

Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.

Von Dr. E W A L D H E R I N G,
Prof. der Physiologie in Prag.

I.

Obwohl die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes der Farbentüchtigen, d. h. der mit vollständigem Farbensinn Begabten, z. Th. sehr bedeutende sind, ist denselben doch bis jetzt wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden, sofern es sich nicht um jene grossen Abweichungen handelte, welche die Ophthalmologen als pathologische Schwäche des Farbensinnes zu beschreiben pflegen. Dagegen sind die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes der Rothgrünblinden vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen, weil die Anhänger der Dreifarben-Theorie bemüht waren, diese Farbenblinden in zwei Gruppen zu sondern und als „Roth- und Grünblinde“ zu unterscheiden.

Ich habe im Laufe der Jahre Gelegenheit gehabt, an Farbentüchtigen eine grössere Reihe hieher gehöriger Erfahrungen zu sammeln, deren Hauptergebnisse ich hier in der Kürze mittheilen will, um daran zugleich gewisse individuelle Verschiedenheiten der Rothgrünblinden kurz zu erläutern. Ich komme damit einem Versprechen nach, welches ich in dem von mir in diesem Jahrbuche veröffentlichten Vortrag über Farbenblindheit gegeben habe, und dessen Erfüllung ich eigentlich einer grösseren Schrift über die Lehre vom Lichtsinn vorbehalten wollte. Aber der Umfang des Gegenstandes erheischt mehr Musse, als mir gewährt war, so dass die Vollendung der begonnenen Arbeit wohl noch längere Zeit in Anspruch nehmen wird.

Die Entwicklung der Lehre vom Lichtsinn wird vielfach dadurch erschwert, dass gerade auf diesem Gebiete nicht bloß Abhandlungen solcher Forscher veröffentlicht werden, die in der Lage waren, das Gebiet der hierher gehörigen Thatsachen gründlich durchzuarbeiten, sondern dass auch viele Andere, von dem Reize des Gegenstandes angezogen, über einzelne Sonderfragen das Wort ergreifen, deren richtige Beantwortung ohne genaue Kenntniss des Uebrigen sehr schwer ist. So dankenswerth und vielfach anregend diese Mittheilungen auch sein können, besonders dann, wenn es sich um wirklich eigenartige Arbeiten handelt, so berechtigt erscheint doch anderseits der Wunsch, es möge sich auch in der Sinnenphysiologie der in den exacten Wissenschaften herrschende Gebrauch einbürgern, nach welchem ein gründliches Studium des Zweiges der Wissenschaft, auf welchem man als Forscher oder Kritiker auftreten will, als unerlässliche Grundlage für diese Thätigkeit betrachtet wird. Als ich seinerzeit nach jahrelanger eingehender Untersuchung die Grundzüge einer Theorie des Licht- und Farbensinnes entwarf und in ihren Hauptpunkten kurz mittheilte, habe ich nicht geahnt, dass man aus der Kürze meiner Mittheilungen auf eine gleiche Kürze meiner Beschäftigung mit dem Gegenstande schliessen werde. Jetzt, nachdem ich gesehen habe, wie unvorbereitet Manche über die hier vorliegenden Fragen aburtheilen, begreife ich derartige Schlüsse. Man hat kein Bedenken getragen, meine Theorie als ein auf ganz einseitiger Methode beruhendes „willkürliches Schema“ zu bezeichnen, weil man keine Ahnung hatte von der Fülle der Thatsachen, die sich für dieselbe vorbringen lassen. Die Beweise für die wesentliche Richtigkeit der Theorie der Gegenfarben liegen meiner Ansicht nach überall am Wege. Aber um sie zu sehen, muss man freilich diese Wege selbst begehen und nicht bloß aus den Büchern kennen zu lernen suchen.

Die Lehre von den Sinnesempfindungen darf wohl darauf Anspruch machen, als eine besondere Disciplin angesehen zu werden. Mehr als auf manchem andern Gebiete der Wissenschaft erfordert hier schon die Feststellung des Thatsächlichen, ganz abgesehen von deren theoretischer Verwerthung, eine gewisse Erfahrung. Dies gilt schon von solchen Beobachtungen, die der Forscher an sich selbst anstellt, noch viel mehr aber von den Untersuchungen, die er an Anderen ausführt. Ohne Bekanntschaft

mit den hier sehr zahlreichen Fehlerquellen, deren genaue Kenntniss man nur durch vielseitige Beschäftigung mit dem Gegenstande erwerben kann, sind manchmal brauchbare Versuchsergebnisse überhaupt unmöglich. Ich will nur zwei Beispiele anführen, welche in überraschender Weise lehren, wie grosse Fehler hier selbst bei guten Beobachtern vorkommen können.

Unter Leitung von Donders hat van der Weyde¹⁾, welcher rothgrünblind ist und welchen Donders²⁾ als einen der besten Beobachter bezeichnet, Farbengleichungen für sein eigenes Auge hergestellt. Er mischte u. A. gelbes Licht von der Wellenlänge $582 \mu\mu$ mit blauem Licht von der Wellenlänge $431 \mu\mu$ in solchem Verhältniss, dass es dem gelblich-grünen Lichte von $548 \mu\mu$ Wellenlänge (Linie *E*) bei passender Intensität des letzteren ganz gleich erschien, was bei allen Rothgrünblinden möglich ist. Die Gleichung kam zu Stande, wenn die relativen Breiten der drei Collimatorspalte, von welchen die einzelnen homogenen Lichter geliefert wurden, folgende waren:

für Grün	= 100
für Gelb	= 113,5
für Blau	= 29,5

Die Maasseinheit für die Spaltbreiten war, so viel ich sehe, $0,005 \text{ mm}$.

Als aber van der Weyde die Intensität des Lichtes, welches alle drei Spalte zugleich beleuchtete, mittels zweier Nicol'scher Prismen verminderte, galt die Gleichung nicht mehr, vielmehr erforderte jede neue Intensitätsstufe der Beleuchtung eine andere Einstellung der Spaltbreiten. Als endlich die Intensität der Beleuchtung auf $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen herabgemindert wurde, waren zur Herstellung der Gleichung folgende Spaltbreiten nöthig:

für Grün	34,5
für Gelb	32
für Blau	101,01

Die relativen Intensitäten der von den drei Spalten gelieferten Lichter waren also bei der Herstellung der zweiten Gleichung in doppelter Weise verändert worden: erstens durch Herabsetzung der Intensität der gemeinschaftlichen Beleuchtung, zweitens durch

1) Arch. f. Ophthalm. XXVIII. 2. S. 2.

2) Noch einmal die Farbensysteme. Arch. f. Ophthalm. XXX. 1. S. 78.

Aenderung der bezüglichlichen Spaltbreite. Setzen wir die Intensität der Beleuchtung bei Herstellung der ersten Gleichung = 1 und jede einzelne Intensität der drei durch die einzelnen Spalte eingetretenen Lichter der zugehörigen Spaltbreite proportional, so waren also in der ersten Gleichung:

$$100 \text{ Grün} = 113,5 \text{ Gelb mit } 29,5 \text{ Blau.}$$

Bei Herstellung der zweiten Gleichung aber waren

$$\frac{34,5}{4} \text{ Grün} = \frac{32}{4} \text{ Gelb mit } \frac{101}{4} \text{ Blau d. i.}$$

$$8,625 \text{ Grün} = 8 \text{ Gelb mit } 25,2 \text{ Blau.}$$

Wie man sieht, war im zweiten Versuche die absolute Intensität des blauen Lichts nahezu dieselbe wie im ersten, die Intensitäten der beiden anderen Lichter aber waren in beiden Versuchen ausserordentlich verschieden.

Das Verhältniss der Maasseinheiten des blauen Lichts zu denen des gelben war im zweiten Versuche beiläufig $1 \frac{1}{3}$, im ersten beiläufig 1 4. Also dieselbe Menge blauen Lichtes musste im ersten Versuche mit einer etwa zwölfmal grösseren Menge gelben Lichtes gemischt werden, als im zweiten, wenn eine Gleichung mit dem grünen Lichte möglich werden sollte.

Diese angebliche Thatsache ist unerhört für jeden, der sich mit der Herstellung von Farbengleichungen für Farbenblinde oder Farbentüchtige beschäftigt hat. Denn bisher haben Alle, welche in dieser Richtung gearbeitet haben, dies unter der Voraussetzung gethan, dass die Newton'sche Mischregel oder die sogenannte Schwerpunktconstruction, wenn nicht genau, so doch angenähert richtig ist, und diejenigen, welche die Regel experimentell prüften, fanden sie jedenfalls insoweit richtig, als die etwaigen Abweichungen nur geringfügig waren. Wie wäre man auch sonst im Stande, eine Farbengleichung aus der andern abzuleiten und die „Farbentafel“ der Farbentüchtigen oder die „Farbenlinie“ der Farbenblinden zu construiren? Von der ganzen Newton'schen Mischregel könnte für Farbenblinde gar nicht mehr die Rede sein, wenn dieselbe, wie dies van der Weyde durch eine ganze Reihe von Beispielen zu belegen versucht hat, je nach der Intensität der benutzten Lichtquelle so gewaltig verschiedene Gleichungen einstellen würde.

Wenn man bei einer gegebenen Intensität der Lichtquelle einem Collimatorspalte die Breite 1 gibt, und mindert sodann die Intensität des von der Lichtquelle zum Spalte gelangenden Lichtes durch Einschaltung zweier Nicol auf die Hälfte, so ist der Erfolg für das Spectrum derselbe, als wenn bei ungeänderter Beleuchtung die Breite des Collimatorspaltes auf die Hälfte herabgesetzt würde. Van der Weyde hätte daher eigentlich ganz dasselbe Ergebniss erhalten müssen, wenn er nur die Spaltbreiten entsprechend variirt, die Nicol aber weggelassen hatte. Nun erwäge man folgende von ihm gefundene Gleichungen:

Intensität der Lichtquelle	Spaltbreite für		
	Grün	Blau	Gelb
1,00	100	= 29,5	+ 113,5
0,58	87,5	= 51,5	+ 91,5
0,25	34,5	= 101	+ 32

Denkt man sich die Intensität der Beleuchtung unverändert, dafür aber die in obigen Gleichungen angeführten Spaltbreiten beim zweiten Versuche auf 0,58 und beim dritten auf 0,25 der anfänglichen herabgemindert, so lauten die drei Gleichungen

$$\begin{array}{rcl}
 100 & \text{Grün} = 29,5 & \text{Blau} + 113,5 & \text{Gelb} \\
 50,75 & = 29,7 & + & 53,07 \\
 8,62 & \text{„} = 25,2 & \text{„} + & 8 \quad \text{„}
 \end{array}$$

das heisst also, wenn nach Einstellung der ersten Gleichung die Intensität des Grün auf der einen und die des Gelb auf der andern Seite der Gleichung beiläufig um die Hälfte vermindert wurde, so blieb die Gleichung bestehen, obwohl die Intensität des Blau nicht geändert worden war, und wenn die Intensität des Grün einerseits und die des Gelb andererseits auf beiläufig ^{1,12} vermindert wurde, so bestand auch dann noch die Gleichung angenähert fort, und es genügte eine relativ geringfügige Aenderung der Intensität des Blau, um die Gleichung wieder genau zu machen.

Wäre dies richtig, so würden die von van der Weyde mitgetheilten Versuchstabellen und die von ihm entworfenen sogenannten Intensitätscurven für „dichromatische Systeme“ gar keinen Werth, ja die Mittheilung derselben eigentlich nicht einmal einen Sinn haben. Denn wenn ein Rothgrünblinder zu einer und derselben Quantität Blau bald diese bald jene Menge gelben Lichtes mischen und doch immer eine Gleichung mit einem und

demselben dritten, in Betreff seiner Wellenlänge zwischen jenem Gelb und Blau stehenden Lichte erhalten kann, so darf man alle bisher an Farbenblinden gewonnenen Gleichungen und also auch den grössten Theil der Arbeit van der Weyde's ruhig ad acta legen.

Aber van der Weyde ist sogar geneigt, ein ähnliches Verhalten, wie für Farbenblinde, auch für Farbentüchtige anzunehmen und bezieht sich dabei auf eine Beobachtung von Donders und Wälchli. Wenn heute Jemand zu beweisen versuchen würde, dass die Atomgewichte sich mit dem absoluten Gewichte ändern, so könnte dies für den Chemiker nicht weniger überraschend sein als die Behauptungen van der Weyde's für den Physiologen sind. Denn wären sie richtig, so müsste, wie dort die Chemie, so hier die Lehre vom Farbensinne wieder von vorn beginnen.

