Ueber angeborene Farbenblindheit.

Von
Dr. Th. Hochecker
aus Hildesheim.

Die Literatur, welche sich an das Wort „Farbenblindheit“ knüpft, kann heut zu Tage, sowohl was die Beschreibung des Leidens im Allgemeinen, als auch die nähere Untersuchung von einzelnen Fällen angeht, in der That nicht arm genannt werden. Welche Elemente der Retina dem Farbensinne dienen, wie die verschiedenen Pigmente im Centrum und der Peripherie der Netzhaut sowohl von normalen, als auch von kranken Augen empfunden werden, ob und inwieweit endlich die Young-Helmholtz'sche Theorie von den drei Grundempfindungen mit den gewonnenen Resultaten übereinstimmt: diese Fragen haben gerade in den letzten Jahren Anatomen, Physiologen und Ophthalmologen eingehend beschäftigt und zu mannigfachen Differenzen geführt. Zufällig befinde ich mich in der angenehmen oder auch unangenehmen Lage, von Jugend auf farbenblind zu sein und kann so durch Beschreibung meines eigenen Zustandes einen Beitrag zur Kenntniss der angeborenen Farbenblindheit liefern. Die folgende Arbeit habe ich

angelerntigt unter Leitung des Herrn Professor Leber, dem ich nicht genug Dank sagen kann für die zahlreichen Stunden, die er den Versuchen an meinem Auge opferte, sowie für manchen Wink und Rath, den er mir bei Abfassung der Arbeit ertheilte.

Die Namen, welche ich farbigen Objecten beilege, beschränken sich auf Weiss, Schwarz, Braun, Roth, Gelb, Grau und Blau; daneben gebrauche ich noch die Bezeichnungen Braunroth, Graublau etc. Mit den Worten Grün und Violett weiss ich keine Vorstellung zu verbinden und gebrauche deshalb diese Bezeichnungen nie*). Es erscheint mir z. B. das Gras hellroth, die Blätter der Bäume im Frühlinge gelblich. Gelb bezeichne ich die Gegenstände, die auch ein normales Auge als solche bezeichnet, z. B. Schwefel, Gold. Unter Roth verstehe ich nur die Farbe des Siegellacks und der rothen Aufschläge an Uniformen. Grau nenne ich z. B. die Lippen und bezeichne als Blau die Farbe des Himmels und der Rosen. Alle rothen Sterne, wie Arctur, Aldebaran haben für mich ein intensiveres Licht, als Sterne von anderer Farbe z. B. Jupiter, Capella; alle Sterne erscheinen mir in nur einer Farbe, nämlich gelb.

Die Farben, welche mir ganz gleich erscheinen, sind folgende:

Braunroth	}	Braun
Zinnoberroth		
Zinnoberroth in etwas weisslicher Nuance		
Olivengrün		
Gelbroth	}	Roth
Orange		
Grasgrün		

*) Dasselbe führt Preyer's (Pflüger, Archiv f Physiologie I. p. 314) von zwei Grünblinden an, die er zu untersuchen Gelegenheit hatte.

Grün (Schweinfurter)	{	Gelbgrau
Gelbgrün	}	Gelb
Dottergelb		
Goldgelb		
Schwefelgelb		
und die weisslichen Nuancen des letzteren		
Weisslich roth	{	Grau
Fleischfarben		
Weisslich grün		
Weisslich orange		
Purpur	{	sowohl gesättigt, als in ihren weisslichen Nuancen . . . Blau
Rosa		
Violett		
Cyanblau		
Indigblau		

Von den genannten Farben sind Gelb und Blau für mich die intensivsten. Den Namen Blau wende ich noch auf jeden Gegenstand an, der, nur diffus erleuchtet, schon grauschwarz ist; es muss der Grad der Verdunkelung ein schon beträchtlicher sein, ehe ich den Namen Schwarz gebrauche. Preyer*) behauptet, dass das Hellblau, welches von Farbenblinden mit Rosa verwechselt werde, niemals Himmelblau sei, sondern stets ein grünliches Blau. Für mein Auge habe ich indessen constatiren können, dass mir eine Rose und das Blau des Himmels vollständig gleich erscheinen und beide auch keinen Farbenunterschied zeigen von dem Roth der jugendlichen Wangen.

Aus den genannten Verwechslungen lässt sich nun noch nicht bestimmen, welcher der von Seebeck**)

*) l. c. p. 319.

**) Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Pogg. Ann. XLII. p. 177.

unterschiedenen Klasse von Farbenblinden ich angehöre. Im Voraus muss ich hier bemerken, dass es überhaupt nicht angehen wird, mich als einfach rothblind zu bezeichnen, da mein Zustand derartig ist, dass manche der für Rothblinde angegebenen Postulate bei mir fehlen, andere neue Erscheinungen aber hinzutreten. Dass ich aber rothblind und zwar in exquisiter Weise zu nennen bin, geht besonders aus dem nachfolgenden Befunde am Spectrum hervor.

Legen wir vorläufig die in der Young-Helmholtz'schen Theorie angenommenen drei Energien zu Grunde, durch deren verschiedene Erregung alle übrigen Farben im Auge zu Stande kommen. Für das normale Auge lässt sich, wie Helmholtz*) angiebt, zwischen jeder vorkommenden Farbe, drei passend gewählten Grundfarben, ferner Weiss und Schwarz eine Farbengleichung herstellen. Der Versuch ist am einfachsten auszuführen mit dem nach Maxwell's**) Methode eingerichteten Farbenkreisel***). Ihm verdanken wir

*) Phys. Optik p. 294.

**) Experiments on colour, perceived by the eye, with remarks on colour blindness. Edinb. Trans. XXI. p. 275.

***) Woinow giebt im Archiv f. Ophthal. XVII, 2. p. 244 eine neue Methode an, die auf der Maxwell'schen beruht. Er rühmt diese Methode deshalb, weil man mittelst derselben viele Personen in kurzer Zeit untersuchen könne. Seine Rotations-scheibe besteht aus vier concentrischen Kreisen, auf denen bestimmte Pigmentfarben angebracht sind. Der kleinste centrale Kreis besitzt einen Radius von 20 mm, der sich bei den drei anderen Kreisen um je 15 mm. vergrössert. Jeder dieser vier Kreise besteht aus zwei, einzeln für sich beweglichen Sektoren; der centrale aus Weiss und Schwarz, der nächstfolgende aus Roth und Grün, der dritte aus Roth und Violett und der äusserst peripherisch gelegene aus Grün und Violett. Hat man es nun mit einem absolut Farbenblinden zu thun, so soll für ihn einer der drei peripherischen Ringe, von denen der centrale für ein normales Auge grau, der folgende gelblich, der dritte rosaroth und der äusserste blaugrün erscheint, im Farbenton mit dem centralen übereinstimmen,

auch die wichtige Thatsache, dass für ein farbenblindes Auge sämtliche Farben aus zwei statt aus drei Grundfarben mit Zuhilfenahme von Weiss und Schwarz hergestellt werden können. Man braucht z. B. für ein rothblindes Auge nur Gelb und Blau, um mit jeder anderen Farbe eine Farbengleichung auf dem Kreisel zu erreichen.

Die einschlägigen Versuche dieser Art sind folgende. Die beiden dabei benutzten Farben waren Chromgelb und Ultramarin.

Versuche mit dem Farbenkreisel.

- 1) 129° Gelb + 231° Blau = 129° Weiss + 231° Schwarz (= Grau).

(Für das normale Auge sind beide Farben nahezu complementär; die angegebene Combination ist für dasselbe dem reinen Grau am ähnlichsten.)

- 2) 147° Gelb + 118° Weiss + 95° Schwarz = 360° Grün (= reinem Grün.)

(Für das normale Auge schwach Graugelb, für das farbenblinde Auge beides = gelblich.)

- 3) 212° Gelb + 148° Blau = 315° Grün + 45° Schwarz.

