. Schraube ich einen Episkotister auf den Rotationsapparat und sehe ich bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit durch denselben gegen eine weisse Fläche, so tritt die Macula lutea als ein schwacher in das Grünliche spielender Fleck von ca. 20° Durchmesser hervor. Die Grösse ist übrigens nicht leicht festzustellen, da dieselbe ohne scharfe Grenzen in das sonst farblose und ungleiche Gesichtsfeld verschwimmt. Letzteres fällt sich nämlich oft mit schwarzen, radial sich stellenden Flecken, die sich in einer von der Peripherie nach dem Centrum hin gerichteten schnellen Bewegung zu befinden scheinen. Wird ein gelbes Glas vors Auge gebracht, so wird der centrale Fleck heller, bei einem blauen Glas dunkler als das umliegende Gesichtsfeld. Durch solche Gläser erscheint der Fleck, wenn auch weniger deutlich, wenn man gegen den hellen Himmel schaut. Sieht man durch ein rothes Glas gegen den stark beleuchteten Himmel, so tritt oft nach Verlauf einer kurzen Zeit eine sehr auffällige Verdunklung des ganzen Gesichtsfeldes ein, abwechselnd mit dem Eindruck des starken, vom rothen Glas ausgehenden Lichtes.

dargelegten Grundsätzen gemäss beim Schattenversuch eher erwarten müsste, dass der Rothblinde den blaugrünen Schatten dunkler finden werde, und der Grünblinde den rosafarbenen, als den rothen und den grünen. Wie bereits bemerkt, findet man in vielen Fällen nicht, dass die Farbenblinden in Auffassung dieser Verhältnisse sehr von den Normalsichtigen differiren, und besonders gilt letzteres von den Grünblinden. Wer soll übrigens in zweifelhaften Fällen in dieser Sache der Richter sein? Doch wohl kaum der Normalsichtige, der durch die schwer vergleichbaren Farbeneindrücke gestört wird, während dies beim Farbenblinden nicht der Fall ist. Es dürfte sich vielleicht auch zeigen, dass in den Fällen von Rothblindheit, wo wirklich ein solcher Unterschied stattfindet, auch zugleich eine bedeutende Verkürzung des Spektrums eintritt (Vide Hochecker A. f. O. Bd. XIX. 3.). Dies lässt sich ebenso schwer in Uebereinstimmung mit der Hering'schen Theorie erklären, als das Umgekehrte (eine Nichtverkürzung des rothen Endes) nach der Young'schen.

Nach dem Vorangehenden glaube ich schliessen zu dürfen, dass die Aufstellung von 3 Feldern, einem rothen, einem grünen und einem blauen nicht mit den thatsächlichen Verhältnissen in Uebereinstimmung steht. Es existiren überhaupt nicht getrennte Felder, aber sollte man eine Eintheilung aufstellen wollen, so müsste man lieber ein rothgrünes, ein gelbes und ein blaues anerkennen. Aber auch das letzte halte ich nicht für glücklich. Was wir finden ist der Thatbestand, dass die Peripherie, im Vergleich mit dem Centrum, eine geringere Empfindlichkeit für Roth-Grün, als für Gelb-Blau besitzt; aber dieser Unterschied ist in einem sehr variablen Grad vorhanden. Bei einzelnen Individuen erstreckt sich das rothgrüne Feld fast ebenso weit, als das blaugelbe. Darum halte ich es auch für unnütz, irgend welches Schema mit Forderung auf allgemeine Gültigkeit aufzustellen, besonders da die Resultate selbst bei Anwendung desselben Pigmentes sehr verschieden ausfallen, je nach der mehr oder minder starken Beleuchtung und also

auch nach dem Lokal, in welchem man untersucht. Man beachte übrigens, dass es viel weniger auf die absoluten Grenzen ankommt, als auf Einbuchtungen und Defekte. Um Zeit zu sparen, kann man, da Roth und Grün miteinander gehen, abwechselnd mit einer oder der andern von diesen Farben untersuchen. Nimmt man zugleich noch Blau mit hinzu, so hat man Farbentöne genug, um ein Errathen schwierig zu machen. Werden diese Töne, zusammen mit Grau (von gleicher Lichtstärke) auf einer runden Scheibe aufgetragen, welche unter einer mit einem viereckigen Loch durchbohrten schwarzen Platte sich so um ihre Axe drehen lässt, dass man geschwind irgend welchen Farbenton oder das Grau dem Untersuchten darzubieten vermag, so kann man in einer verhältnissmässig kurzen Zeit eine ziemlich vollständige Untersuchung des Gesichtsfeldes vornehmen.