Glücklicherweise aber verhält sich die Sache, wie ich kaum zu sagen brauche, gar nicht so, wie van der Weyde glaubt. Die Newton'sche Mischregel gilt für Farbenblinde wie für Farbentüchtige. Eine Farbengleichung, welche einmal ganz genau und mit allen Cautelen eingestellt ist, bleibt bestehen, wenn man die Intensität sämmtlicher benutzter Einzellichter in demselben Verhältniss vermehrt oder vermindert. Ich selbst habe hierüber zahlreiche Versuche angestellt, sowohl mit Pigmenten als mit Spectralfarben, weil ja doch die Constanz der Gleichungen bei Variirung der Gesammthelligkeit die Grundlage aller hieher gehörigen Untersuchungen bildet. Ich habe Gleichungen für Farbentüchtige und solche für Farbenblinde darauf untersucht und die Helligkeit im Verhältniss von 1 zu 50 variirt, ohne dass die Gleichung dadurch eine Störung erfahren hätte. Wie van der Weyde zu seinen sonderbaren Ergebnissen gekommen, lässt sich nur vermuthen. Nahe liegt die Annahme, dass die beiden Nicol, welche er zwischen den Collimator und die Lichtquelle setzte, eine zu geringe Oeffnung hatten, um trotz der Drehung des einen die drei Spalte des Collimatorrohres immer gleichmässig zu beleuchten. Man muss bedenken, dass zwei von den drei Spalten sehr weit von einander abstehen mussten, und dass also relativ sehr grosse Nicol nöthig gewesen wären, um alle drei Spalte bei allen Lagen des drehbaren Nicol gleichmässig mit Licht zu füllen. Van der Weyde erwähnt gar nicht, dass er hierauf irgendwelche Rücksicht genommen. Ich habe in meinem Laboratorium seiner-

zeit mit zwei sehr grossen Nicol am Donders'schen Spectroskop die Versuche van der Weyde's demonstrirt zum warnenden Beispiele dafür, wie man derartige Versuche nicht machen dürfe.

Mit dem Gesagten wollte ich gegen van der Weyde weiter keinen Vorwurf erheben, denn für ihn als einen Anfänger auf diesem Gebiete handelte es sich hier nur um das Uebersehen einer Fehlerquelle. Vielmehr wollte ich zeigen, wie ein auf diesem Gebiete noch nicht hinreichend erfahrener Beobachter Versuchsergebnisse ruhig hinnehmen und veröffentlichen kann, die den Erfahrenen sofort zum Aufsuchen der Fehlerquelle veranlasst hätten.

Van der Weyde wusste offenbar nicht, dass seine vermeintlichen Ergebnisse Newton's Mischregel nicht etwa nur als nicht ganz richtig hinstellen, sondern überhaupt ganz umstossen. Wäre ihm gegenwärtig gewesen, was eigentlich die Construction einer Farbentafel oder einer Farblinie für Farbenblinde bedeutet, so hätte ihm auffallen müssen, dass seine Ergebnisse, falls sie richtig wären, jede Construction einer solchen illusorisch machen würden. Davon, dass das bei den genannten Untersuchungen benutzte Spectroskop die Herstellung genauer Farbengleichungen nicht ermöglicht, weil es viel zu schmale Vergleichsfelder liefert und keine genügende Deckung zweier Farben von erheblich verschiedener Brechbarkeit gibt, will ich hier ganz absehen. Denn ich glaube nicht, dass selbst ein Ungeübter mit jener Methode, vorausgesetzt dass er die Nicol weglässt, so grosse Fehler machen könnte, wie in van der Weyde's Untersuchung anzunehmen sind.¹⁾

-
- 1) Unser Institut besitzt ein Spectroskop mit dem von Donders angegebenen Spaltapparate seit dem Herbst 1881. Zur Herstellung von Farbengleichungen für Ungeübte fand ich den Apparat nicht brauchbar; selbst dem Geübten gibt er nur Resultate, welche den nach anderen längst bekannten Methoden der Farbenmischung gewonnenen an Genauigkeit weit nachstehen. Der sinnreich construirte Spaltapparat ist übrigens sehr verwendbar. Ich benutzte ihn unter anderen, um Helligkeitsvergleichen zwischen verschiedenen Spectralfarben anzustellen. Adaptirt man das Fernrohr durch Entfernung des Oculars und Herstellung eines feinen Ocularspaltes für die Maxwell'sche Methode der Farbenmischung, spiegelt das Himmelslicht in den Collimator, an welchem nur zwei Spalte offen bleiben, und bringt zwischen Spiegel und Fenster einen schwarzen verticalen Stab,

Ich komme zu einem andern Beispiele. A. König hat neuerdings den Ophthalmologen einen Apparat zur Untersuchung der Farbenblindheit empfohlen, welchen er als Ophthalmoleukoskop bezeichnet.¹⁾ Es scheint, dass ihm, der weder Physiolog noch Ophthalmolog ist, der nach ganz demselben Principe gebaute und zu demselben Zwecke empfohlene Farbenmesser von E. Rose unbekannt geblieben ist, was um so leichter möglich war, als dieser Apparat keine grössere Verbreitung gefunden zu haben scheint. Er wurde von E. Rose im Jahre 1863 beschrieben und hat auch in den Nachträgen zur physiologischen Optik von Helmholtz Berücksichtigung gefunden.²⁾ Unser Institut besitzt einen solchen Farbenmesser schon längere Zeit und ich habe ihn öfters bei Farbenblinden in Anwendung gebracht.

König's Ophthalmoleukoskop wie auch der Farbenmesser zeigen dem Beobachter zwei nebeneinander erscheinende quadratische, stets complementäre Farbenfelder, deren Farben durch Drehung eines Nicols stetig geändert werden können, so dass man dabei immer neue complementäre Farbenpaare oder richtiger gesagt Paare von complementären Mischlichtern zur Ansicht bekommt. In beiden Apparaten passirt das weisse Tageslicht, welches die Farben erzeugt, eine rechteckige Oeffnung, sodann ein doppelbrechendes Prisma, dann eine Quarzplatte und endlich das erwähnte drehbare Nicol'sche Prisma (Ocularnicol), aus welchem es in's Auge des Beobachters tritt. Im König'schen Instrumente befindet sich überdies zwischen dem doppelbrechenden Prisma und der Quarzplatte eine Sammellinse, in deren Brennweite die rechteckige Oeffnung liegt, und zwischen dem Auge und dem Nicol'schen Prisma ein kleines Fernrohr. Dies hat den

so sieht man den letzteren durch den Ocularspalt doppelt auf dem in der Mischfarbe leuchtenden Grunde. Das eine Stabild erscheint in der Farbe des einen, das andere in der des andern der beiden gemischten homogenen Lichter. Stellt man ferner vor das Prisma ein passendes Diaphragma und regelt die Dicke und Entfernung des schwarzen Stabes so, dass seine beiden Bilder einander unmittelbar berühren und überdies das ganze Gesichtsfeld ausfüllen, so erscheint jede Hälfte des letzteren in einer der beiden erwähnten Farben. Durch Regelung des Doppelspaltes kann man dann ihre scheinbare Helligkeit gleich machen.

1) Centralbl. für pract. Augenheilk. 1885. Decemberheft.

2) Handbuch der physiol. Opt. S. 847.

Vortheil, dass man zwei viel grössere farbige Vergleichsfelder erhält, als durch das Rose'sche Instrument. Dagegen fehlt dem Leukoskope von König ein wesentlicher Bestandtheil des Farbenmessers, nämlich ein zweiter Nicol (Objectivnicol), welcher sich im Rose'schen Farbenmesser noch vor der quadratischen Oeffnung befindet, und das in die letztere eintretende Licht zuvor polarisirt. Die Quarzplatte des Farbenmessers hat 5 mm Dicke, dem Leukoskope dagegen sind zwei Quarzplatten von je 5 und 10 mm Dicke beigegeben, welche man beliebig einzeln oder vereint einsetzen kann.

Bei der Untersuchung Farbenblinder mittels des Rose'schen Instrumentes stellt man zuvor für sein eigenes Auge den Ocularnicol so ein, dass die beiden Felder möglichst rein roth und grün erscheinen. Sodann gibt man durch passende Stellung des Objectivnicols beiden Feldern gleiche scheinbare Helligkeit. Hierauf lässt man den Farbenblinden zunächst die Stellung des Ocularnicols so corrigiren, dass ihm beide Felder möglichst farblos erscheinen, ohne Rücksicht darauf, ob sie ihm eine verschiedene Helligkeit zeigen oder nicht. Wenn man einen intelligenten Farbenblinden anweist, das Instrument so einzustellen, dass keines der beiden Felder noch eine Spur von Gelb oder Blau zeigt, so kommt man leicht sofort zum Ziele, vorausgesetzt dass das benutzte Mischlicht nicht selbst schon eine ausgesprochene Farbe hat. Denn mit einem solchen Farbenblinden verständigt man sich leicht darüber, was er unter farblos zu verstehen hat. Sind die beiden Quadrate auf Farblosigkeit eingestellt, so gilt es nun, da sie hierbei dem Farbenblinden noch verschieden hell erscheinen, auch die scheinbare Helligkeit beiderseits gleich zu machen. Dies geschieht mittels des Objectivnicols, welcher sich vor der quadratischen Oeffnung befindet. Nachträglich macht sich dann meist noch eine kleine Correctur am Ocularnicol zur Herstellung völliger Gleichheit beider Felder nöthig.

Bei solchen Farbenblinden, denen man nicht beibringen kann, worauf es bei der Einstellung eigentlich ankommt, findet man Schwierigkeiten. Noch viel grösser werden diese, wenn der Untersuchende selbst noch nicht aus vielfachem Verkehr mit verschiedenen Farbenblinden gelernt hat, die eigenthümlichen und individuell verschiedenen Bezeichnungen zu verstehen, welche sie für ihre Empfindungen zu gebrauchen pflegen. Da zwei

Nicol passend einzustellen sind, so sind begreiflicher Weise die Combinationen so zahllos, dass, wenn nicht ganz systematisch vorgegangen wird, schliesslich der Farbenblinde die Untersuchung abzukürzen sucht, oder infolge der localen „Ermüdung“ oder Adaptation seines Auges das gleich sieht, was er von vorn herein sehr ungleich gesehen haben würde.

Rascher kommt man bei intelligenten Farbenblinden mit Königs Apparat zum Ziele, welches Ziel jedoch hier nicht die Herstellung einer wirklichen Gleichung sein, sondern nur dahin gehen kann, den Nicol so einzustellen, dass beide Farbfelder farblos erscheinen. Dieselben haben dann, wenn man die Quarzplatte von 5 oder 10 mm benutzt, sehr verschiedene Helligkeit. Da dem Leukoskop der zweite Nicol fehlt, welcher das Licht vor dem Eintritt in das Instrument polarisirt, so kann man auch nicht die Helligkeit beider Felder gleich machen, also im Allgemeinen überhaupt keine Gleichung herstellen. Bei Anwendung sehr dicker Quarzplatten werden die Farben weisslich und schliesslich so wenig gesättigt, dass dann überhaupt weniger die schwachen Färbungen als vielmehr die Helligkeiten beider Quadrate in Betracht kommen und unter Umständen wohl scheinbare Gleichheit der beiden Felder für Farbenblinde erzielt werden kann, was ich nicht weiter untersucht habe.

König gibt nun auf Grund der Untersuchung von 50 Rothgrünblinden an, dass dieselben mit seinem Apparate „durch passende Einstellung des Ocularnicols Gleichheit beider Felder erzielen“ und zwar sowohl bei 5 als bei 10 oder 15 mm Dicke der Quarzplatte. ¹⁾

Da ich aus meinen Versuchen mit dem Rose'schen Farbmesser sowie aus zahlreichen anderen Versuchen an Farbenblinden bereits wusste, dass hier ein Irrthum vorliegen müsse, liess ich das König'sche Instrument kommen und fand, wie zu erwarten war, dass es den von mir untersuchten Farbenblinden ganz unmöglich war, bei 5 oder 10 mm Quarzdicke die Gleichheit der beiden Felder herzustellen; als Lichtquelle diente ein vom Himmelslichte gut beleuchtetes weisses Papier (Barytweiss). Erschienen beide Felder farblos, so war die Helligkeitsdifferenz

1) Centralblatt für prakt. Augenheilk. 1884, Decemberheft.

eine ganz auffällige. Nur einmal kam es vor, dass ein Farbenblinder angab, dass bei der von ihm gemachten Einstellung beide Felder gleich seien. Da ich seinen Farbensinn bereits genau untersucht hatte, war ich sehr überrascht und sagte erstaunt: „Das sehen Sie als gleich?“ Worauf er erwiderte: „Ganz gleich natürlich nicht, denn das eine ist hell und das andere dunkel, aber die Farbe ist gleich, beide sind eben weiss.“

Ich habe mich gefragt, wie König zu einem so abweichenden Ergebnisse kommen konnte, und vermuthete, dass einerseits die benützten Helligkeiten zu gross waren, und dass andererseits den Farbenblinden ohne weitere Auseinandersetzung die Aufgabe gestellt wurde, solange einzustellen, bis ihnen beide Quadrate gleich erscheinen.