(Die linke Seite der Gleichung für das normale Auge Graugelb, die rechte Grün; für mein Auge beides = Graugelb.)

und zwar derjenige Ring, in welchem die Grundfarbe fehlt, welche die Art seiner Farbenblindheit bestimmt. Woinow sagt nun, wenn z. B. dem betreffenden Patienten der äusserste Kreis im Farbenton identisch mit dem Centrum erscheine, so habe man es mit einem Rothblinden zu thun. Ich möchte dazu bemerken, dass die Sache doch wohl so einfach nicht sei. Wie aus den Versuchen für mein Auge ersichtlich, ist für mich eine Farbengleichung aus reinem Grün und Violett mit Grau nicht herzustellen, sondern nur aus Violett und einem Grün, dem merkliche Mengen von Gelb beigemischt sind. Ausserdem lässt sich mit Hilfe des Farbenkreisels allein die Art der Farbenblindheit niemals bestimmen, entscheidend sind jedenfalls die Versuche mit dem Spectrum.

- 4) 142° Gelb + 104° Blau + 114° Schwarz (für das normale Auge Graugelb) = 283° Orange + 77° Weiss (für das normale Auge Weisslich Orange.)
Für mich beides = Grau.
- 5) 100° Blau + 260° Schwarz (für das normale Auge Dunkelgraublau) = 360° Purpur.
Für mich beides = Dunkelblau.
- 6) 8° Gelb + 252° Schwarz*) = 360° Roth (Zinnoberroth.)

(Die linke Seite der Gleichung für das normale Auge Dunkelolivengrün; für mein Auge beides Dunkelbraun.)

Dagegen gelang es nicht, sämtliche Farben aus einer Mischung von Grün und Blau herzustellen.

Es wurden nun mit dem Farbenkreisel diejenigen Farben bestimmt, welche mein Auge mit reinem Grau verwechselte.

- 7) 326° Roth + 34° Blau (für das normale Auge Roth mit leichtem Stich nach Purpur) = 20° Weiss + 340° Schwarz.
- 8) 230° Orange + 130° Blau (für das normale Auge schön Rosa) = 55° Weiss + 205° Schwarz.
- 9) 254° Gelbgrün + 106° Blau (für das normale Auge Weisslich Grün) = 58° Weiss + 302° Schwarz.
- 10) 215° Grün + 145° Blau (für das normale Auge bläulich Grün) = 215° Weiss + 145° Schwarz.
- 11) 202° Gelbgrün + 158° Violett = 36° Weiss + 324° Schwarz.

(Für das normale Auge sind beide Farben nahezu complementär; Mischung: Grau mit einem Stich ins

*) Diese Scheibe hatte eine viel dunklere schwarze Farbe als diejenige, welche bei allen andern aufgeführten Versuchen angewandt wurde; mit letzterer war gar keine Farbengleichung möglich.

Grünlichblaue; das Verhältniss der Mischung ist dem reinen Grau am ähnlichsten.)

$$12) \quad 122^{\circ} \text{ Grün} + 238^{\circ} \text{ Purpur} = 83^{\circ} \text{ Weiss} + 277 \text{ Schwarz.}$$

(Beide Farben für das normale Auge nahezu complementär. Mischung Grau mit Stich ins Röthliche.)

Ausserdem wurden noch folgende beiden Gleichungen erhalten:

$$13) \quad 291^{\circ} \text{ Orange} + 69^{\circ} \text{ Weiss} = 215^{\circ} \text{ Grün} + 145^{\circ} \text{ Schwarz.}$$

(Für das normale Auge Weisslich Orange und Dunkelgrün; mir erscheint beides = Grau.)

$$14) \quad 396^{\circ} \text{ Roth} + 64^{\circ} \text{ Purpur} = 33^{\circ} \text{ Grün} + 10^{\circ} \text{ Blau} + 317^{\circ} \text{ Schwarz.}$$

Aus der Thatsache, dass für mein Auge alle Farben aus Blau, Gelb, Weiss und Schwarz gemischt werden können, lässt sich über die Art der Farbenblindheit noch kein bestimmter Schluss ziehen, da diese Möglichkeit vermuthlich ebenso für Grünblindheit, wie für Rothblindheit besteht. Auch daraus, dass alle Farben zwar aus Gelb und Blau, nicht aber aus Grün und Blau hergestellt werden konnten, darf nicht etwa geschlossen werden, dass es sich um Grünblindheit handelt. Wie schon Helmholtz bemerkt, muss dem Rothblinden Grün weniger gesättigt erscheinen als Gelb, weil es schon eine stärkere Beimischung der dritten Grundfarbe (Blau oder Violett) enthält und diese geringere Sättigung könnte jenes Resultat wohl erklären. Dagegen folgt aus den Farben, die mit Grau verwechselt wurden, mit Bestimmtheit, dass Rothblindheit bei mir vorhanden sein muss. Das in Gleichung 7 gefundene Roth, welches mit Schwarzgrau (20° Weiss + 340 Schwarz) verwechselt wurde, entsprach nahezu dem äussersten Roth des Spektrums, schien aber etwas gegen Purpur hin davon abzuweichen, ge-

rade wie dies schon Helmholtz *) für einen Rothblinden gefunden hat. Die zweite gesättigte Farbe, die nach Gleichung 10 mit Grau aber einem viel helleren Grau (215° Weiss + 145° Schwarz) verwechselt wurde, erschien dem normalen Auge als bläulich-grün (215° Grün + 145° Blau) und war für letzteres jenem Roth genau complementär.

Setzen wir, um dies zu beweisen, unsere Gleichung 10 nochmals hierher und vergleichen wir sie mit einer für das normale Auge gefundenen:

$$215^\circ \text{ Grün} + 145^\circ \text{ Blau} = 215^\circ \text{ Weiss} + 145^\circ \text{ Schwarz} \quad (10.)$$

Für ein normales Auge (Professor Leber) wurde gefunden:

$$154^\circ \text{ Roth} + 115^\circ \text{ Grün} + 91^\circ \text{ Blau} = 90^\circ \text{ Weiss} + 270^\circ \text{ Schwarz.}$$

Aus der linken Seite der letzteren Gleichung kann man die Farbe bestimmen, welche für das normale Auge complementär ist jenem Roth, das meinem Auge gleich Grau erscheint.

Dieses Roth war gemischt aus:

$$326^\circ \text{ Roth} + 34^\circ \text{ Blau} \quad (7)$$

Um dieselbe Farbe zu erhalten, müssen also 154° Roth gemischt werden mit:

$$X = \frac{34 \cdot 154^\circ}{326} \text{ Blau} = 16^\circ \text{ Blau.}$$

Also geben zusammen Grau für das normale Auge:

$$(154^\circ \text{ Roth} + 16^\circ \text{ Blau}) + (115^\circ \text{ Grün} + 75^\circ \text{ Blau}) \cdot (16 + 75 = 91.)$$

Die beiden eingeklammerten Combinationen müssen demnach complementär sein.

Das jenem Roth complementäre Bläulich Grün war also gemischt im Verhältniss von 115° Grün + 75° Blau, oder von:

*) l. c. p. 297.

$$\frac{115 \times 360^\circ}{190} \text{ Grün} + \frac{75 \times 360^\circ}{19^\circ} \text{ Blau} =$$

$$217,9^\circ \text{ Grün} + 142,1^\circ \text{ Blau.}$$

Gefunden wurden für mein Auge:

$$215^\circ \text{ Grün} + 145^\circ \text{ Blau}$$

eine Uebereinstimmung, wie sie kaum so vollkommen erwartet werden konnte.

Diejenigen Farben, welche dem Farbenblinden die Empfindung Weiss (oder Grau) geben, haben für ein normales Auge den Ton der fehlenden Grundfarbe oder von ihrer Complementärfarbe. Da nun das Roth mit einem viel dunkleren (fast schwarzen) Grau verwechselt wurde, als das complementäre Blaugrün, so kann kein Zweifel sein, dass mein Auge an Rothblindheit leidet. Es wird dies auch durch die übrigen Gleichungen 7—14 bestätigt, in welchen *ceteris paribus* um so mehr von einer Farbe in der Mischung nöthig war und die Mischfarbe um so dunkler ausfiel, je näher die Farbe an Roth lag, während Grün keine derartige Wirkung zeigte.

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass sämtliche Mischungen, welche dem normalen Auge gleich erschienen, auch für mein Auge gleich aussahen.

Versuche mit dem Rose'schen Farbenmesser.