Wenn man von dem physiologisch reinen Roth und Grün, sowie von reinem Gelb und seiner Complementärfarbe, die nur sehr wenig vom reinen Blau abweicht, ausginge, könnte man eine chromatoptometrische Tafel mit 4 statt mit 8 Farbentönen construiren. Da die Uebergänge auf den von mir dargestellten Tafeln fast zu fein sind, könnte ein Theil derselben fallen gelassen werden. 6 statt 10 Nuancen von jedem Farbenton würden ausreichen. In dieser Weise würde man statt 80 verschiedenfarbiger Quadrate + 1 Grau nur 24 + 1 herzustellen haben. Dadurch würde die Herstellung und Ausgabe einer solchen Tafel in Farbendruck sehr erleichtert.

In neuerer Zeit hat Chodin*) Untersuchungen des peripherischen Farbensinnes mittelst der rotirenden Scheibe vorgenommen. Wenn man diese mit den meinigen (vide Fig. 4, 5, 6 und 7) vergleicht, so wird man sehen, dass ich in Uebereinstimmung mit Chodin gefunden habe, dass in einem nicht allzu weiten Abstand vom

*) A. f. O. XXIII. 3.

Centrum die Empfindlichkeit für Farbeneindrücke ungefähr gleich geschwind im inneren und äusseren Gesichtsfeld herabsinkt. Bereits von 10° an tritt jedoch nach meinen Untersuchungen ein Unterschied ein, der sich immer mehr geltend macht. Im Uebrigen lassen meine Resultate sich mit denjenigen Chodin's nicht vergleichen, da derselbe nicht das Mittel aus mehreren Beobachtungen genommen, und nicht mit fixirtem Auge untersucht hat, weshalb seine Resultate weniger zuverlässig sein dürften.

Für jeden beliebigen Meridian kann man nach den entworfenen Karten Curven construiren, die das Sinken von F vom Centrum nach der Peripherie hin nachweisen. In Fig. 3 sind die zu dem horizontalen Durchmesser des Gesichtsfeldes gehörigen Curven für Roth und Blau ausgezogen. Wenn man diese mit der Curve für L vergleicht, so findet man unmittelbar, wie alle 3 sich darin gleichen, dass sie im innern Theil des Gesichtsfeldes am schnellsten abnehmen. Dass die Curven für Roth und Blau an der äusseren Seite zwischen 20 und 25° gegen das Centrum hin eingeknickt erscheinen, ist ein bloss zufälliger Umstand und beruht darauf, dass die Stellung des Perimeters eine derartige gewesen, dass die entsprechenden Theile theilweise durch den Kopf des Untersuchten beschattet worden sind.

Um zu ermitteln, in welchem Grade die peripherische Farbenwahrnehmung mit dem zunehmenden Schwinkel steigt (und umgekehrt), habe ich einige Bestimmungen in der äusseren Hälfte des Gesichtsfelds vorgenommen, und dabei ähnliche Verhältnisse gefunden wie Raehlmann.*) Zum Vergleich habe ich gleichzeitig Bestimmungen mit Pigmentflächen von verschiedener Grösse

*) A. f. O. Bd. XX. 1.

und mit Nuancen von verschiedener Reinheit ausgeführt, und aus diesen scheint hervorzugehen, dass auch für die Peripherie innerhalb gewisser Grenzen ein so geartetes Verhältniss zwischen Intensität und Extensität besteht, dass die Stärke des Eindruckes immer in einer bestimmten Proportionalität zur Grösse des angewendeten Reizes steht, vorausgesetzt, dass die Retina noch nicht ermüdet ist. *)

Doch habe ich nicht so zahlreiche Untersuchungen vorgenommen, dass ich diese Meinung für mehr als eine blosse Vermuthung ausgeben dürfte.