König gibt an, dass die Farbenblinden, „sowohl bei einfallendem Gaslicht als auch bei Sonnenlicht (am besten ist das diffuse Licht des bedeckten Himmels zu benutzen) eine Gleichheit beider Felder erzielen konnten.“ Dieser Wortlaut, sowie die freie Beweglichkeit des Instruments mittels eines Nussgelenkes macht es mir wahrscheinlich, dass König das Instrument direct nach dem Himmel richten liess.

Das gibt eine hier unzuweckmässige Helligkeit. Man muss bedenken, dass wenn man zwei relativ kleine leuchtende Felder im sonst ganz dunklen Gesichtsfelde nebeneinander sieht, Helligkeits-Differenzen derselben überhaupt viel schwerer unterschieden werden, als unter gewöhnlichen Umständen, wie viel mehr dann, wenn beide Felder übermässig hell sind. Ferner verschwinden selbst relativ bedeutende Helligkeitsdifferenzen der beiden Felder unter den genannten Umständen bei längerer Betrachtung vollständig, auch wenn sie bei Beginn der Betrachtung ganz deutlich erkennbar waren.

Ueberhaupt werden, wie jeder mit der Herstellung von Farbgleichungen Vertraute wissen wird, zwei einander berührende und noch nicht ganz gleiche kleine leuchtende Felder im sonst dunklen Gesichtsfelde allmählich ganz gleich, wenn man sie länger betrachtet.

Hieraus liesse sich erklären, dass die von König untersuchten Farbenblinden Helligkeitsdifferenzen nicht gesehen hätten, die sie sofort bemerkt haben würden, wenn sie mit vollständig ausgeruhtem Auge die angebliche Gleichung nochmals betrachtet hätten.

Aber die Helligkeitsdifferenzen, um die es sich hier handelt, sind abgesehen von besonderen Fällen so grosse, dass mir diese Erklärung noch nicht genügen will. Deshalb vermuthe ich, dass König den Farbenblinden ohne weitere Erläuterungen die Aufgabe stellte, den Ocularnicol auf Gleichheit beider Felder einzustellen, und dass die Farbenblinden diejenige Stellung suchten, bei welcher beide Felder in der gleichen Farbe, wenn auch mit verschiedener Helligkeit erschienen, da eine Gleichheit derselben überhaupt nur in diesem Sinne möglich war. Auch bei der sogenannten Wollprobe legen bekanntlich die Farbenblinden oft ohne Weiteres diejenigen Wollfäden als gleich zusammen, welche für sie die gleiche Farbe haben, auch wenn ihnen dieselben verschieden hell erscheinen.

Wie dem auch sei, es steht fest, dass hier ein in seinem Fache vertrauenswürdiger und exacter Beobachter eine Thatsache zu finden glaubte, deren Unrichtigkeit sehr leicht darzuthun ist und welche, wenn sie richtig wäre, die ganze Lehre von der Farbenblindheit auf eine andere Grundlage stellen würde.

Ich habe diese beiden Beispiele ausgewählt, weil sie zeigen, wie leicht man auf diesem Gebiete aus Mangel an genügender eigener Erfahrung einem Irrthume verfallen kann, der von vornherein ausgeschlossen scheint. Andere Beispiele könnte ich anreihen.

II.

Um zu erfahren, welche Farben von Anderen als reines Roth, Gelb, Grün und Blau bezeichnet werden, prüfte ich seinerzeit daraufhin eine grössere Anzahl von Personen. Schon damals fiel mir auf, dass auch von denen, welche die nöthige Uebung im Unterscheiden von Farben und eine genügende Fähigkeit besaßen, sich genau und treffend auszudrücken, ziemlich verschiedene Pigmentfarben als ganz reine Farben bezeichnet wurden, und zwar betrafen diese Verschiedenheiten insbesondere das Roth, Grün und Grau. Der Eine bemerkte in diesen Farben noch deutliches Blau, wo ein Anderer schon reines Roth, Grün oder Grau sah und ein Dritter gar schon deutliches Gelb bemerkte. Ich hatte keine Gelegenheit dies näher zu untersuchen, bis im Jahre 1876 Dr. Biedermann als Assistent eintrat, welchen ich

nun bei jeder passenden Gelegenheit zu einer Vergleichung seiner Farbenempfindungen mit den meinigen heranzog. Dabei stellte sich eine auffallende Verschiedenheit unseres Farbensinnes heraus und zwar in mehrfachen Beziehungen. Später trat auch Dr. Singer als Assistent ein und zeigte im Vergleich mit Dr. Biedermann eine noch grössere Verschiedenheit seines Farbensinnes als ich selbst, jedoch in demselben Sinne, so dass ich gleichsam zwischen Beiden stand.

Da der Farbensinn der übrigen farbentüchtigen Personen, welche ich mehrfach untersucht habe, sich in ganz denselben Richtungen verschieden zeigte, in welchen sich der Unterschied zwischen B. und S. geltend machte, und nur der Grad der Verschiedenheit veränderlich war, so beschränke ich mich im Wesentlichen auf Darlegung der zwischen B. und S. bestehenden Verschiedenheiten, und zwar insbesondere auf diejenigen, welche so auffallend und erheblich waren, dass die zahlreichen Nebenumstände, welche zu Täuschungen Anlass geben können, ohne wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Untersuchung bleiben mussten.

Die schön gesättigten rothen Papiere, welche gegenwärtig im Handel sind, zeigen nicht das reine Roth, sondern haben mehr oder weniger einen Stich in's Gelbe. Sie sind nämlich günstigsten Falls mit solchen Pigmenten gefärbt, welche im Spectroskope wesentlich nur das langwelligste Licht bis mehr oder weniger in's Gelbe hinein zeigen. Das spectrale Roth selbst erscheint, wie ich schon in meinen Mittheilungen zur Lehre vom Lichtsinn bemerkt habe, mehr oder minder gelblich, wenn man Contrastwirkung ausschliesst. Daneben findet man Papiere, welche man als purpurfarben oder bläulichroth zu bezeichnen pflegt und welche sich meistens schon dem Violett nähern. Rothe Papiere, welche für mein Auge dem reinen Roth nahe kämen und nicht sehr merklich ins Gelbe oder Blaue stächen, sind mir unter den zu Versuchen am Farbenkreisel brauchbaren Papiersorten nicht vorgekommen. Um also auf dem Farbenkreisel reines Roth herzustellen, pflege ich dem gesättigtsten rothen Papiere, welches ich erhalten konnte, einen Sector des gesättigtsten blauen Papieres beizufügen. Jenes rothe Papier zeigt ein Spectrum vom äussersten Roth bis etwa zur Linie *D*, das blaue Papier ist mit Ultramarin gefärbt.

Wenn ich nun auf diese Weise dasjenige Verhältniss der Sectoren gefunden hatte, welches mir bei der eben herrschenden Beleuchtung mit dem (in seiner Zusammensetzung höchst veränderlichen) Tageslichte ein reines Roth gab, d. h. ein Roth, in welchem ich weder eine Spur Gelb noch Blau bemerken konnte, so fand B. dieses Roth stets auffallend gelblich, und ich musste, um für ihn reines Roth herzustellen, den blauen Sector bedeutend vergrössern, während S. sogar noch weniger Blau bedurfte als ich selbst. Ich habe nun sehr zahlreiche Versuche in dieser Beziehung angestellt und mich durch Bestimmung des Spielraumes, innerhalb dessen für einen und denselben Beobachter bei wiederholten Bestimmungen das für ihn reine Roth lag, überzeugt, dass die Schwankungen nicht in Betracht kamen gegenüber der constanten grossen Verschiedenheit der von B. und S. als rein roth bezeichneten Farben. Aus einer mit besonderer Sorgfalt angestellten Versuchsreihe, in welcher für jeden Beobachter bald mit zu viel, bald mit zu wenig zugemischtem Blau begonnen und allmählich die Grenzen immer enger gezogen wurden, ergab sich z. B. als reines Roth

für B.: 261 Roth + 99 Blau,

für S.: 347 Roth + 13 Blau,

also für B. das Verhältniss $\frac{R}{B} = 2,6$, für S. $\frac{R}{B} = 26,7$.

Es ist leicht zu bemerken, dass diejenigen, welche sich nie mit der Analyse ihrer Farbenempfindungen abgegeben, bei der Benennung von Farben sich zuweilen durch gewohnheitsmässige Bezeichnungen leiten lassen. Die gesättigtesten rothen Farben nun, welche man zu sehen Gelegenheit hat, und welche daher leicht zum Prototyp des schönsten Roth werden können, sind wie gesagt, meist vom Tone des Spectralroth, und selbst wenn Pigmente vorkommen sollten, welche nur spectrales Roth und Violett geben würden, so müssten doch die daraus sich ergebenden sogenannten Purpurfarben immer wesentlich weniger gesättigt sein, und daher eine minder schöne rothe Farbe haben, als diejenigen, welche nur die in der Nähe des rothen Spectralendes liegenden Strahlen nicht absorbiren. Was man daher kurzweg als Roth zu bezeichnen pflegt, ist mehr oder minder gelblich. Das reine Roth, welches, wenn es vorkommt, meist sehr wenig

gesättigt ist, wie z. B. das Roth gewisser Rosen, pflegen Laien, da es die Ausnahme bildet, mit besonderen Namen zu benennen, wenn sie es für Andere verständlich bezeichnen wollen.

Ich frug einen Physiker, der sich viel mit optischen Versuchen beschäftigt hat, ob er im Spectrum reines Roth sehe. „Gewiss,“ sagt er, „es ist das äusserste Roth.“ Und als ich ihm einwandte, dass mir dasselbe noch gelblich erscheine, sobald es nur hell genug sei, um einen vollen, satten Eindruck zu geben, so konnte er dem nicht beistimmen. Als ich ihm aber einmal dasselbe homogene Roth in einem Apparate für Farbmischung zeigte, wo es allein eine kleinere Fläche beleuchtete, entsann er sich unseres Gespräches und erklärte sich überrascht davon, dass ein Roth so grosser Wellenlänge noch so gelblich sei. Er erklärte sich seine frühere Meinung auch sogleich aus dem Contraste mit den Nachbarfarben dieses Roth, welche er gleichzeitig im Spectrum gesehen hatte.

Derartige Erfahrungen nöthigten zu grosser Vorsicht und legten den Verdacht nahe, dass der Unterschied zwischen B. und S. nur darauf beruhe, dass jedem so zu sagen ein anderes Prototyp des Roth vorschwebte, kurzum dass beide die Farben nur verschieden bezeichneten, obwohl sie dieselbe ganz gleich empfanden. Wer aber die grossen hier vorliegenden Verschiedenheiten selbst gesehen hat, der würde auch dann diesen Verdacht nicht zulässig finden, wenn er von der Genauigkeit der Genannten bei allen Farbenbezeichnungen nichts wüsste. Das Weitere bringt auch überzeugende Beweise dafür, dass es sich um Verschiedenheiten der Empfindungen und nicht der Benennung handelte. B.'s Farbensinn hatte sich immer als ausgezeichnet erwiesen, und ich selbst komme ihm zwar hierin durchaus nicht gleich, aber ich könnte eine langjährige Uebung in derartigen Untersuchungen für mich anführen.

Aehnlich wie mit dem reinen Roth verhielt es sich mit dem reinen Grün. Ein Grün, das mir rein erschien, sah B. entschieden gelblich, und das für ihn reine Grün erschien mir bläulich. Zwischen S. und B. bestand ein solcher Unterschied ebenfalls in noch auffallenderer Weise.