Da die Versuche mit dem Maxwell'schen Farbenkreisel sehr viel Zeit und Mühe erfordern, so hat E. Rose den sogenannten Farbenmesser construirt. Die beiden Farben, welche das Auge des Beobachters erblickt, können durch Drehung des einen Nicol'schen Prismas geändert werden und bleiben dabei stets zu einander complementär. Durch Drehung des andern Prismas wird die Helligkeit der Farben verändert und es kann daher gebraucht werden, um beide Farben gleich hell zu machen. Einem normalen Auge erscheinen

die beiden Farben natürlich niemals gleich; von mir wurde ein mattes Roth und ein Blaugrün als gleich aussehend eingestellt, ohne dass ein wesentlicher Unterschied in der Helligkeit zwischen den complementär gefärbten Feldern bestand. Auch für ein normales Auge war der Helligkeitsunterschied nicht gross, indessen liess die Deutlichkeit der Bilder sowie der ganze Apparat manches zu wünschen übrig. Die Bilder erschienen mir gleich bei den Stellungen:

Vordere Stellung	Hintere Stellung
27	81
60	81
32	44
64	44

Bei jeder anderen Stellung erschien mir eines der Felder gelb das andere blau.

Das Ergebniss mit diesem Apparate stimmte also, wie zu erwarten, ganz mit demjenigen überein, das mittelst des Farbenkreisels erhalten wurde.

Versuche mit dem Perimeter.

Wir kommen nun zu einem Gegenstande, der ganz besonders in der jüngsten Zeit vielfach untersucht wurde; es sind dieses die Versuche in Bezug auf das directe und indirecte Sehen. Bekannt sind in dieser Beziehung manche widersprechende Resultate, zu denen die verschiedenen Beobachter gekommen sind. Nicht allein für normale Augen wurden diese Versuche vielfach angestellt, sondern auch für abnorme, kranke Augen bei verschiedenen Arten von Netzhaut- und Sehnervenleiden und für diese letzteren verdanken wir die ersten eingehenden Untersuchungen Leber*); Versuche indessen mit Augen, die an angeborener Farbenblindheit leiden,

*) Arch. f. Ophthal. XV., 3.

finde ich nur zweimal angestellt, von Holmgren*) und später von Schirmer**).

Die Fähigkeit, Farben zu percipiren, kommt beim normalen Auge der Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung zu, aber die Empfindlichkeit für Farben nimmt von der fovea centralis nach allen Richtungen bedeutend ab.

Purkinje***) war der Erste, welcher beobachtete, dass verschiedene Farben am äussern Augenwinkel bei 80° — 90° Entfernung vom Retinalcentrum nicht mehr farbig erscheinen und bis zum Erscheinen ihrer Farbe gewisse Farbtöne und Nuancen durchlaufen. Dieselben Versuche stellten dann besonders an Aubert†), Schelske††) und Woinow†††). Aubert bestätigte, dass von normalen Augen in der äussersten Peripherie des Gesichtsfeldes keine Farben mehr wahrgenommen werden und war der Ansicht, dass die oben genannten Erscheinungen von der veränderten Thätigkeit der Netzhaut, ihrer Ermüdung etc. herrührten.

Schelske kam zu dem Resultate, dass es eine Region in der Retina gebe, welcher die Empfindung des Rothen fehlt, während andere Farbenempfindungen vorhanden, aber nach Massgabe dieses Mangels modificirt seien. Diese sogenannte Rothblindheit begann nach aussen in 68° , nach innen in 53° , nach oben in 38° , nach unten in 37° Entfernung vom Centrum.

*) Centralblatt f. d. med. Wissenschaften 1872. No. 52.

**) Berliner klin. Wochenschrift, 1873. No. 5.

***) Beobachtungen und Versuche zur Physiologie d. Sinne. Bd. 2. p. 1—36.

†) Arch. f. Oph. III. 2. p. 38.

††) Arch. f. Oph. IX. 3. p. 40.

†††) Arch. f. Oph. XVI. 1. p. 212.

Nach Woinow verhalten sich die einzelnen Pigmente so:

Roth wird vom Centrum ab zuerst gelblich, dann braun und endlich schwarz.

Orange geht in eine gelbliche Farbe über, welche allmählig schmutziger wird und an der Peripherie als Grau verschwindet.

Gelb nimmt fortwährend an Intensität ab, bis es schliesslich als reines Weiss erscheint.

Grün wird gelblich oder unter Umständen ein gut gesättigtes Gelb; nach der Peripherie hin wird es immer schmutziger und geht in ein Grau mit verschiedener Helligkeit über.

Blau geht in ein Graublau über. An der Peripherie erscheint es schwarz.

Violett geht in ein gesättigtes Blau über.

Purpur endlich geht zunächst in ein schwaches Violett über, sodann in ein gesättigtes Blau und wird an der Peripherie schwarz.

So kam Woinow zu den Schlüssen:

1) Dass die Grenzen des Gesichtsfeldes für Farbeempfindungen unabhängig von der Helligkeit des Grundes immer dieselben seien, und

2) dass die Grenzen des Gesichtsfeldes für Helligkeitsunterschiede bei verschiedener Helligkeit des Grundes auch verschieden seien und abhängig von den untersuchten Farben. Er meint, dass nicht die veränderte Thätigkeit der Netzhaut die Ursache dieser Erscheinungen ist, sondern vielmehr die Unempfindlichkeit derselben (Blindheit) für gewisse Farben, selbst wenn es eine relative ist. Schliesslich glaubt er, dass die Peripherie der Netzhaut violettblind sei.

Nach Holmgren erscheint z. B. Purpur zunächst um den Fixationspunkt in seiner wirklichen Farbe, dann folgt eine Zone, wo es blau erscheint, endlich noch

weiter nach aussen eine dritte Zone, in der gar keine Farbe, sondern nur Grau gesehen wird. Holmgren meint, es bleibe hierfür nur die Deutung übrig, dass die farbenempfindenden Elemente, welche man der Young-Helmholtz'schen Theorie gemäss annimmt, nicht gleichmässig über die Netzhaut vertheilt sind. In derjenigen Zone, wo das purpurne Object blau erscheint, fehlen nach ihm die rothempfindenden Elemente, so dass hier nur die blaue Beimischung des Purpurs zur Erkenntniss kommt. An dieser Stelle soll nach ihm, wie dies auch mehrere andere Beobachter angeben, Roth, Orange, Gelb und Grün als Gelb gesehen werden, so dass diese Zone für ein normales Auge als rothblind angesehen werden könne. Ferner sollen die drei Zonen schwanken je nach der Form und Grösse des Objectes und sollen für verschiedene Augen verschieden sein. Der blaue Gürtel soll sich aber bei Rothblinden von dem normaler Augen nicht unterscheiden.

Nach Schirmer behalten für normale Augen Gelb und Blau, deren Farbenfelder über alle Zonen hinausragen und zwar das blaue am weitesten, ihre richtige Farbenempfindung excentrisch bei, bis sie unsichtbar werden. Für normale Augen beim indirecten Sehen, wie für kranke, die an *Atrophia optici* litten, fand er zuerst Einengung des grünen Farbenfeldes, dann des rothen, hierauf des purpurnen, violetten und orangen, bis nur Gelb- und Blausehen und schliesslich einzig Blausehen übrig blieb. Seine weitere Behauptung lautet wörtlich: „Ferner passt hiermit sehr wohl die angeborene Farbenblindheit, welche ebenfalls von mir an einigen Individuen geprüft ist. Solche Leute verwechseln besonders Roth, Grün und Gelb (resp. Braun) unter einander und Purpur und Rosa mit Blau. Es scheinen bei ihnen das grüne und rothe Farbenfeld ohne ihre gelben Zonen zu fehlen. Ist diese Ansicht richtig, so müssen bei angeborener

Farbenblindheit die übrigen Farbenfelder im Gesichtsfeld, auch das gelbe und das blaue, auffallend klein sein; und dies habe ich vollkommen constatiren können.“

So lauten die Angaben der verschiedenen Beobachter. Ich stelle hier nun zunächst die Resultate zusammen welche sich bei den Versuchen des indirecten Sehens mit dem Perimeter für mein Auge ergaben.

Die Versuche wurden mit kleinen farbigen Stücken Papier von c. 1,5 Cm. □ ausgeführt, indem diese von der Peripherie nach dem Centrum hin bewegt wurden. In den folgenden Tabellen bedeutet:

30° n. o = 30° nach oben,

30° n. u = 30° nach unten,

B = demjenigen Punkte, wo nur noch Bewegung wahrgenommen wurde und wo also die graue Zone begann.

g = Gelb,

b = Blau,

r = Roth,

d = dieselbe (schwarze) Farbe als der Grund,

s = dunkler (schwärzer) als der Grund.