Obwohl derartige Bestimmungen mit Hülfe der von mir angefertigten Pigmente sich mit Leichtigkeit anstellen lassen, erfordern sie doch mehr Zeit, als ein practicirender Arzt ohne Schwierigkeit aufwenden kann, denn der einzige Weg, derartige Fragen zu lösen, besteht darin, dass man gleichzeitig eine Menge Bestimmungen mit Farbentönen von wechselnder Reinheit und mit Flächen von wechselnder Grösse ausführt und aus diesen Mittelwerthe berechnet.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, dass die Farbenwahrnehmung in der Peripherie sich in mancher Hinsicht von der des Centrums unterscheidet, und gleichfalls, dass erstere mit letzterer sich ebensowenig bei herabgesetzter Beleuchtung vergleichen lässt.

Vergleicht man die peripherische Farbenwahrnehmung mit der centralen bei ungenügendem Schwinkel und herabgesetzter Beleuchtung, so findet man folgende Resultate.

*) Raehlmann findet bei Pigment (nicht bei Spektralfarben) die Grenze für Roth von 3 qmm linearer Ausdehnung bei 15°, für Grün bei 11°. Bei 4 mal grösserer linearer Ausdehnung, also 12 qmm, für Roth bei 30°, für Grün bei 22°. Ich selbst fand mit 1 cm f_{80} für Roth und Grün 20°, mit f_{360} (also 4,5 mal grösserer Intensität) für beide 50°, also ein ziemlich nahe übereinstimmendes Resultat.

Gemeinsam für Centrum und Peripherie ist der Umstand; dass alle Farbentöne, ehe sie in ihrem richtigen Ton aufgefasst werden, farblos erscheinen.

Der Uebergang von farblos zu farbig geschieht bei einigen Farbentönen ohne Zwischenglied, so dass, nachdem sie bisher ohne Farbe gesehen waren, sie plötzlich in ihrem richtigen Ton erscheinen. Dies ist beides für Centrum und Peripherie nur der Fall mit dem physiologisch reinen Roth und mit Blau.*)

Gemeinsam für Centrum und Peripherie ist endlich, dass Blaugrün durch Blau in Grau übergeht.

Für alle übrigen Farbentöne ist die Wahrnehmung im Centrum bei unzureichendem Gesichtswinkel oder Beleuchtung von der peripherischen Wahrnehmung verschieden.

Das physiologisch reine Grün, welches unter den erwähnten Umständen im Centrum, ehe es farblos wird, als Blau auftritt, geht in der Peripherie direct in Grau über, wogegen das Grün, welches sich bei abnehmendem Sehwinkel als Blassblau und bei abnehmender Lichtintensität für mein Auge fast als Grau zeigt, peripherisch durch Gelb in Farblos übergeht.

Rosa, welches bei abnehmendem Gesichtswinkel gelblich und bei abnehmender Beleuchtung rein grau sich zeigt, erscheint peripherisch intensiv blau. Hochroth, d. h. der Farbenton, für welchen das Centrum die grösste Empfindlichkeit besitzt und der bei abnehmender Beleuchtung immer dunkler und dunkler wird, bis derselbe endlich mit Schwarz zusammenfliesst, geht peripherisch in Gelb über.

*) Möglicherweise könnte dasselbe auch bei den hellgelben Tönen der Fall sein, aber über diese lässt sich nur schwer unbefangen urtheilen, da sie sich gleich durch ihre Helligkeit zu erkennen geben.

Tiefe gelbe Töne und Orange, die bei abnehmendem Sehwinkel als Roth aufgefasst werden, während sie bei abnehmender Beleuchtung neben dieser Veränderung noch dunkel werden, gehen peripherisch direct in Grau über, nachdem Orange sehr früh als Gelb wahrgenommen war.

Fig. 1.

Fig. 2.

— blau. — gelb. grün. - - - - - rot.

Fig. 3.

Dr. Schuler, Prof. Just, Berlin.

— — — — — blm. — — — — — gelb. — — — — — grün. — — — — — rotb.

Dr. Schürke, Prof. Josef Beckm.