Ein in's Gelbe stechendes Grün¹⁾ wurde auf dem Farbenkreisel mit soviel Blau versetzt, dass es rein Grün erschien und es wurde bei wiederholten Versuchen bald mit zu viel Blau, bald mit zu viel Grün begonnen.

Ich führe wieder das Ergebniss einer Versuchsreihe an, welche unmittelbar nach der oben mitgetheilten gemacht wurde. Um reines Grün zu erhalten, war nöthig

für B.: 300 Grün + 60 Blau

für S.: 339 Grün + 21 Blau.

Also für B. das Verhältniss $\frac{\text{Gr}}{\text{B}} = 5$, für S. $\frac{\text{Gr}}{\text{B}} = 16$.

Im Betreff des reinen Gelb und reinen Blau bestanden nur unwesentliche oder zuweilen gar keine Verschiedenheiten. Als ich aber aus schwarzem und möglichst rein weissem Papier ein mittleres Grau mischte, erklärte B. dasselbe als deutlich ins Gelbe stehend, während S. angab, dass das Grau ihm rein erscheine, dass es möglicherweise einen Stich ins Blau habe, sicher aber nicht ins Gelbe spiele. Um für B. ein reines Grau zu erhalten, musste der aus Weiss und Schwarz zusammengesetzten Scheibe des Farbenkreisels etwas Blau zugesetzt werden. Das nun für B. rein gewordene Grau sah S. entschieden bläulich.

Das Gesammtergebniss aus diesen Versuchen war also, dass B. ein Roth, Grün oder Grau, welches S. ganz rein erschien, entschieden gelblich sah, während umgekehrt S. das von B. als rein bezeichnete Roth, Grün oder Grau entschieden bläulich sah. Somit liessen sich alle gefundenen Unterschiede durch die Annahme erklären, dass die benutzten Mischlichter für B. relativ mehr gelbe Valenz haben. Bei gelben und blauen Pigmentlichtern könnte sich aus einer solchen Verschiedenheit im Verhältniss der gelben und blauen Valenzen kein Unterschied des Farbentones bemerklich machen, sondern höchstens ein Unterschied in der Sättigung ergeben.

1) Dieses Grün war nicht das Schweinfurtergrün, welches deutlich in's Gelbe sticht, sondern ein Grün, welches dem reinen Grün näher steht, jedoch wesentlich weniger gesättigt erscheint als das Schweinfurtergrün. Ich will hier bemerken, dass sogenannte Blumenpapiere, wenn sie nicht ganz glatt sind, auf dem Farbenkreisel in rasche Rotation versetzt bisweilen eine wesentlich andere Färbung annehmen, weil alle Unebenheiten unsichtbar werden.

Alle homogenen Lichter, welche im Spectrum diesseits des reinen Grün liegen (gelbwerthige Hälfte), haben, wie ich früher auseinander gesetzt habe¹⁾, eine mehr oder minder grosse gelbe, alle jenseits des reinen Grün liegenden Lichter eine blaue Valenz. Hält man vor das Auge ein schwach gelb gefärbtes Glas, so wird vorwiegend Licht aus der blauwerthigen Hälfte des Spectrums absorbirt, und in einem durch ein solches Glas betrachteten Mischlichte wird dessen blaue Gesamtvalenz entsprechend herabgesetzt. Somit war zu erwarten, dass, wenn S. das für B. reine Grün, Roth oder Grau durch ein gelbes Glas von passender Dicke betrachtete, die genannten Farben ebenfalls rein roth, grün oder grau erscheinen würden. Dies war in der That der Fall.

Die erwähnten Unterschiede waren mir um so interessanter, als ich in Betreff der Bezeichnung des spectralen Roth und Grün keine analogen Unterschiede zwischen B., S. und mir bemerkt hatte, und als ich bei Untersuchung Rothgrünblinder ganz ähnliche individuelle Verschiedenheiten des Verhältnisses der blauen und gelben Gesamtvalenz verschiedener Pigmentlichter, sowie des Tageslichtes gefunden hatte. Diese Verschiedenheiten der Rothgrünblinden liessen sich, wie mir schien, leicht erklären, wenn man annahm, dass die durch die Macula lutea, beziehungsweise auch durch die Linse bedingte Absorption der kurzwelligen Strahlen bei den sogenannten „Grünblinden“ stärker sei als bei den „Rothblinden“, und da von vornherein anzunehmen war, dass bei Farbentüchtigten analoge Verschiedenheiten vorkommen würden, so war mir der Nachweis dieser Verschiedenheit bei zwei so zuverlässigen Beobachtern, wie B. und S. von besonderem Werthe.

Wenn sich nun auch für die Theorie des Lichtsinnes daraus, dass der Eine wegen der stärkeren gelben Tinction seiner Macula oder Linse die Welt der Farben so sieht, wie ein Anderer durch ein dauernd getragenes gelbes Glas, bis jetzt weiter nichts Wichtiges ergeben hat, so hat mir doch die erwähnte Erklärung über manchen Stein des Anstosses leicht hinweg geholfen, der Anderen bei ihren optischen Untersuchungen noch heute im Wege liegt und dieselben zu allerlei seltsamen Vermuthungen geführt

1) Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben. Dieses Jahrbuch. Neue Folge. I. Bd.

hat. Es währte längere Zeit, ehe mir der Zufall wieder einige Farbenblinde zuführte, deren Zeit ich in grösserem Umfange in Anspruch nehmen durfte und die zugleich soviel Intelligenz, Beobachtungstalent und Präcision in der Bezeichnung ihrer Empfindungen besaßen, dass es sich der Mühe lohnte, längere Untersuchungen mit ihnen anzustellen. Ein Farbenblinder, der diese Eigenschaften hat, ist mehr werth, als zwanzig, die sie nicht haben.

Um ganz zuverlässige vergleichende Beobachtungen der individuellen Verschiedenheiten anstellen zu können, ist es nothwendig, die zu vergleichenden Personen unter genau denselben Umständen zu untersuchen, also zu derselben Zeit. Denn das Tageslicht ist einem fortwährenden Wechsel der darin vorwiegenden Farbe unterworfen, das künstliche Licht ist ebenfalls variabel. Ich habe deshalb die zu vergleichenden Personen meist gleichzeitig untersucht. Den benützten Apparat¹⁾ werde ich anderwärts beschreiben und erwähne hier nur, dass der zu Untersuchende in ein kleines Fernrohr zu blicken hat, in welchem er eine leuchtende, kreisförmig begrenzte Fläche sieht, welche in 20 *mm* Entfernung vom Auge projectirt einen scheinbaren Durchmesser von 7 *cm* hat. Diese Kreisfläche kann in ihrer rechten Hälfte durch anderes Licht erleuchtet werden, als in der linken. Rechts und links kann ein beliebiges homogenes oder eine Mischung von zwei oder drei homogenen Lichtern oder das gemischte Licht eines Pigments oder das Tageslicht zur Ansicht gebracht werden. Ueberdies können beide Hälften des Gesichtsfeldes auch mit demselben homogenen oder gemischtem Lichte beleuchtet werden, ganz unabhängig davon, welche einfachen oder zusammengesetzten Lichter schon zuvor in beiden Hälften sichtbar waren. Die Intensität jeder zur Verwendung gekommenen Lichtart ist für sich messbar, und überdies kann die Licht-

1) Ich verdanke den wesentlichen Theil des Apparates der Güte meines Collegen, des Hrn. Prof. Lippich, welcher, als ich ihm einmal die Mängel der bis jetzt in der Physiologie benützten Methoden der Lichtmischung erörterte, sofort einen Mischapparat skizzirte, der in der Werkstätte des physiol. Institutes vom Universitätsmechaniker R o t h e ausgeführt und mit drei schon vorhandenen Spectralapparaten combinirt wurde. Durch verschiedene kleine Adaptirungen habe ich den Apparat schliesslich zu einer Art Universalapparat entwickelt.

intensität aller zugleich das Gesichtsfeld erleuchtenden Lichtarten gleichzeitig in demselben Verhältnisse und in messbarer Weise vermehrt oder vermindert werden. So macht der Apparat also alle überhaupt denkbaren Farbgleichungen und Farbenvergleichen zwischen homogenen Lichtern unter sich, zwischen Mischlichtern unter sich und endlich zwischen homogenen Lichtern einerseits und Mischlichtern anderseits möglich. Die grosse Fläche, auf welcher man die Farben ganz gleichmässig ausgebreitet sieht, gestattet eine viel sicherere Auffassung und Vergleichung der Farben als die kleinen Felder oder gar die engen Spalträume, mit denen man vielfach experimentirt hat. Die farbigen Säume und die nicht congruente Deckung der zu mischenden Lichter, welche bei manchen Methoden die Genauigkeit der Ergebnisse so sehr beeinträchtigen, sind beseitigt.

Mit Hilfe dieses Apparates habe ich die oben ausgesprochene Hypothese nochmals geprüft, nachdem mir ihre Richtigkeit bereits auf Grund von Untersuchungen, die nach schon bekannten Methoden der Mischung von Spectralfarben angestellt wurden, höchst wahrscheinlich geworden war. Ich übergehe deshalb auch alle früheren Untersuchungen und beschränke mich im Folgenden auf das, was sich mittels der besseren Methode ergeben hat.

Ich habe bereits erwähnt, dass B. und S. bei Benennung der Spectralfarben keine solche auffallenden Verschiedenheiten gezeigt hatten. Dies wurde nun noch einmal festgestellt, und ich will eine hierher gehörige Versuchsreihe kurz beschreiben.

In dem genannten Apparate wurde von mir beiläufig das reine Grün des Spectrums eingestellt. Der Apparat stand in einem weissgetünchten Zimmer, in welches das volle Licht des westlichen gleichmässig bewölkten Himmels einfiel. Zeit der Untersuchung von 10—12 Uhr Vormittags. Nacheinander blickten S. und B., den Kopf bedeckt mit einem überhängenden schwarzen Tuche, welches alles seitliche Licht ausschloss, in den Apparat und gaben an, ob das eingestellte Grün rein sei oder noch in's Gelbe oder Blaue spiele. Zwischen den einzelnen Beobachtungen einer und derselben Person waren Pausen von circa 5 Minuten, während welcher das Tuch wieder abgenommen wurde. Ich stellte nun, unter gleichzeitiger Ablesung der jedesmaligen Stellung des Collimatorrohres, bald dieses bald jenes Grün ein, vermied aber weiterhin jede Einstellung, bei welcher

bereits einmal von beiden Beobachtern ein auffällig bläuliches oder gelbliches Grün gesehen worden war, und nur gegen Schluss der Versuchsreihe wurden diese Einstellungen nochmals gewählt, um zu erfahren, ob wieder dieselben Angaben gemacht wurden. Als reines Grün wurde jedes genommen, von welchem der Beobachter nicht mit voller Bestimmtheit aussagte, dass es deutlich ins Gelbe oder Blaue spiele. So erhielt ich von jedem Beobachter eine Reihe von 30 Farbenbezeichnungen für die verschiedenen Einstellungen des Collimatorrohres. Es ergab sich nun, dass zwar das Gebiet der Einstellung, innerhalb dessen reines Grün gesehen wurde, für beide Beobachter verschieden gross, und überdies, dass das des einen Beobachters gegen das des anderen verschoben war, dass sich aber die beiden Gebiete theilweise deckten, so dass ein engeres Einstellungsgebiet gegeben war, innerhalb dessen beide Beobachter dasselbe homogene Licht bei wiederholter Einstellung als rein grün bezeichneten. Auch ich selbst sah hier reines Grün.