Wo die Bezeichnung B fehlt, wurde sofort die Farbe bezeichnet; es fehlte hier also die graue Zone.

Im Voraus sei noch bemerkt, dass bei nachstehenden Versuchen auf Orbitalrand etc. keine Rücksicht genommen wurde.

Rechtes Auge.

	Lateral		Vertic.		Medial		Medial		Vertic.		Lateral	
	horizont. 30° n. o.	60° n. o.	nach oben.	60° n. o.	30° n. o.	horizont.	30° n. u.	60° n. u.	nach unten.	60° n. u.	30° n. u.	
Gelb.	105B. 90g.	80B. 75g.	55B. 50g.	45B. 40g.	55B. 50g.	65B. 60g.	65B. 60g.	75B. 70g.	75B. 70g.	95B. 90g.	105B. 90g.	
Grün.	110B. 90g.	60B. 55g.	40B. 35g.	45B. 40g.	60g.	75B. 70g.	80B. 65g.	75g.	70g.	85g.	100B. 90g.	
Blau.	120B. 100b.	85B. 80b.	50B. 45b.	50B. 45b.	60B. 55b.	65B. 60b.	70B. 65b.	75b.	75b.	85B. 80b.	100B. 95b.	
Purpur.	105B. 90b.	65b.	35b.	35b.	45b.	60B. 55b.	65B. 55b.	70B. 60b.	75B. 70b.	85B. 80b.	100B. 90b.	
Orange.	105B. 85r.	75B. 70r.	45B. 40r.	45B. 40r.	55B. 50r.	60B. 50r.	65B. 45r.	70B. 60r.	80B. 70r.	90B. 80r.	105B. 95r.	
Roth.	105B. 75d. 85s.	70B. 65d. 30s.	45d. 45d. 25s.	45d. 25s.	55B. 50d. 25s.	55B. 50d. 35s.	60B. 55d. 50s.	60B. 55d. 50s.	75B. 65d. 50s.	85B. 75d. 40s.	105B. 90d. 40s.	

Linkes Auge.

	Lateral			Vertic			Medial			Medial			Vertic.			Lateral.		
	horiz.	30° n. o.	60° n. o.	30° n. o.	oben.	nach	60° n. o.	30° n. o.	horiz.	30° n. u.	60° n. u.	unten.	nach	60° n. u.	unten.	60° n. u.	30° n. u.	
Gelb.	100g.	70g.	50g.	35g.	35g.		35g.	50g.	70g.	70g.	75g.	80g.	90g.	100g.				
Grün.	105B. 90g.	75g.	50g.	40g.	40g.		40g.	55B. 50g.	70B. 45g.	70B. 60g.	70B. 65g.	75B. 60g.	95B. 95g.	105B. 95g.				
Blau.	110B. 95b.	75R. 70b.	50B. 45b.	40B. 35b.	40B. 35b.		40B. 35b.	40B. 45b.	65B. 60b.	70B. 60b.	70B. 65b.	80B. 60b.	90B. 80b.	105B. 95b.				
Purpur.	105B. 85b.	60b.	40b.	35b.	30b.		35b.	45b.	60B. 55b.	65B. 60b.	70B. 60b.	70B. 60b.	85b.	105B. 95b.				
Orange.	105B. 100r.	70B. 65r.	50B. 45r.	40B. 35r.	40B. 35r.		40B. 35r.	55B. 50r.	70B. 60r.	75B. 55r.	75B. 60r.	75B. 60r.	90B. 60r.	105B. 90r.				
Roth.	105E. 90d. 50s.	75B. 70d. 50s.	55B. 50d. 30s.	40B. 25s.	45B. 35d. 20s.		40B. 25s.	50B. 25s.	55B. 50d. 25s.	60B. 50d. 40s.	60B. 55d. 50s.	70B. 65d. 50s.	75B. 70d. 60s.	95B. 85d. 55s.				

Vergleichen wir die beiden Tabellen mit einander, so zeigt sich, dass zwischen beiden Augen in Bezug auf die Ausdehnung der Perception der Farben kein wesentlicher Unterschied besteht. Stellt man die Resultate in einer Zeichnung dar, so bilden die Zonen, wo Farben wahrgenommen wurden, zusammen eine querp-ellitische Figur, die lateralwärts am weitesten reicht, dann noch ziemlich tief nach unten geht, medianwärts näher dem Centrum rückt und ihre geringste Ausdehnung nach oben hat. Wie ersichtlich, ist die Ausdehnung für die angeführten Farben bei allen ziemlich gleich. Es tritt aber nicht, wie für normale Augen gefunden worden ist, eine Perversion der Farben ein. Es existirt also für mich nur eine graue Zone und sobald ich eine Farbe erblicke, bezeichne ich sie so, wie ich sie auch sonst zu nennen pflege. Das Grün erscheint mir auch im directen Sehen Gelb, Purpur als Blau, Orange als Roth. Das für diese Versuche angewandte rothe Stückchen Papier hat auch im directen Sehen für mich eine braunschwarze Farbe und erschien mir im indirecten Sehen schwarz und zwar bis zu der oben angegebenen Grenze gleich mit dem Grunde des Perimeters, welcher schwarz war, näher dem Centrum indessen dunkler als die Farbe des Perimeters.

Auffallend ist, dass sich für mein linkes Auge bei dem Versuche mit dem gelben Pigmentstückchen keine graue Zone fand, während sie für das rechte Auge vorhanden war.

Was nun Schirmers Behauptung angeht, dass bei angeborener Farbenblindheit die Farbenfelder im Gesichtsfelde, auch das gelbe und das blaue, auffallend klein sein sollen, so genügt ein Blick auf unsere Tabellen, um zu sehen, dass wenigstens für mein farbenblindes Auge obige Behauptung durchaus nicht zutrifft, sondern dasselbe gerade für Gelb und Blau sich eher dem beschriebenen Zustande normaler Augen anschliesst.

Wie oben bereits angegeben, wird von normalen

Augen in einem bestimmten Gürtel Grün als Gelb gesehen. Sehr richtig sagt Holmgren: „Da man daraus auf die Farbenperception Rothblinder schliessen kann, so folgt, dass letztere nicht in Wirklichkeit Grün sehen und nur als Gelb bezeichnen, sondern dass sie eben nur Gelb empfinden. Dies widerspräche also der Young-Helmholtz'schen Theorie.“ Helmholtz*) behauptet, dass die Rothblinden nur Grün, Violett und Blau empfinden. Spectrales Roth müsse ihnen als gesättigtes, lichtschwaches Grün erscheinen; spectrales Gelb als lichtstarkes gesättigtes Grün, und weil es eben die lichtstärkere und gesättigte Abstufung dieser Farbe bilde, erscheine es erklärlich, dass darnach die Rothblinden den Namen der Farbe wählen und alle diese eigentlich grünen Töne gelb nennen.

Es klingt mir doch zu unwahrscheinlich, dass ich von irgend einem Gegenstande eine grüne Empfindung bekommen und diesen Gegenstand als gelb bezeichnen soll. Doch lässt sich damit die Helmholtz'sche Behauptung nicht widerlegen. Jedenfalls ist diese Erklärung aber nicht zutreffend für die anomale Farbenperception in der Peripherie des normalen Auges und für die acquise Farbenblindheit, soweit beide als Rothblindheit zu betrachten sind. Auch bei letzterer ist nicht annehmbar, dass die Patienten Grün sehen und als Gelb bezeichnen, da sie recht gut wissen, was grün und was gelb ist von der Zeit her, als ihre Augen noch normal waren und keine Farbenblindheit zeigten. Es ist nicht gut denkbar, dass sie vergessen haben könnten, welche Empfindung sie früher von Grün und welche Empfindung sie von Gelb gehabt hatten.

Wenn in solchen Fällen einfache Grünblindheit angenommen werden kann, ist die Erklärung leicht, da bei

*) l. c. 298.

dieser in der That Grün als Gelb erscheinen kann. Für die Fälle dagegen, wo wie bei mir, Rothblindheit sicher festgestellt ist, soll weiter unten eine Erklärung versucht werden.