In analoger Weise verhielten sich beide Beobachter in Bezug auf das reine Blau und Gelb. Das engere Gebiet der Einstellungen, innerhalb dessen von beiden Beobachtern bei wiederholten Einstellungen immer reines Gelb gesehen wurde, war kleiner als dasjenige für das reine Grün.¹⁾

Es war somit nochmals und ganz genau festgestellt, dass S. und B. ein Licht von bestimmter Wellenlänge beide als rein grün, beziehungsweise gelb oder blau bezeichneten, und dass daher die Verschiedenheit ihrer Bezeichnungen für die oben erwähnten grünen Pigmentfarben nicht darauf beruhen konnte, dass jedem von Beiden sozusagen ein anderes Ideal des reinen Grün vorschwebte. Denn diesenfalls hätten nicht Beide ein und dasselbe Spectralgrün gleich, d. h. als reines Grün bezeichnen können. In Betreff des Roth liessen sich analoge Versuche nicht

1) Ich betone, dass es sich bei diesen Bestimmungen nicht etwa um die Feststellung der Wellenlänge jenes reinen Grün oder Gelb handelte, welches den Cardinalpunkten des Spectrums entspricht, wozu noch ganz andere Vorsichtsmassregeln nöthig gewesen wären, sondern nur darum, ob sich unter den gegebenen Versuchsbedingungen und bei der durch das eben vorhandene Tageslicht bedingten Stimmung des Sehorganes eine Stelle des Spectrums fand, welche beiden Beobachtern rein grün, gelb oder blau erschien.

anstellen, weil jedes Spectralroth mehr oder minder gelbe Valenz besitzt und, abgesehen von Contrastwirkungen, nur von einem Auge als reines Roth gesehen werden könnte, welches entweder blaugelb-blind oder dessen Vermögen, Gelb und Blau zu empfinden im Vergleich zu seinem Vermögen, Roth und Grün zu empfinden, viel kleiner wäre, als dies normaler Weise der Fall ist. Selbst das äusserste Spectralroth, welchem noch die hinreichende Helligkeit gegeben werden konnte, wurde von S. sowohl wie von B. als in's Gelbe spielend bezeichnet.

Nach den, an den rothen und grünen Pigmentfarben gemachten Beobachtungen war zu erwarten, dass, wenn spectrales Roth mit spectrumalem Blau oder Violett so gemischt würde, dass die Mischung für B. oder S. rein roth erscheint, hierzu für B. relativ viel mehr Blau oder Violett erforderlich sein werde, als für S. Der Versuch bestätigte dies sofort. Das reine Roth, welches für B. durch die genannte Mischung hergestellt wurde, erschien mir als deutlich in's Blaue gehend und wurde von S. als Violett bezeichnet, während umgekehrt das für S. reine Roth von B. als sehr gelblich, dem Orange sich nähernd bezeichnet wurde.

Ich will als Beispiel folgende Versuchsreihe anführen, bei welcher wiederholte Einstellungen für denselben Beobachter nur unwesentliche Abweichungen ergaben.

Gemischt wurde ein Roth, dessen Wellenlänge beiläufig $660 \mu\mu$ betrug, mit einem Rothblau von beiläufig $447 \mu\mu$ Wellenlänge.

Zur Herstellung eines reinen Roth musste gemischt werden für

Biedermann	186	Blau	und	214	Roth,	daher	$\frac{R}{B} = 1,15$
Hering	125			375			$= 3,00$
Limbeck	70			330			$= 4,71$
Prof. P.	60			340			$= 5,66$
Singer	50			350			$= 7,00$

Wenn nun auch zugegeben werden muss, dass derartige Bestimmungen lange nicht dieselbe Genauigkeit haben können, wie Farbgleichungen, bei welchen es sich nicht um Bestimmung der Farbe eines Lichtes, sondern um die Gleichheit zweier Lichter handelt, so fällt doch anderseits sehr ins Gewicht, dass hier Unterschiede vorliegen, welche bei den sehr oft wieder-

holten Untersuchungen immer wieder in angenähert derselben Grösse gefunden wurden.

Man kann hiernach, wenn zwei Farbentüchtige sich in der hier erörterten Beziehung unterscheiden, immer sagen, dass derjenige, in dessen Augen die schwächere Absorption der kurzwelligen Strahlen stattfindet, im Vergleich zum andern minder gelb oder mehr blau sieht, der letztere aber im Vergleich zum ersteren minder blau oder mehr gelb. Der eine lässt sich daher neben dem andern als relativ blausichtig, der andere als relativ gelbsichtig bezeichnen. Wenn ich nun im Folgenden von Blausichtigen und Gelbsichtigen spreche, so meine ich dies immer in Beziehung auf zwei untereinander verglichene Personen, also relativ. Demnach bin ich selbst im Vergleich zu B. blausichtig, im Vergleich mit S. gelbsichtig, und Letzterer ist im Vergleich mit B. stark blausichtig. Diese Bezeichnungen sind a fortiori gewählt. Denn es wird sich zeigen, dass der blausichtige Farbentüchtige zugleich relativ grünsichtig, und der Gelbsichtige zugleich relativ rothsichtig ist.

Da die Rothgrünblinden sich von den Farbentüchtigen dadurch unterscheiden, dass für sie jedes homogene Licht ausser der ihm nach seiner Wellenlänge zukommenden weissen Valenz nur noch entweder gelbe oder blaue Valenz besitzt, aber keinerlei rothe oder grüne, so sehen sie statt eines reinen Roth oder Grün nur Weiss oder Grau. In Betreff der gelben oder blauen Valenzen zeigen sich bei ihnen, wie schon gesagt, ganz analoge Unterschiede, wie bei den Farbentüchtigen. Der Wegfall der rothen und grünen Empfindung aber bietet für die Untersuchung dieser Unterschiede grosse Vortheile.

B. verhält sich, wie der Sachkundige schon bemerkt haben wird, in Bezug auf Gelb- und Blausehen wie ein exemplarisch „Grünblinder“. Denn der „Grünblinde“ ist, wie ich seinerzeit zeigte, relativ gelbsichtig. S. dagegen, welcher am andern Ende der S. 162 angeführten Reihe steht, verhält sich wie ein exemplarisch „Rothblinder“, denn ein solcher ist stets relativ blausichtig.

Wenn ich Herrn H. oder Herrn Z., welche Beide exemplarisch „grünblind“ sind, aus Roth und Violett eine „weder in's Blaue noch in's Gelbe spielende Farbe“, d. h. also ein Grau mischte ¹⁾,

1) Vergl. oben S. 150.

so sah B. in der That ein entweder ganz oder sehr angenähert reines Roth, und es genügte letzterenfalls eine sehr kleine Aenderung im Verhältnisse zwischen Roth und Violett, um das Roth für B. vollends rein zu machen. Mir selbst erschien das eingestellte Roth bläulich, und für S. war es violett. Wenn ich aber für Herrn K. oder Herrn E., welche beide exemplarisch „rothblind“ sind, die entsprechende farblose Mischung herstellte, so sah sie B. als stark gelbliches Roth, beziehungsweise als Orange, und auch mir erschien das Roth deutlich in's Gelbe gehend, wogegen S. reines oder sehr angenähert reines Roth sah. So erschien z. B. dem „rothblinden“ K. eine Mischung aus 18,5 Violett und 256,5 Roth rein grau $\left(\frac{R}{V} = 14\right)$ S. sah diese Mischung als reines Roth, B. dagegen als ein sehr gelbliches Roth, und ihm musste ich 86,5 V und 188,5 Roth mischen, damit ihm die Mischung rein roth erschien. $\left(\frac{R}{V} = 2,16\right)^1$

Ich habe aus menschlichen Augen, welche wenige Stunden nach dem Tode exstirpirt waren, die Netzhaut genommen, die Gegend der Macula, deren Färbung sehr grosse individuelle Verschiedenheiten zeigte, herausgeschnitten, auf einer kleinen Glasplatte vorsichtig eingetrocknet und insbesondere das Rissigwerden vermieden, welches bei zu rascher und starker Eintrocknung leicht eintritt. Auf dieses getrocknete Netzhautfragment wurde ein Tröpfchen concentrirten Glycerins gebracht und nach einiger Zeit ein Deckgläschen. Eine Reihe so präparirter gelber Flecke bewahre ich im Dunklen und bringe sie nur ans Licht, wenn ich damit experimentire. Halte ich eine solche Macula so vor das Auge, dass sie genau in die Gesichtslinie zu liegen kommt, so sehe ich weisses Papier gelb, den blauen Himmel grau und relativ dunkel etc.

Durch eine solche Macula liess ich S. das aus Spectralviolett und Spectralroth gemischte Roth betrachten, welches für B. rein roth war; er sah es durch eine passend tingirte Macula ebenfalls rein roth, obwohl es ihm mit freiem Auge gesehen violett erschien. Ich mischte ferner für einen „Grünblinden“ aus spectralem Roth und Violett das für ihn reine Grau. Der blausichtige

1) Die Wellenlängen dieses Roth und Violett wurden nicht bestimmt.

S. sah es mit freiem Auge violett, durch die Macula rein roth oder sogar gelblich. Dieselbe Mischung, welche wie gesagt dem „Grünblinden“ weiss erschien, sah ein „Rothblinder“ mit freiem Auge weissblau, durch eine Macula von passender Tinction aber ebenfalls farblos, d. h. weder in's Blaue, noch in's Gelbe spielend. Ich mischte dem „Rothblinden“ aus spectralem Roth und Violett das ihm neutral erscheinende Grau und liess ihn dann dasselbe durch die Macula betrachten; er sah es graugelb. Hierauf mischte ich ihm das Violett und Roth so, dass er durch die Macula hindurch wieder reines Grau sah; mit freiem Auge betrachtet erschien es ihm blau. Einem „Rothblinden“, Herrn E., stellte ich für die eine Hälfte des kreisförmigen Gesichtsfeldes, wie es der beschriebene Mischungsapparat zeigt, das ihm neutral d. h. rein weiss oder grau erscheinende Spectralgrün ein. Hierauf mischte ich für die andere Hälfte des Gesichtsfeldes aus spectralem Roth und Violett das für ihn ebenfalls farblose Grau und regelte die beiderseitigen Helligkeiten so lange, bis ihm beide Hälften des Gesichtsfeldes ganz gleich erschienen. Hierauf liess ich ihn die Gleichung durch eine stark tingirte Macula betrachten; beide Hälften des Gesichtsfeldes erschienen ihm jetzt sehr ungleich. Die von dem gemischten Lichte beleuchtete Hälfte erschien ihm gelb, die durch homogenes grünes Licht beleuchtete Hälfte viel dunkler. Ich änderte nun für die eine Hälfte das Verhältniss von spectralem Roth und Violett und für die andere die Helligkeit so lange, bis ihm beide Hälften durch die Macula hindurch wieder gleich erschienen. Das Resultat war ungefähr dasselbe, welches ich erfahrungsgemäss von einem „Grünblinden“ erhalten hätte, wenn ich für ihn eine Gleichung zwischen demselben spectralen Grün und einer Mischung von spectralem Roth und Violett hergestellt hätte.

So lässt sich denn, insoweit es sich nur um die Verwechslungsfarben handelt, ein „Rothblinder“ mit Hilfe einer vor das Auge gebrachten passend tingirten Macula jederzeit in einen „Grünblinden“ verwandeln, ebenso wie sich jeder blausichtige Farbentüchtige auf diese Weise in einen Gelbsichtigen verwandeln lässt. Es gilt daher ganz allgemein die Regel, dass die Farbengleichungen, welche man für einen durch eine kräftig tingirte Macula blickenden „Rothblinden“ herstellen kann, analog denjenigen

sind, welche man für „Grünblinde“ gemacht hat. Denn es bedarf dann gewöhnlich nur relativ kleiner Correcturen, um die Gleichung für einen „Grünblinden“ vollends anzupassen. Hat man sich eine Anzahl verschieden stark tingirter Maculae hergestellt, so lässt sich immer eine einfache oder eine Doppelpacula finden, durch welche das oben erwähnte Ergebniss ziemlich oder auch einmal zufällig ganz genau herbeigeführt wird. Man muss dabei bedenken, dass die Macula vor das Auge gebracht schwächer wirken muss, als wenn sie im Auge wäre, weil, wenn die Pupille nicht sehr klein und die Macula zufällig ganz besonders glücklich auf dem Glase ausgebreitet ist, das in die Pupille dringende Licht zum Theil durch nicht gefärbte Stellen des Netzhautfragments geht und also keine specifische Absorption erleidet.

Es steht hiernach, soviel ich sehe, nichts der oben erwähnten Annahme entgegen, dass die relative Blausichtigkeit der „Rothblinden“ und die relative Gelbsichtigkeit der „Grünblinden“ auf individuellen Verschiedenheiten der Tinction der Macula (beziehungsweise der ganz ähnlich wirkenden Linse) beruht; daher wir, wenn zwei Rothgrünblinde in Bezug auf die Verwechslungsfarben oder Farbgleichungen sich in der bekannten Weise verschieden verhalten, den einen als relativ blausichtigen, den andern als relativ gelbsichtigen Rothgrünblinden bezeichnen können.