Zu genauen Resultaten kann man bei diesen Versuchen nur dann kommen, wenn man den vielen Factoren, die hierbei ins Gewicht fallen, wie die äussere Beleuchtung, das von den Zimmerwänden reflectirte Licht, die Reinheit der benutzten Pigmentstückchen etc. gehörig Rechnung getragen hat. Ausserdem ermüdet das Auge bei diesen Versuchen leicht, wie denn überhaupt ohne wenigstens vorübergehende Beeinträchtigung des Sehorganes derartige Experimente kaum ausgeführt werden können.

Versuche mit dem Spectrum.

In letzter Instanz allein entscheidend für die Bestimmung der Art der Farbenblindheit sind die Versuche mit dem Spectrum. Dieselben wurden für mich von Herrn Professor Listing zu verschiedenen Malen angestellt und ich muss bemerken, dass die Aufzeichnung der einzelnen Daten und die Berechnungen sein Werk sind. Seiner Güte verdanke ich folgende Notiz:

„Aus Versuchen mit dem auf dem Spectrometer hergestellten durch das Fernrohr (subjectiv) beobachteten Spectrum der Sonne eines Flintglasprismas, sowie mit dem auf einen weissen Schirm projecirten Spectrum desselben Prismas ergaben sich nachstehende Resultate:

Herrn Hochecker's Auge sieht:

- 1) die hellste Stelle des Spectrums im Mittel aus mehreren Versuchen bei $D + 0,280$ (DE).

Für normale Augen liegt nach Fraunhofer die hellste Stelle bei $D + 0,297$ (DE).

Der Unterschied liegt innerhalb der Unsicherheit der einzelnen Beobachtungen und es kann daher angenommen

werden, dass hinsichtlich der von Herrn H. wahrgenommenen hellsten Stelle des Spectrums keine Anomalie stattfindet.

- 2) die untere Grenze (am rothen Ende) des Spectrums bei $C + \frac{1}{3}$ (CD)
- 3) die obere Grenze (am violetten Ende) bei $H' + 0,7$ (GH),
im sehr lichtstarken Sp. bei $H' +$ (GH)
im Mittel also bei $H' + 0,85$ (GH),
- 4) sieht dasselbe im ganzen Spectrum nur zwei Farben, nämlich Gelb und Blau. Anfang des Gelb und Ende des Blau sind sub 2 und 3 bestimmt.

Die Grenze zwischen Gelb und Blau fand sich im subjectiv gesehenen Spectrum

bei $b + 0,55$ (bF)

im objectiv gesehenen bei b

im objectiv gesehenen lichtstarken bei

$b + 0,33$ (bF),

- 5) erkennt dasselbe die Frauenhofer'schen Linien nur gegen Ende des subjectiven „Gelb“ und in der „blauen“ Region, nimmt also
nicht wahr A, a, B, C, D,
nimmt schwer wahr E, b, F
gut G
und sehr gut H, H' nebst mehreren unbenannten Linien des Ultraviolett.

Das ganze wahrgenommene Spectrum U V W besteht also aus einer „gelben Region“ U V und aus einer „blauen Region“ V W, deren Grenzen U, V, W aus den vorstehenden Daten der Versuche sich in absoluten Zahlen folgendermassen ergeben, wobei durch σ die Frequenzzahl der Aetherschwingungen in Billionen pro Sekunde, λ die Wellenlänge (in Luft oder leerem Raume) in Millionteln des Millimeters bezeichnet wird.

	σ	λ
„Gelb“ U . . .	471	633
„Blau“ V . . .	588	507
W . . .	808	396

Um diese Festlegung mit den für ein normales Auge geltenden Grenzen zu vergleichen, setze ich (Prof. Listing) die Wahrnehmbarkeit an Sonnenspectren derselben Art, wie sie bei vorstehenden Versuchen angewendet worden,

	σ	λ
für die untere Grenze (Anfang des Roth) u . . .	412	723
für die obere Grenze (Ende des Violett) w . . .	752	397

wobei die von mir evaluirten Zahlen für die Grenze der Farben des Sonnenspectrums*) zu Grunde gelegt sind.

Es stellt sich hiernach das individuelle Intervall U W gegen das normale u w als nach oben verschoben dar, so dass der

	σ	λ
Abgang an der unteren Grenze u U . . .	59	90
Zugang an der oberen Grenze w W . . .	56	28

beträgt, so jedoch, dass der Ort der hellsten Stelle sich an dieser Verschiebung nicht theiligt.

Der Betrag der Verschiebung der Grenzen des individuellen Spectrums kann bezogen werden auf jedes der drei Spectra, nämlich das dispersive, an welchem lediglich die Versuche angestellt worden, sodann auf das normale, dessen Intervalle durch die Wellenlänge λ gemessen werden, und endlich auf das ideale **), nach welchem aus den Frequenzahlen σ die absoluten chromatischen Abstufungen entnommen werden müssen.

I. Im dispersiven oder prismatischen Spectrum wachsen die Farbenräume stetig von Roth durch die

*) Pogg. Ann. 1867. 131. p. 570.

**) c. l.

Farbenscala bis zum Violett. Das Gesetz des Wachstums ist, wie die Dispersionsformeln zeigen, complicirt und abhängig von der Natur des Prismas. Für das bei unseren Versuchen benutzte Flintglasprisma darf das Verhältniss der rothen zur ultravioletten Region $= 5 : 14$ gesetzt werden, so dass sich also hier ergibt

$$u U : w W = 3 : 8.$$

II. Im normalen oder Diffractions-Spectrum nehmen die Farbenräume stetig von Roth zum Violett ab und zwar (unabhängig von dem angewandten Gitter) genau im Verhältniss der Wellenlänge λ . Hier stellt sich also heraus

$$u U : w W = 19 : 6.$$

III. Im idealen Spectrum sind die Farbenstufen unter einander gleich und unmittelbar durch die Frequenzahlen σ darstellbar.

Hier wird also

$$u U : w W = 20 : 19.$$

Die untere Grenze U schneidet, indem sie in die Region des Orange fällt, die ganze Stufe des Roth und $\frac{11}{27}$ von Orange ab, lässt also von Orange nur $\frac{16}{27}$ übrig.

Die obere Grenze W fügt im ultravioletten Theil des Spectrums die ganze Stufe der Lavendelfarbe und noch $\frac{2}{7}$ einer Farbenstufe zu dem für normale Augen wahrnehmbaren Ende des Spectrums hinzu, so dass also der individuelle Farbumfang „Gelb und Blau“ von U bis W die folgende Reihe von Farbenstufen normaler Augen umfasst:

$$\frac{16}{27} \text{ Orange} + \text{Gelb} + \text{Grün} + \text{Cyan} + \text{Indigo} + \frac{9}{7}$$

Stufe Ultraviolet

und der Abgang also $= \text{Roth} + \frac{11}{27} \text{ Orange}$

der Zugang $= \frac{9}{7}$ Stufe Ultraviolet ist.

Die Grenze V endlich betreffend, für welche $\sigma = 588$, $\lambda = 507$ gefunden wurden, so liegt dieselbe in der grünen Region so, dass sie davon nach unten $\frac{5}{8}$, nach

oben $\frac{3}{8}$ abschneidet. Und hiernach besteht also das individuelle Spectrum für Herrn Hocheckers Auge aus:

U V („Gelb“) = $\frac{16}{27}$ Orange + Gelb + $\frac{5}{8}$ Grün und

V W („Blau“) = $\frac{3}{8}$ Grün + Cyan + Indigo +

Violett + $\frac{9}{7}$ Ultraviolett,

wobei die hellste Stelle, wie im Spectrum des normalen Auges, mitten im Gelb liegt.

Die beiden individuellen Farberäume, chromatisch bemessen, verhalten sich

$$U V : V W = 100 : 210.$$

Wenn übrigens bei diesen Versuchen ein sehr lichtstarkes Spectrum hergestellt und alle übrigen Theile vorsichtig abgeblendet sind, so sieht auch ein normales Auge die violette Grenze so weit als ich oder noch weiter. Prof. Leber und Prof. Listing hatten die Güte, zur Constatirung dieses Punktes gemeinschaftlich denselben Versuch zur Benutzung für diese Arbeit anzustellen, und darnach ergab sich*)

1) Lichtstarkes Spectrum mit Flintglasprisma (35).