Ein Rothgrünblinder sieht, wie ich dies theoretisch abgeleitet habe und wie seitdem durch Hippel's (auch von Holmgren untersuchten) Fall von einseitiger Rothgrünblindheit direct bekräftigt wurde, die eine (langwellige) Hälfte des Spectrums gelb, die andere (kurzwellige) blau. Beide Theile sind getrennt durch eine farblose Stelle, welche als *T* (Trennungslinie) oder *N* (neutrale Stelle) bezeichnet wird. Die einzelnen Farben der gelben Hälfte unterscheiden sich für solche Farbenblinde nur durch verschiedene Helligkeit und Sättigung, und dasselbe gilt von der blauen Hälfte. Da nun die verschiedenen Lichtarten der kurzwelligen Hälfte von dem Pigmente der Macula und der Linse stärker absorbirt werden, als die der langwelligen Hälfte, was um so mehr hervortritt, je stärker die Tinction der Macula oder der Linse, so gelangt vom gemischten Tageslicht im Auge des „blausichtigen“ Farbenblinden relativ mehr kurzwelliges Licht zur empfindenden Netzhautschichte als im Auge der „gelbsichtigen“ Farbenblinden. Wäre das Tageslicht für den letzteren zufällig einmal so gemischt,

dass die Summe der blauen Valenzen sämtlicher bis zur empfindenden Netzhautschicht gelangenden Lichtarten der blauen Hälfte des Spectrums genau so gross wäre, wie die Summe der gelben Valenzen sämtlicher Lichtarten der gelben Spectralhälfte, so würde, ganz neutrale Stimmung des Auges vorausgesetzt, dieser „Grünblinde“ dieses Tageslicht rein weiss und bei schwacher Intensität rein grau sehen. Dasselbe Licht würde der blausichtige Farbenblinde stark in's Blaue gehend sehen, falls auch sein Auge neutral gestimmt wäre. Umgekehrt würde ein unter den genannten Voraussetzungen für den „Blausichtigen“ rein weisses Licht, dem gelbsichtigen Farbenblinden mehr oder weniger gelb erscheinen.

Unter gewöhnlichen Umständen sehen freilich Beide das gemischte Tageslicht weiss, weil sich ihr Auge für die überwiegende Farbe des Tageslichtes adaptirt hat. Es ist bekannt, dass man selbst durch stark gefärbte Brillen beliebiger Farbe, wenn man sie längere Zeit trägt, schliesslich das zuvor weiss gesehene Mischlicht auch wieder weiss sieht.

Aber bei genauerer Untersuchung erkennt man doch überall die relative Blausichtigkeit des „Rothblinden“ und die relative Gelbsichtigkeit des „Grünblinden“.

Bringe ich einem „Rothblinden“ in die eine Hälfte des Gesichtsfeldes meines Apparates dasjenige spectrale Grün, welches ihm weder gelblich noch bläulich und also reingrau erscheint, und beleuchte sodann die andere Hälfte des Gesichtsfeldes mit dem Lichte, welches eine weisse Wolke aussendet, so sieht er dieses Licht blau. Nur muss ich hierbei die Helligkeit des Wolkenlichtes hinreichend abschwächen; denn bei zu grosser Intensität wird schliesslich jedes mässig farbige Mischlicht scheinbar weiss. Um nun eine Gleichung zwischen dem Wolkenlichte und dem homogenen Lichte herzustellen, muss ich ein stark bläuliches Grün oder ein Grünblau einstellen. Machte ich denselben Versuch am „Grünblinden,“ so zeigte sich, dass ihm das Licht weisser Wolken im Vergleich zu dem für ihn farblosen homogenen Grün zwar meist auch etwas bläulich, bisweilen aber sogar diesem Grün nahezu gleich erschien. Erstenfalls genügte dann eine kleine Correctur, durch welche ein Grün von etwas kleinerer Wellenlänge eingestellt wurde, um eine Gleichung zwischen diesem homogenen Lichte und dem Wolkenlichte zu erzielen.

Analog wie hier der „Rothblinde“ zum „Grünblinden,“ verhält sich auch B. zu S. Erscheint Letzterem ein im Apparate sichtbares Wolkenlicht bei entsprechend geringer Intensität rein weiss, so sieht es S. bläulich weiss. Bei zu grosser Intensität verliert sich der Unterschied und beide sehen Weiss.

Aus dem Gesagten folgt, dass man die sogenannte Trennungslinie oder neutrale Stelle im Spectrum der Farbenblinden nicht dadurch finden kann, dass man eine Gleichung zwischen gemischtem Tageslicht und dem entsprechenden homogenen Lichte für den Farbenblinden herstellt. Für den „Rothblinden“ muss dann selbstverständlich ein viel bläulicheres Grün eingestellt werden, als für den „Grünblinden.“ Und wenn man einen „Rothblinden“ mit einem „Grünblinden“ in dieser Beziehung vergleichen will, so muss man beide zu gleicher Zeit d. h. bei genau derselben Beleuchtung untersuchen. Denn das „Wolkenlicht“ ist je nach der Dichte der Bewölkung und je nach dem Stande der Sonne verschieden gefärbt. Wenn ich in meinem Apparate die eine Hälfte des Gesichtsfeldes mit Licht beleuchte, welches von einer anderen Stelle des Himmels genommen ist, als das Licht, mit dem ich die andere Hälfte beleuchte, und beide Hälften gleich hell mache, so sehe ich sie oft auffällig verschieden gefärbt, sowohl bei bewölktem als bei klarem Himmel. Nur wenn die Stelle des Himmels, von der das eine Licht kommt, ganz gleich derjenigen ist, welche das andere Licht liefert, oder wenn beide Lichter von genau derselben Stelle des Himmels kommen, erscheinen sie auch im Apparate ganz gleich. Jede kleine Verschiedenheit in der Zusammensetzung des Himmelslichtes wird auf diese Weise durch Farbenverschiedenheiten der beiden Hälften des Gesichtsfeldes bemerkbar.

Die relative Blausichtigkeit der „Rothblinden“ im Vergleich mit den „Grünblinden“ verräth sich auch dadurch, dass die ersteren unter den bisher für die Untersuchung gewöhnlich benützten Umständen ein homogenes Licht kleinerer Wellenlänge farblos sehen, als die „Grünblinden,“ d. h. dass die Trennungslinie in ihrem Spectrum weiter nach dem Blau hin liegt. Dies ist um so mehr der Fall, je blauer das Tageslicht ist. Das Auge des „Rothblinden“ ist bei Tageslicht für Blau mehr oder weniger „ermüdet“ und die nothwendige Folge ist, dass er

nicht das reine Grün, sondern ein mehr oder weniger bläuliches Grün farblos sieht. Ganz ebenso nimmt jeder Farbentüchtige ein viel bläulicheres Grün als sonst für reines Grün, wenn er längere Zeit eine schwach blaue Brille trägt. Hat sich der „Rothblinde“ einige Zeit in einem mit Gaslicht erleuchteten Zimmer befunden, so verschiebt sich die Trennungslinie für ihn in der Richtung nach dem Gelb, sie entspricht dann einem Grün grösserer Wellenlänge. Untersucht man unter solchen Umständen einen „Roth-“ und einen „Grünblinden“, zugleich, so bemerkt man, dass die Trennungslinie des „Rothblinden“ sich mehr verschoben hat, als die des „Grünblinden“, und dass daher die Trennungslinien beider jetzt weniger oder, wie ich einmal beobachtet habe, gar nicht mehr verschieden sind.

Die Bestimmung der Trennungslinie der Farbenblinden ist also keine so einfache Sache, wie man gewöhnlich meint, selbst wenn man mit der besten Methode arbeitet, gar nicht zu sprechen von jenen Methoden, bei welchen die Trennungslinie dadurch bestimmt wird, dass man nur einen schmalen Streifen mittels eines Spaltes im Ocular eines gewöhnlichen Spectralapparates ausschneidet. Ich habe mich bisher streng gehütet, über die Lage der Trennungslinie bestimmte Angaben zu machen, weil ich mir wohl bewusst war, dass solche Angaben nur einen sehr relativen Werth haben können. Je nach den begleitenden Umständen und je nach der angewandten Methode schiebt sich die Trennungslinie innerhalb eines gewissen Spectralgebietes bald hier, bald dort hin.

Um die wahre Lage der Trennungslinie bestimmen zu können, müsste das Auge des Farbenblinden sich in vollkommen neutraler Stimmung befinden. Dazu wäre längerer Aufenthalt in einem Raume nöthig, in welchem nur neutrales, d. h. also für den betreffenden Farbenblinden unter solchen Umständen farbloses Licht gesehen würde. Aber solch farbloses Licht können wir um so weniger herstellen, als dasselbe für jeden Farbenblinden eine ganz besondere, den Absorptionsverhältnissen seines Auges genau angepasste Zusammensetzung haben müsste.

Nun kann man allerdings das Auge vielleicht in eine wirklich neutrale Stimmung bringen, wenn man dasselbe stundenlang vor jedem Lichte schützt. Das bringt jedoch den grossen Uebelstand mit sich, dass ein solches Auge ausserordentlich weiss-empfindlich

wird, so dass besonders diejenigen homogenen Lichtarten, welche eine im Vergleich mit ihrer farbigen Valenz bedeutende weisse Valenz besitzen — und das reine Grün ist eine solche Lichtart, — bei einer für ein so empfindliches Auge bequemen Helligkeit viel weniger gesättigt d. h. viel weisslicher erscheinen als bei Tage, wo das Auge immer für Weiss „ermüdet“ ist und alle Farben deshalb viel gesättigter erscheinen. Die gesteigerte Weiss-Empfindlichkeit erschwert dann wieder die feinen Unterscheidungen der Farbentöne. Nur für die homogenen Lichtarten, welche neben starker farbiger Valenz sehr geringe weisse Valenz haben, d. i. insbesondere Orange und vor Allem Roth, fällt dieser Uebelstand nicht in Gewicht.

Es ist endlich auch zu bedenken, dass die scheinbare Trennungslinie sich verschiebt, wenn seitliches Licht ins Auge fällt, ja sogar, wenn durch die Lider des andern geschlossenen Auges merkliches Licht eindringt.

Ich finde weder in meinen eigenen noch in den Beobachtungen anderer Forscher einen zwingenden Grund zu der Annahme, dass die wahre Trennungslinie im Spectrum der Rothgrünblinden für die „Rothblinden“ einer anderen Wellenlänge des Lichtes entspricht, als für die „Grünblinden“.

Bestreiten kann ich es aber ebensowenig. Jedenfalls liegt in den bisherigen in der Literatur verzeichneten Bestimmungen der Trennungslinie kein Grund für die sehr verbreitete Annahme einer verschiedenen Lage der wahren Trennungslinie vor.

Ich kann auch nach meinen Erfahrungen die Angaben Preyer's¹⁾ und König's²⁾ nicht bestätigen, nach welchen mit steigender Lichtintensität die Trennungslinie sich nach dem Blau hin verschieben soll.

Da es sich hier wieder um den wichtigen Satz von der Constanz der Farbengleichungen handelt, so habe ich die Versuche mit besonderer Sorgsamkeit angestellt. Vor der Objectivlinse des Fernrohres in dem beschriebenen Farbenmischungsapparate befindet sich ein horizontaler Spalt mit symmetrischer Schneidenbewegung, mit dessen Breite die Intensität der beiden zu vergleichenden Lichter bis zu einer gewissen Grösse der

1) Pflügers Arch. für Physiol. XXV. S. 31. 1881.

2) Zur Kenntniss dichromatischer Farbensysteme. Arch. f. Ophthalm. XXX.

Spaltbreite proportional ist. Die letztere ist an einer Trommel ablesbar. Ich habe nun für Farbenblinde Gleichungen zwischen Wolkenlicht und dem entsprechenden homogenen Grün oder Blaugrün hergestellt. Wenn ich die Intensität der verglichenen Lichter zwischen 1 und 50 variierte, blieb die Gleichung bestehen. K ö n i g's Versuche sind gewiss auch mit Sorgfalt angestellt. Bei seinem Verfahren wurde die Intensität des homogenen Lichtes durch Drehung eines Nicols, die des Wolkenlichtes aber durch Hohlspiegel variiert, deren spiegelnde Fläche in mehr oder minder grosser Ausdehnung mit schwarzem Papier belegt wurde. Diese Methode ist nicht so einfach, wie die von mir benützte, aber ich sehe doch nicht ein, wie der Fehler, wenn ein solcher vorliegt, entstanden sein sollte, und muss die Entscheidung weiteren Untersuchungen überlassen.¹⁾ Ich will auch besonders hervorheben, dass K ö n i g, wie mir scheint, stärkere Lichtintensitäten angewandt hat, als ich. Wenn bei hohen Lichtintensitäten das sonst überall giltige N e w t o n'sche Mischungsgesetz, welches die Constanz der Gleichungen bei wechselnder Lichtintensität zur Voraussetzung hat, Ausnahmen erleiden sollte, so wäre ich doch nicht geneigt, die principielle strenge Giltigkeit dieses Gesetzes fallen zu lassen; vielmehr würde ich lieber die Annahme machen, dass durch intensives Licht secundäre Aenderungen im Auge gesetzt werden, durch welche dann die sonst bei den gewöhnlichen Lichtintensitäten im weitesten Umfange giltigen Valenzverhältnisse der Lichtstrahlen alterirt werden könnten.

Analog wie mit der Bestimmung der Trennungslinie bei Farbenblinden verhält es sich mit der Bestimmung des reinen

1) Die mir zur Verfügung stehenden mattschwarzen Papiere, deren eines mit Blauholz das andere mit Russ gefärbt ist, senden ein röthlichgelbes Licht aus. Beleuchtete ich die eine Hälfte des Gesichtsfeldes in meinem Apparate mit dem Lichte, welches diese schwarzen Papiere geben, wenn sie von hellweissem Wolkenlichte beleuchtet sind, die andere Hälfte des Gesichtsfeldes aber mit dem zu gleich geringer Helligkeit abgeschwächten Wolkenlichte selbst, so sah ich die erste Hälfte gelbgrau mit einem Stich in's Röthliche, die letztere blaugrau. Wenn also das schwarze Papier, mit welchem K ö n i g den Hohlspiegel zu einem grösseren oder kleineren Theile belegte, ebenfalls gelbliches Licht zurückwarf, so musste das ganze vom Spiegel ausgesandte Licht um so oläulicher werden, ein je kleinerer Theil seiner Fläche mit schwarzem Papier belegt war. Ich bin aber weit entfernt, aus dieser geringfügigen Fehlerquelle das von K ö n i g gefundene Ergebniss ableiten zu wollen.

Grün und überhaupt mit den drei reinen Farben im Spectrum. Hat man längere Zeit eine farbige Brille getragen und betrachtet dann die einzelnen Spectralfarben — natürlich jede für sich, nicht neben den andern — so erscheinen dieselben in verändertem Tone mit Ausnahme derjenigen Farbe, welche der Farbe der Brille entspricht oder der zugehörigen Gegenfarbe. Wie eine farbige Brille wirkt jede Beleuchtung, welche für das betreffende Auge nicht ganz neutral ist. Das Auge „ermüdet“ für die vorherrschende Farbe der Beleuchtung ebenso wie bekanntlich für das Weiss, es adaptirt sich nicht blos für die Helligkeit, sondern auch für die Farbe der Beleuchtung. Dies ist bei Bestimmung des reinen Gelb, Grün und Blau im Spectrum, wohl zu bedenken. Wir werden ferner sehen, dass der relativ Blausichtige, falls er nicht farbenblind ist, zugleich, wenn auch in schwächerem Maasse, relativ grünsichtig ist, und der relativ Gelbsichtige zugleich relativ rothsichtig. Auch dies muss bei Bestimmung der Lage des reinen Gelb oder Blau im Spectrum in Betracht gezogen werden und macht besondere Vorsichtsmassregeln nothwendig.

Fehlerhaft können ferner die Bestimmungen werden, wenn gleichzeitig anderes Licht durch die Pupille oder die Sklera in's Auge fällt. Es ist überraschend, wie sehr insbesondere das durch die Sklera gehende Licht den Ton fast aller Spectralfarben verändert. Ich lasse deshalb den Kopf mit einem schwarzen Tuche verhängen. Selbst ins andere geschlossene Auge darf, wie gesagt, kein Licht eindringen, wenn die Genauigkeit der Bestimmung nicht gestört werden soll. Je mehr solche das reine Grün verschiebende Einflüsse ausgeschieden werden, desto grösser wird die Uebereinstimmung in der Lage des reinen Grün für verschiedene Augen.

Ich habe zahlreiche Bestimmungen des reinen Grün bei verschiedenen Farbentüchtigen und der Trennungslinie bei Farbenblinden gemacht, letzterenfalls selbstverständlich ohne weisses Vergleichungslicht, und gefunden, dass das Spectralgebiet, innerhalb dessen die Lage des reinen Grün der Farbentüchtigen und die Lage der Trennungslinie der Rothgrünblinden sich bewegt, im Wesentlichen dasselbe ist. Wenn König angibt, dass Niemand das deutlich ins Blaue gehende Grün oder das grünliche Blau, welches gewisse Farbenblinde gleich dem entsprechend abgeschwächtem Lichte einer weissen Wolke sehn, für reines Grün

nehmen werde, so ist das sehr richtig. Sieht es doch der „Rothblinde“ selbst bläulich und bisweilen, wenn es genügend abgeschwächt ist, geradezu blau, trotz der Adaptation seines Auges für das überwiegende Blau des Tageslichtes. Auf solche Weise kann man, wie oben auseinandergesetzt wurde, die Trennungslinie überhaupt nicht bestimmen.

Gerade so wie der „Rothblinde“ bei Bestimmung der Trennungslinie ein mehr bläuliches Grün einstellt, als der „Grünblinde“, gerade so stelle ich im indirecten Sehen ein Licht kürzerer Wellenlänge für das reine Grün ein, als bei directem Sehen. Das bei directem Sehen rein grün erscheinende Licht wird bei indirecter Betrachtung gelblich, und mit einer noch mehr peripher gelegenen und daher mehr oder weniger rothgrünblinden Stelle gesehen, weissgelb. Sogar ein bei directem Sehen schon etwas bläulich erscheinendes spectrales Grün, kann indirect gesehen zuerst rein grün und weiterhin gelbgrün und endlich gelbweiss erscheinen. Dies erklärt sich daraus, dass die Netzhaut, soweit sie nicht durch das Pigment der Macula geschützt wird, stets durch ein stärker blau wirkendes (beziehungsweise minder gelb wirkendes Licht) beleuchtet wird, und ich daher an der entsprechenden Stelle das subjective Contrastgelb sehe, sobald das blau wirkende Licht in Wegfall kommt. Wie sich hier meine periphere Netzhaut zur centralen verhält, so verhält sich die centrale Netzhaut der „Rothblinden“ zur centralen des „Grünblinden.“

Am besten lässt sich immer die Verschiedenheit der Absorption in den Augen des „Roth-“ und des „Grünblinden“ dadurch zeigen, dass man eine Gleichung herstellt zwischen einem dem mittleren Theil des Spectrums angehörigen homogenen Lichte und einem Gemische aus zwei Lichtern, deren eines dem rothen, das andere dem violetten Ende wesentlich näher liegt, wie dies oben in Betreff der Mischung von Roth und Violett erörtert wurde: Die für den „Grünblinden“ passende Gleichung erscheint dann dem „Rothblinden“ sehr ungleich; betrachtet er sie jedoch durch eine passend tingirte Macula, so werden die beiden Felder einander fast gleich, und geringfügige Correcturen stellen dann die volle Gleichheit wieder her. Umgekehrt passt die für den Rothblinden (ohne Macula) eingestellte Gleichung nicht für den Grünblinden; man muss dann das Verhältniss des kurzwelligen

Lichtes zu dem langwelligen bedeutend zu Gunsten des ersteren und auch das Intensitätsverhältniss zwischen dem Mischlichte und dem homogenen Lichte ändern.

An Farbentüchtigen, welche sich, wie z. B. B. und S., zu einander verhalten wie die „Grün-“ und „Rothblinden,“ lassen sich analoge vergleichende Versuche nicht anstellen, weil hier z. B. zwischen reinem Grün einerseits, und einem Gemisch aus einer dem rothen und einer dem violetten Ende näher liegenden homogenen Lichtart andererseits, eine Gleichung nicht möglich ist. Gleichwohl lässt sich auch bei B. und S. in mannigfacher Weise an sehr verschiedenen Mischungen homogener Lichter die Verschiedenheit der Absorptionsverhältnisse ihrer Augen darthun. Mische ich z. B. für B., nachdem seine Augen eine Weile verdunkelt waren, aus Roth und Blaugrün ein reines Weiss von schwacher Helligkeit, so sieht dagegen S. ein in's Grüne spielendes Weiss, weil, wie wir sehen werden, die durch Macula und Linse bedingte Absorption sich bis in's Blaugrün und noch weiter erstreckt. Ändere ich nun das Mischungsverhältniss dahin, dass S. reines Weiss sieht, so erscheint es für B. röthlich. Mische ich für B. reines Weiss aus Grüngelb und Violett, so erscheint dieses Weiss für S. als weissliches Blau oder Lila, mische ich aus denselben Farben reines Weiss für S., so bezeichnet B. die Mischung als nicht gesättigtes Grasgrün.

Bei Mischungen von Gelb und Blau zu Weiss zeigten sich nur kleine Differenzen zwischen B. und S. Es hat dies seinen Grund darin, dass jedes dieser beiden homogenen Lichter eine im Vergleich zu seiner farbigen sehr bedeutende weisse Valenz hat. Es ist an sich schon schwer, in einem nicht reinen Weiss eine schwache Beimischung von Farbe zu bemerken, wenn man kein reines Vergleichsweiss daneben hat; hier aber kommt dazu, dass eine Mischung von gelbem und blauen Licht uns auch dann noch rein weiss erscheint, wenn wir das Mischungsverhältniss innerhalb relativ weiter Grenzen variiren. Viel empfindlicher gegen solche Variirungen ist schon die Mischung aus Grüngelb und Violett, am empfindlichsten die aus spectralem Roth und Blaugrün. Im Roth ist die weisse Valenz im Vergleich zu der farbigen Valenz (d. h. der rothen und der schwächeren gelben Valenz) sehr geringfügig, und ebenso ist im Violett dieses Verhältniss relativ günstig für die farbigen Valenzen. Schon Helmholtz gibt an, dass es am

leichtesten sei, Weiss aus Gelb und Blau zu mischen, schwieriger schon aus Gelb und Violett, sehr schwer aus Roth und Blaugrün. Hier genügen schon die geringsten Ungleichmässigkeiten der Vertheilung beider Farben in der gesehenen Lichtfläche, um die Componenten zu erkennen. Nur mit den besten Methoden der Lichtmischung ist hier überhaupt ein gleichmässiges Weiss oder Grau zu erzielen.

Die Lichtabsorption seitens der Macula oder einer stärker tingirten Linse erstreckt sich (s. u.) bis ins Grüngelb des Spectrums, und nur Gelb, Orange und Roth werden nicht merklich absorhirt. Wenn ich daher aus spectralem Roth und Grüngelb für B. ein im Tone reines Gelb mische, so erscheint mir dies Gelb keineswegs rein, sondern auffallend grünlich und nur mit Hilfe einer vor das Auge gehaltenen passenden Macula sehe ich es rein gelb. Umgekehrt sieht B. das für mein Auge passende Mischgelb stark röthlich. Aus zwei homogenen Lichtern gemischtes Grün oder Blau eignete sich, vielleicht wegen der zu geringen Sättigung, nicht zu analogen Versuchen.

Aus spectralem Roth und Gelbgrün kann man ein Gelb mischen, welches nahezu und für manche Personen, wie z. B. für B., scheinbar ebenso gesättigt ist, wie das spectrale Gelb. Hier ist also für B. eine wenigstens sehr angenähert richtige Gleichung möglich. Stelle ich also für ihn in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes das homogene Gelb ein, so kann ich ihm in der anderen Hälfte dasselbe Gelb aus homogenem Roth und Gelbgrün mischen. Diese seine Gleichung erscheint mir nun höchst ungleich, das Mischgelb sehe ich deutlich grünlich und weniger gesättigt als das homogene Gelb; ebenso S., nur ist für ihn die Sättigungsdifferenz, seiner Angabe nach, eine sehr bedeutende. Durch eine passende Macula betrachtet, erscheint auch mir das für B. eingestellte Mischgelb im Tone gleich dem homogenen. Umgekehrt sieht B. das Mischgelb meiner Gleichung, die freilich wegen des Sättigungsunterschiedes keine wahre Gleichung ist, sehr röthlich. Man kann eine solche falsche Gleichung, bei der es nur darauf ankommt, auf beiden Seiten denselben Farbenton und möglichst gleiche scheinbare Helligkeit einzustellen, eine Farbentongleichung oder kurz Tongleichung nennen.