Prof. Leber setzte die Farbengrenze nach der Wahrnehmung seines Auges an eine Stelle, für welche (wenn, wie oben σ die Schwingungszahl in Billionen pro Zeitsecunde und λ die Wellenlänge in Milliontel Mm. bedeutet,

*) Die Bestimmungen wurden an dem projectirten Spectrum ausgeführt und können nur als ungefähre angesehen werden, haben also keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit der Zahlenwerthe; sie beweisen aber die Angaben qualitativ.

wo stets $\sigma\lambda$ = der constanten Grösse 298360000 Meter ist) sich ergibt

$$\sigma = 805, \lambda = 370.$$

Die Grenze des Spectrums überhaupt lag

für Prof. Leber bei $\sigma = 915, \lambda = 318,$

für Prof. Listing bei $= 897, = 332.$

2) Lichtstarkes Spectrum mit Quarzprisma (60°) die optische Axe des Quarzes in der Durchgangsrichtung.

Prof. Leber und Prof. Listing konnten die letzte Spur des Spectrums wahrnehmen an einer Stelle, für welche

$$\sigma = 1335, \lambda = 224.$$

Diese Stelle ist ungefähr 1 Octav und 1 Sext höher als das rothe (braune) Extrem des Spectrums.

Fassen wir den Befund am Spectrum noch einmal zusammen und ziehen wir die Schlüsse daraus.

Ich sehe also im ganzen Spectrum nur zwei Farben, die ich Gelb und Blau nenne. Von dem Roth des Spectrums nehme ich gar nichts wahr, da der Anfang der Farbe überhaupt von mir weit ins Orange hinein verlegt wurde; was darüber hinaus lag, erschien mir tief dunkelblau und konnte als Roth selbst in dem lichtstarken Spectrum meinem Auge nicht wahrnehmbar gemacht werden. Dass ich also die Linien A, a, B und C nicht sah, kann nicht auffallend erscheinen, aber sonderbar ist, dass ich einige Linien auch in den Theilen des Spectrums nicht sah, die ich doch als farbige erkannte, z. B. D. Nur mit Mühe und nur einige Male waren mir die Linien E, b und F sichtbar. Von hier an wurde es mir sehr leicht, die Linien in meiner „blauen“ Region zu erkennen.

Bekanntlich zeigen verschiedene Farbstoffe gewisse Absorptionsbänder im Spectrum und kann man einige darnach allein schon erkennen. Ich konnte von verschiedenen Lösungen, wie Carmin-Ammoniak, Hämatin,

Anilin, Chlorophyll, Biliverdin, deren Spectra ich zum grossen Theil falsch bezeichnete, nur die beiden Absorptionsbänder der Carmin Ammoniak-Lösung erkennen und zwar an derselben Stelle, wo sie auch ein normales Auge erblickte. Die Absorptionsbänder der übrigen Lösungen vermochte ich überhaupt nicht wahrzunehmen.

Die violette Grenze des Spectrums ist an meinem Auge jedenfalls nicht verkürzt, sondern um etwas hinausgerückt, gegenüber dem normalen Auge (von Professor Listing). Indessen schien mir auch der letzte Theil des Spectrums nicht mehr farbig, sondern nur einfach grau. Die äusserste wahrnehmbare Grenze hängt aber so viel von der Untersuchungsanordnung und von dem Unterscheidungsvermögen des Auges für Helligkeitsdifferenzen ab, dass es noch weiterer Untersuchungen bedürfte, um zu entscheiden, ob die für mein Auge bestimmte Grenze wirklich jenseits des für normale Augen giltigen Mittels gelegen ist.

Die Grenze des gelben und blauen Farbenfeldes lag für meine Augen im Mittel aus den drei angegebenen Bestimmungen bei $b + 0,29$ (b F), also im Blaugrün.

Es fand sich zwischen beiden keine Zone von weisser Farbe, die eine merkliche Breite hatte, wie dies von andern Farbenblinden angegeben wird. Das Gelb wird von der Stelle an, wo es am hellsten ist, nach dieser Grenze hin etwas matter, hört aber scharf abgeschnitten auf und die blaue Region beginnt. Ich habe diese Grenze zwischen den beiden Farben zu verschiedenen Malen bestimmt und immer coincidirten die einzelnen Bestimmungen mit der zuerst angegebenen Grenze.

Helmholtz giebt an: „Weiss im Sinne der Rothblinden ist natürlich eine Mischung ihrer beiden Grundfarben in einem bestimmten Verhältniss, welche uns grünblau erscheint, daher sie denn auch die Uebergangsstufen im Spectrum von Grün zu Blau für graue Farben

erklären. So lauten auch die Angaben von Seebeck, und die von Preyer untersuchten Farbenblinden nannten diese Stelle weiss, grau, unbestimmt. Es ist also auffallend genug, dass eine solche weisse Zone von meinem Auge nicht wahrgenommen wurde.

Noch auffallender aber ist der Umstand, dass für mich die hellste Stelle der gelben Zone und des ganzen Spectrums überhaupt nicht im Grünblau, oder Grün, sondern im Gelb gelegen ist.

Seebeck gibt an, dass Rothblinde die hellste Stelle des Spectrums nicht im Gelb, wie ein normales Auge, sondern im Grünblau sehen. Man muss dieses auch erwarten und Helmholtz begründet es indem er sagt: „Wenn die Erregung der grünempfindenden Nerven, wie wir voraussetzen müssen, im Grün am stärksten ist, wird für die Rothblinden das Maximum der gesammten Erregung etwas nach der Seite des Blau fallen, weil hier die Erregung der violett empfindenden Nerven steigt.“ Man braucht sich nur die drei Curven für die Grunderregungen zu construiren, um die Richtigkeit dieser Worte einzusehen.

Die Grünblinden verlegen nach Seebeck die grösste Helligkeit des Spectrums in das gelbe Feld, wohin sie auch ein normales Auge legt, nach Preyer in die Gegend von $C \left(\frac{2}{3} \right) D$, also Orange.

Aus der enormen Verkürzung des rothen Endes und dem vollständigen Fehlen des rothen Theils des Spectrums geht indessen mit Sicherheit hervor, dass mein Zustand als Rothblindheit zu betrachten ist. Es stimmen damit auch die Erscheinungen am Farbenkreisel und dem Rose'schen Farbenmesser überein, während man aus den Verwechslungen von Pigmenten schliessen könnte, dass ich theils roth-, theils grünblind sei.

Es bleibt nun hauptsächlich die Lage der hellsten Stelle im Spectrum zu erklären, die ich von keinem der früheren Beobachter für Rothblinde im Gelb angegeben finde.

(Indessen ist zu bemerken, dass ausser von Seebeck kaum auf diesem Punkt bei Untersuchung Rothblinder geachtet worden zu sein scheint).

Grünblinde unterscheiden sich in dieser Beziehung nicht von normalen Augen, doch ist es nicht möglich, für meine Augen ausser der sicher bewiesenen Rothblindheit auch noch Grünblindheit anzunehmen, da ich doch zwei Farben im Spectrum unterscheide.

Es leuchtet ein, dass mit der Annahme der gewöhnlichen Young-Helmholtz'schen Theorie obige Erscheinung am Spectrum nicht erklärt werden kann. Die Schwierigkeit scheint sich indessen auf der Basis der Young-Helmholtz'schen Theorie in einfacher Weise beseitigen zu lassen durch folgende Erklärung, welche mir von Prof. Leber angegeben wurde.

Gehen wir von der Beobachtung aus, dass ich im Spectrum nur zwei verschiedene Farben sehe, nämlich Gelb und Blau, so würde der einfachste Ausdruck der Thatfachen der sein, dass meine Farbenempfindungen sich alle auf zwei Grundempfindungen, Gelb und Blau zurückführen lassen. Wie schon oben angedeutet, nehmen wir an, dass die von mir als Gelb bezeichnete Empfindung wirklich dem Gelb und nicht dem Grün des normalen Auges entspricht. Es würde nun zur Erklärung genügen, wenn man annähme, dass mein Auge anstatt drei nur zwei verschiedene Nervenfasergattungen besitze, nämlich blau- oder violett empfindende und gelb empfindende Nerven. Die Erregungcurve der letzteren würde ihr Maximum im Gelb haben und nach dem Roth hin ziemlich steil abfallen.

Da indessen beim normalen Auge das Gelb als eine gemischte Empfindung angesehen werden muss, so ist es wahrscheinlicher, dass dies auch für das farbenblinde Auge sich ebenso verhält. Ist nun wirklich das Gelb des farbenblinden Auges dem des normalen gleich, so wird es wie bei diesem entstehen durch eine annähernd gleich starke Erregung der roth- und grünempfindenden, und durch eine sehr schwache Erregung der blau- oder violett empfindenden Nerven.

Dies lässt sich nun weiter mit der Annahme von Rothblindheit nur in der Weise vereinigen, dass man das Wesen der letzteren und der verschiedenen Arten von Farbenblindheit überhaupt nicht in dem vollständigen oder unvollständigen Fehlen einer Nervenfasergattung oder einer Grundempfindung sucht, sondern vielmehr in der Unempfindlichkeit einer oder mehrerer Nervenfasergattungen für gewisse Wellenlängen.

Wenn die roth- und grünempfindenden Nerven des Auges beide für rothes Licht unempfindlich, dagegen für gelbes Licht wie in der Norm annähernd gleich empfindlich sind, so ist die in Rede stehende Erscheinung erklärt, die Lage des Helligkeitsmaximum im Gelb trotz gleichzeitiger Rothblindheit ist vollkommen zu verstehen.

Weiter folgt aus dieser Vorstellung mit Nothwendigkeit, dass für den ganzen Theil des Spectrums, welcher gelb erscheint, die Erregung beider Nervenfasergattungen annähernd gleich sein muss, dass also wahrscheinlich das Maximum der Curve der grünempfindenden Nerven gegen das Gelb des Spectrums verschoben ist, also in entgegengesetzter Richtung, wie das Maximum für die rothempfindenden Nerven, das ebenfalls in die Gegend des Gelb fallen wird. Dagegen wird der Schnittpunkt der Curve der grün- und blauempfindenden Nerven an dieselbe Stelle wie beim normalen Auge, in

das Blaugrün fallen, auf diejenige Stelle des Spectrums, die dem fehlenden Roth complementär ist. Von diesem Durchschnittspunkte an müssen die Curven ziemlich steil abfallen, daher es denn auch zu erklären ist, warum ich an dieser Stelle keine Zone für mein Auge finde, die sonst von Farbenblinden als grau oder unbestimmt bezeichnet wird.

Es mag genügen, diese Erklärung hier angedeutet zu haben; es würde ohne Werth sein, den Verlauf der drei Intensitätscurven genauer angeben zu wollen, da hierfür keine Daten vorliegen. Nur dies sei erwähnt, dass im einzelnen Falle der Verlauf der Curven manche Abweichungen darbieten kann, und dass sich hieraus in einfacher Weise die vielen individuellen Verschiedenheiten erklären lassen, welche bei der angeborenen Farbenblindheit vorzukommen scheinen. Auch hat diese Hypothese den Vorzug, dass sie auf der Basis der allgemein anerkannten Young-Helmholtz'schen Theorie eine Erklärung für Thatsachen gibt, welche anfangs für völlig unvereinbar mit derselben zu sein schienen.

Weitere Untersuchungen einer grösseren Anzahl von Augen mit angeborener Farbenblindheit nach den angegebenen Gesichtspunkten werden vielleicht im Stande sein, diese Hypothese noch mehr zu bestätigen.

Ich glaube, dass auf diese Weise obige Erscheinung am einfachsten zu erklären ist, wenn man nicht die Young-Helmholtz'sche Theorie überhaupt verlassen und vier Grundempfindungen eintreten lassen will, nämlich Roth, Grün, Gelb und Violett. Wenigstens liessen sich damit alle Erscheinungen für mein Auge sowohl, als auch für andere Augen in genügender Weise erklären; freilich müsste man dann annehmen, dass für den Begriff der Complementärfarben je zwei und zwei zusammen gehörten.

Die Young-Helmholtz'sche Theorie ohne Modification ist, wie ersichtlich, für mein Auge nicht zutreffend.

Untersuchungen über den Farbensinn meines
farbenblinden Auges bei herabgesetzter
Beleuchtung.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass mit der Abnahme der Beleuchtung, also mit dem Eintritt der Dämmerung, ein Unvermögen eintritt, Farben richtig zu benennen und dass bei zunehmender Dunkelheit, also mit Einbruch der Nacht, die Fähigkeit für die Farberception überhaupt aufhört. Gegenstände aller Art, selbst ihre complicirten, feineren Contouren, vermögen wir oft noch zu unterscheiden, während wir über ihre Farbe im Unklaren sind. Es ändert sich bei abnehmender Beleuchtungsintensität zunächst Farbenton und Farbennuance der Pigmente; dann schwindet die Empfindung der Farbe überhaupt und es bleibt nur das Gefühl von Lichtdifferenzen übrig.

Auch für mein Auge stellte ich diese Versuche wiederholt an und gab den verschiedenen Pigmenten dabei folgende Namen. Es erschienen mir

Grün	}	Gelb
Weisslich-Gelb		
Gelbgrün	}	Grau
Goldgelb		
Schwefelgelb		
Weisslich Orange		
„ Grün		
„ Rosa		
„ Blau	}	
„ Violett		

Grasgrün	}	Blau
Cyanblau		
Indigblau		
Rosa		
Dottergelb	}	Schwarz.
Braunroth		
Zinnoberroth		
Zinnoberroth mit etwas weiss- licher Nuance		
Gelbroth		
Orange		
Purpur dunkel		
Purpur hell		
Violett		

Die hier angegebene Reihenfolge der Farben giebt auch zugleich die Stufe der Helligkeit an wie sie meinem Auge erschienen.

Mehrere normale Augen stellten denselben Versuch an mit 12 Farbenmustern*), die alle gesättigt waren.

Darnach ergab sich:

*) Die Ziffern geben den Grad der Helligkeit an.

N a m e der F a r b e n.	Aussehen bei herabgesetzter Beleuchtung.	Scheinbare Helligkeit (von 1—12 ab- nehmend.)	Wirkl. Hellig- keit bei Tage geschätzt.
Zinnoberroth	Schwarz 2	11	10
Scharlachroth	„ 1	10	8
Roth-Orange	Braungrau 2	9	4
Gelb-Orange	„ 1	6	2
Citrongelb	Gelblichgrau	2	1
Grasgrün	Grünlichgrau 2	3	6
Grün (Schweinf.)	„ 1	1	3
Cyanblau	„ 3	4	7
Indigblau (etwas dunkel)	„ 4	5	9
Violett (dunkel)	Grau 2	8	12
Dunkel Rosa (hell Purpur)	„ 1	7	5
Purpur (etwas dunkel)	Schwarz 3	12	11

In derselben Weise, also bei stark herabgesetzter Beleuchtung, wurde auch ein Versuch mit dem Spectrum angestellt, sowohl für ein normales wie für mein anomales Auge. Das interessante und soweit ich weiss neue Experiment gestaltet sich so:

Für das normale Auge bei stark herabgesetzter Beleuchtung erscheint das Roth und Gelb des Spectrums schon bedeutend dunkel mit ziemlich scharf abge- schnittener Grenze gegen das Grün, das hell erscheint und von Blau keinen Farbenunterschied mehr zeigt.*) Beide erscheinen Grau mit einem Stich ins Grünlich- blaue; das Blau und Violett erscheinen dunkler als das Grün. Die Verdunklung beginnt aber hier ganz all- mählig und nimmt immer mehr zu, sodass eine scharfe Grenze des Spectrums nicht zu gewinnen ist. Mein

*) Bei etwas geringerer Verdunkelung erkennt das normale Auge noch kleine Reste von Farbdifferenzen.

farbenblindes Auge verhält sich ganz ähnlich. Es erscheint mir gleichfalls das Roth und Gelb dunkel und die Grenze wird von mir ebenso eingestellt, wie vom normalen Auge. Nach links von dieser Grenze hat das dunkle Feld einen Stich ins Bläuliche, rechts davon erscheint das Grün gelblich. Auch der Anfang der stärkeren Verdunklung im Blau wurde ebenso eingestellt wie vom normalen Auge. Das noch übrig bleibende helle Feld erschien mir in toto gelb (dem normalen Auge grau mit Stich ins Grünlichblaue).

Die hellste Stelle in diesem Felde lag zwischen b und E, also im reinsten Grün.

Vergleichen wir die Befunde mit einander, so stellt sich heraus, dass für ein normales Auge und das meinige in Bezug auf die Beurtheilung der Farben bei einbrechender Dunkelheit sowohl bei Pigmenten, als auch am Spectrum, kein wesentlicher Unterschied Statt hat.

So scheint es, dass sich das normale Auge bei herabgesetzter Beleuchtung dem Zustande des farbenblindens Auges nähert, bis beide ungefähr bei derselben geringen Helligkeit vollkommen farbenblind geworden sind.

Die Farbenblindheit des normalen Auges bei herabgesetzter Beleuchtung unterscheidet sich aber in wichtigen Punkten von dem Zustande desselben in der Gesichtsfeldperipherie bei genügender Helligkeit und von dem Verhalten des wirklich farbenblindens Auges. Die Empfindlichkeit nimmt einmal nicht nur für Licht vom rothen, sondern auch vom violetten Ende des Spectrums erheblich ab, so dass das Auge zuletzt nur für Grün und einen Theil des Blau noch empfindlich ist. Die noch wahrgenommenen Theile des Spectrums rufen ferner nicht mehr ihre specifische Farbenempfindung hervor, sondern nur die Empfindung von Grau. Es müssen also dabei die drei verschiedenen Energien annähernd in

gleicher Stärke erregt werden, was nur in der Weise, ähnlich wie oben, zu erklären ist, dass die drei verschiedenen Nervenfasergattungen sämmtlich für schwaches Licht von den Enden des Spectrums unerregbar, für schwaches Licht von mittlerer Brechbarkeit aber nahezu gleich erregbar sind. An Fehlen einer Nervenfasergattung kann ja hier nicht gedacht werden, aber selbst eine völlige Unempfindlichkeit einer oder zweier, der roth- und der violett- oder blauempfindenden Fasern, würde die Erscheinungen nicht erklären.

Dass sich ein ähnliches Verhalten auch beim farbenblinden Auge einstellt, bedarf keiner weiteren Erklärung.

Dass an dem Leiden der Farbenblindheit nichts gebessert werden kann, versteht sich von selbst; doch giebt es, abgesehen von der Gewöhnung, farbige Gegenstände richtig zu benennen, in farbigen Gläsern ein Mittel, um wenigstens die Helligkeitsunterschiede richtig herauszufinden. Von den drei Farben 1) hellblau 2) dunkel violett, 3) Purpur, erscheint mir 1) am hellsten, dann folgt 2), dann 3).

Für ein normales Auge sind die Helligkeitsunterschiede: 1) und 3) fast gleich hell, vielleicht 3) noch etwas heller, dann folgt 2).

Durch ein rothes Glas gesehen waren die Helligkeitsunterschiede für mich gerade umgekehrt: 3, 2, 1 und zwar erschien mir 3 = hellroth, 2 = braun, 1 = tief dunkelblau.

Für Individuen, welche Farben unterscheiden müssen, können rothe oder sonst gefärbte Gläser von praktischem Nutzen sein, wie Professor Leber einen solchen Fall beobachtete.

Von Woinow*) wurde ein Fall mitgetheilt von einseitiger angeborener Farbenblindheit. Die Patientin

*) Arch. f. Ohp. XVII. 2. p. 246.

war eine 34 Jahre alte Frau aus der Schweiz, die auf dem rechten Auge grünblind war.

Ebenso werden einige Fälle berichtet von absolutem Defect des Farbensinns. So beschreibt Huddart*) einen Fall von einem Schuhmacher Harris, bei dem nur eine Spur von Farbenunterschieden vorhanden war

Donders**) erzählt einen Fall von wahrer Achromatopsie, welche an einem 21jährigen gebildeten jungen Manne beobachtet wurde. Bei starkem Licht war er geblendet, bei mässigem sah er gut. Im Freien waren alle Licht absorbirenden Gläser, sogar die von der grellsten Farbe, ohne Unterschied. Die grösste Helligkeit im Spectrum fand er zwischen D und E, ganz nahe an E, also im Grüngelb. Darnach besass also Patient (nach Donders) nur eine der drei Energien und zwar diejenige, welche durch den mittleren Theil des sichtbaren Spectrums am stärksten erregt wird.

Merkwürdig sind die Fälle von Farbenblindheit, bei welchen zugleich mangelhaftes Unterscheidungsvermögen für Töne existirt.***) Auch bei beiden Grünblinden, welche Preyer untersuchte, traf dies zu.

Was nun die Häufigkeit der Farbenblindheit betrifft, so fand Wilson im Durchschnitt 1 Farbenblinden unter 17,7 Personen. Unter einigen vierzig jungen Leuten aus den beiden obersten Klassen eines Gymnasiums fand Seebeck fünf, welche farbenblind waren. Wenn nun auch die Fälle bei uns nicht so häufig sind, wie in England, so giebt es doch auch hier zu Lande mehr solcher Individuen, als man gewöhnlich glaubt; es wird eben nicht darauf geachtet, wiewohl in

*) Phil. Trans. LXVII.

**) Klinische Monatsblätter f. Augenheilkunde von Zehender IX. Jahrgang 1871.

***) Darwin, Variation of animals and plants II. 328. London 1868.

manchen Fällen viel darauf ankommt. So hat schon Wilson darauf aufmerksam gemacht, wie gefährlich die Farbenblindheit auf Schiffen und Eisenbahnzügen werden könne, wo es darauf ankommt, farbige Signale zu erkennen.

Schliesslich möge noch eins bemerkt sein. Unter der grossen Zahl von Farbenblinden, die es überhaupt giebt und die wir näher untersucht finden, sehen wir verhältnissmässig wenig Frauen. Fälle von angeborener Farbenblindheit bei Frauen finden wir angeführt von Seebeck*) und von Woinow in dem Falle der erwähnten einseitigen Grünblindheit.

Die Mutter eines meiner Collegen, Stud. med. P. ist gleichfalls farbenblind. Selbst in den Fällen, wo mehrere Glieder einer Familie an diesem Gesichtsfehler leiden, pflegen die weiblichen Verwandten davon frei zu sein. Szokalski**), der dies gleichfalls anführt, bemüht sich, weitläufige Gründe dafür vorzubringen. Man könnte somit zu der Ansicht kommen, dass das weibliche Geschlecht überhaupt einen vollkommeneren Farbensinn habe, als das männliche. Zwar dienen, wie Seebeck sagt, die weiblichen Handarbeiten sehr zur Uebung des Farbensinns; allein diese Uebung würde selbst einen mässigen Mangel dieses Sinnes nur unvollständig ersetzen und da, wo zwei verschiedene Farben ganz gleich erscheinen, ohne Erfolg bleiben. Gerade diese Handarbeiten müssten, wenn jener Mangel bei Frauenzimmern öfter vorkämen, Gelegenheit zur Entdeckung desselben

*) l. c. Er findet einen Fall in Phil. Trans. LXVII. und einen zweiten in Medico-chirurg. Trans. of London IX. Auch erwähnt er einen Fall von Grünblindheit bei einer Frau auf dem rechten Auge.

**) Mémoire présenté à l'Académie des sciences de Paris. Essai sur les sensations des couleurs 1841. p. 95.

geben, während derselbe bei Männern gewöhnlich viel leichter unbemerkt bleiben kann.

Auch Sehnervenatrophie kommt nach Leber viel häufiger bei Männern, als bei Frauen vor. Unter 87 Fällen, welche er beobachtete, waren 63 Männer und 24 Weiber.

Dass Farbenblindheit sehr häufig erblich, ist von vielen Beobachtern constatirt. So bin auch ich in meiner Familie nicht der einzige Farbenblinde, sondern an demselben Fehler leiden drei Brüder meiner Mutter, ein Vetter von mir und ein Neffe. Auch bei dem erwähnten Stud. med. P. ist dies der Fall. Er selbst ist farbenblind, ferner seine Mutter und seiner Mutter Bruder; auch war es sein verstorbener Bruder.

In derselben Weise sind nach Leber*) Sehnervenleiden hereditär. Er führt vier Familien an, in welchen Sehnervenleiden erblich oder congenital angelegt waren.

*) Arch. f. Oph. XVII, 2.