Ich sehe das Mischgelb zwar minder gesättigt, bin aber wie gesagt doch im Stande, das für mich dem homogenen Gelb

im Tone gleiche Gelb in ziemlich constanter Weise einzustellen, S. dagegen ist dabei sehr schwankend, weil für ihn die Sättigungsdifferenz zu gross ist. Je ungesättigter eine Farbe ist, desto grösseren Einfluss gewinnen allerlei Nebenumstände, insbesondere die eben vorhandene Stimmung der Netzhaut. Für Personen mit schwächerem Farbensinne ist daher die Vergleichung zwischen homogenem und dem aus spectralem Roth und Gelbgrün gemischten Gelb zur Untersuchung der Absorptionsverschiedenheiten ohne eigentlichen Werth, weil sie dabei zu grosse Fehler machen, und die Ergebnisse sehr davon abhängig sind, ob man das reine homogene Gelb oder ein grünliches oder röthliches homogenes Gelb eingestellt hat.

Sehr eindringlich waren die Verschiedenheiten zwischen B., S. und mir, wenn ich für B. Gleichungen zwischen Grüngelb und einem Gemisch aus Orange und einem gelblichen Grün machte. Für B. war eine solche Gleichung auch in Betreff der Sättigung möglich. Ich selbst sehe das Mischgrün in B.'s Gleichung weniger gesättigt und im Vergleich zu dem homogenen Grüngelb als reines Grün, S. aber sah das Mischgelb sogar bläulich grün (durch Contrast) und sehr auffallend weniger gesättigt. Eine Gleichung zwischen dem relativ satten Grüngelb und der weisslichen Farbe, welche für ihn aus der Mischung der beiden oben genannten Lichtarten entsteht, vermochte er überhaupt nicht mit constantem Ergebniss einzustellen.

Aus Blaugrün oder Grünblau und Violett eine brauchbare Gleichung mit reinem homogenen Blau herzustellen, ist nicht gelungen, weil das Mischblau stets viel weniger gesättigt war, als das homogene Blau. Sobald aber die Sättigungsdifferenz zu gross wird, nimmt auch die Zuverlässigkeit der Ergebnisse schnell ab. Das viel gesättigtere homogene Blau vernichtet in dem an und für sich viel weniger gesättigten Mischblau noch einen weiteren Theil der blauen Empfindung durch den Contrast und es bleibt ein Blaugrau oder Graublau übrig, welches durch ganz geringfügige Nebenumstände sehr leicht in's Grünliche oder Röthliche umschlägt. Ist vollends das homogene Blau nicht ganz reines Blau, so wird die Verwicklung durch den Contrast noch grösser.

Ich gedenke diese Versuche nach besserer Methode zu wiederholen, indem ich einerseits wieder Grün oder Grünblau mit

Violett mische, das auf der anderen Seite erscheinende homogene reine Blau aber durch homogenes reines Gelb ebenso wenig gesättigt mache, als es das Mischblau ist. So wird eine, zu vergleichenden Versuchen an verschiedenen Personen brauchbare wahre Farbengleichung möglich werden.

Vorerst mögen die gegebenen Beispiele für die individuellen Absorptionsverschiedenheiten im Auge der verschiedenen Farbensichtigen genügen.

In sehr schlagender Weise verrathen sich bei Rothgrünblinden die Verschiedenheiten der Licht-Absorption bei folgenden Gleichungen:

Macht man für Rothgrünblinde eine Gleichung zwischen dem für sie farblosen Grün und einem Gemisch aus spectrumalem Roth und Violett, so bedarf der relativ blausichtige Farbenblinde hierzu ein viel weniger helles Grün als der gelbsichtige Farbenblinde. Das spectrale Roth hat, wie gesagt, nur minimale weisse Valenz. Der blausichtige Farbenblinde bedarf aber sehr wenig Violett, um mit der blauen Valenz desselben die gelbe des spectralen Roth unwirksam zu machen und die Mischung farblos zu sehen. Es ist also die weisse Valenz und die Helligkeit der letzteren wesentlich nur durch die weisse Valenz des spärlich beigemischten Violett bedingt. Um nun diesem wenig hellen Weiss das Weiss gleich zu machen, als welches er das eingestellte homogene Grün sieht, bedarf es ebenfalls nur einer geringen Helligkeit des letzteren.

Der relativ gelbsichtige Farbenblinde aber bedarf, um aus spectrumalem Roth und Violett ein farbloses Licht zu mischen, relativ viel Violett, wodurch also *ceteris paribus* sein Mischweiss eine viel grössere weisse Valenz und entsprechende Helligkeit erhält. Um nun diesem helleren Weiss das ihm farblos erscheinende Grün gleich zu machen, muss er diesem ebenfalls eine entsprechende grössere Helligkeit geben. Der gelbsichtige Farbenblinde stellt also zur Gleichung mit dem für ihn farblosen Roth ein relativ helles, der blausichtige Farbenblinde aber ein relativ dunkles Grün ein.

Aus analogem Grunde stellt der gelbsichtige Farbenblinde zur Gleichung zwischen weissem Tageslichte und einer Mischung aus spectrumalem Roth und Violett ein viel helleres Weiss ein als der blausichtige Farbenblinde und was dergl. mehr ist.

Wie die aus spectralen Lichtern gebildeten Gleichungen für verschiedene Rothgrünblinde verschieden ausfallen, so auch, wie sich von selbst versteht, die meisten Farbengleichungen, welche man mittels Pigmentlichtern auf dem Farbenkreisel herstellt, nur sind die Verhältnisse hier nicht so übersichtlich wie bei den Spectrallichtern, und ich habe deshalb auf die Gleichungen am Farbenkreisel hier um so weniger Rücksicht genommen, als ich dieselben schon in meinem Vortrage ¹⁾ über Farbenblindheit kurz erläutert habe. —

Schon Maxwell erhielt, als er Gleichungen zwischen je drei Spectralfarben und weissem Tageslicht herstellte, bei verschiedenen Beobachtern etwas verschiedene Ergebnisse und suchte dieselben aus einer verschieden starken Absorption durch die Macula zu erklären. Später fanden v. Kries und v. Frey, ²⁾ welche Gleichungen aus je zwei homogenen „Complementärfarben“ und Weiss herstellten, dass nur die Gleichungen zwischen einem aus „Gelb und Indigo“ gemischten Weiss und dem weissen Tageslichte für beide Beobachter gültig waren. „Die weniger brechbaren Paare“ (von complementären Spectralfarben), „erschieden für Frey“ (neben dem Mischweiss) „grünlich, wenn sie für Kries richtig complementär sind, umgekehrt für Kries purpur, wenn sie für Frey richtig sind. Das entgegengesetzte Verhalten zeigte sich bei den brechbareren Paaren.“

Ferner mischten die Genannten die einzelnen Farben der langwelligen Spectralhälfte aus Roth (Linie *C*) und Grün (Linie *b*) und stellten eine Gleichung her zwischen einem dieser Mischlichter und dem homogenen Lichte von gleichem Farbentone, wobei dem homogenen Lichte immer kleine Mengen von Weiss zugemischt werden mussten. In analoger Weise mischten sie alle Farbtöne der kurzwelligen Spectralhälfte aus Grün (*b*) und Violett (*G*) und stellten Gleichungen mit den homogenen Lichtern gleichen Farbentones her. Das Ergebniss war, dass zu einer und derselben Mischung zweier Spectrallichter v. Frey stets eine Farbe kleinerer Wellenlänge einstellte als v. Kries. Sie machten auch darauf aufmerksam, dass ein Unterschied ganz derselben Art, wie er zwischen ihnen (wenn sie mit dem Netzhautcentrum

1) Dieses Jahrbuch I. c.

2) Arch. f. Physiol. von du Bois-Reymond 1881. S. 336.

beobachteten) sich zeigte, auch für jeden einzelnen (und sogar noch viel stärker) zwischen Netzhautcentrum und Peripherie stattfindet, was z. Th. schon von Helmholtz beobachtet und richtig erklärt worden war. Hierin fanden sie insbesondere den Beweis für die Annahme, dass die individuellen Unterschiede zwischen ihnen (beim Sehen mit dem Netzhautcentrum) aus der verschiedenen starken Tingirung der Macula lutea zu erklären seien.

Der Schlüssel zur Erklärung der individuellen Verschiedenheiten der Rothgrünblinden war also schon durch die Untersuchungen von Helmholtz und Maxwell gegeben und durch Max Schultze (s. u.) sowie durch die Untersuchungen von Kries und Frey abermals nahe gelegt. Dass kein Gebrauch davon gemacht wurde, lag einerseits in der Voreingenommenheit für die Young-Helmholtz'sche Theorie und den daraus folgenden irrigen Ansichten über das Wesen der Farbenblindheit, anderseits aber darin, dass bei den Gleichungen für Farbenblinde die individuellen Unterschiede sich in einer für den Farbentüchtigen so auffälligen Weise geltend machen müssen, während sie in den Gleichungen für Farbentüchtige relativ geringfügig erscheinen. Macht man z. B. für einen Farbentüchtigen eine Gleichung zwischen einem aus Gelb und Blau gemischten Weiss und dem weissen Tageslichte, so kann sie auch für einen anderen Farbentüchtigen passen, weil die Folgen einer verschiedenen Lichtabsorption sich auf beiden Seiten der Gleichung in nahezu oder ganz derselben Weise geltend machen. Die sämtlichen blauwerthigen Strahlen des weissen Tageslichtes haben für einen Blausichtigen eine viel grössere blaue Valenz als für den Gelbsichtigen, aber dasselbe gilt von dem homogenen blauen Vergleichslichte, und wenn der Verlust an blauer und weisser Valenz, welchen das Licht im stärker pigmentirten Auge im Vergleich zum schwächer pigmentirten erleidet, für die Gesamtheit aller blauwerthigen Strahlen des Mischlichtes im Durchschnitt eben so gross ist, wie für das homogene blaue Licht, so wird dieselbe Gleichung für beide Augen giltig sein, um so mehr, weil aus oben angeführtem Grunde solche Gleichungen überhaupt sehr wenig empfindlich sind. Was aber in der beschriebenen Weise für ein bestimmtes „complementäres Farbenpaar“ gilt, wird für andere Paare nicht gelten können, weshalb hier die Folgen der Verschiedenheit der Absorption in den einzelnen Augen schon merklich hervortreten.

Stellt man dagegen einem Farbenblinden eine Gleichung zwischen einem Gemisch aus spectralem Gelb und Blau und jenem homogenen Lichte her, welches dem Farbenblinden farblos erscheint (d. i. ein bestimmtes Grün), so passt sie nur für diejenigen Farbenblinden, deren Augen sich in Betreff der Lichtabsorption gleich verhalten, für die andern aber, wie oben auseinandergesetzt wurde, gar nicht, weder in der Farbe noch in der Helligkeit.

Die individuellen Verschiedenheiten der Farbentüchtigen treten erst dann grell zu Tage, wenn man gewisse Farbmischungen ohne Vergleichslicht macht, oder insoweit man auch für sie angenähert Gleichungen zwischen einem Gemisch zweier homogenen Farben einerseits und einer homogenen Farbe andererseits herstellen kann, was freilich nur in sehr beschränktem Maasse möglich ist.

Wenn die Empfindung des reinen Roth durch ein homogenes Licht aus dem ultrarothem Theile des Spectrums erzeugt werden könnte, und wenn sich aus dem spectralen gelblichen Roth und dem spectralen Violett ein reines Roth von gleicher Sättigung wie jenes angenommene spectrale reine Roth mischen liesse, so wäre es Niemandem aufgefallen, dass verschiedene Rothgrünblinde so verschiedene Farbengleichungen einstellen. Denn dann hätte man längst gefunden, dass zu einer Gleichung zwischen dem angenommenen reinen Roth und einer Mischung von gelblichem Roth und Violett der eine Farbentüchtige sehr viel mehr Violett bedurft hätte als der andere. Der Blausichtige würde dann ein Mischroth als dem homogenen Roth gleich eingestellt haben, welches dem Gelbsichtigen orange, und der Gelbsichtige ein solches, welches dem Blausichtigen blauroth erschienen wäre.

Es gehört endlich hieher eine Beobachtung von Rayleigh¹⁾, welche von Donders²⁾ bestätigt wurde. Ersterer fand, dass zur Herstellung einer Gleichung zwischen spectralem Gelb und einem Gemisch von spectralem Roth und Grün das Mischungsverhältniss der letzteren für verschiedene Beobachter ein verschiedenes sein musste, und dass das Mischgelb, welches für die Einen passte, den Anderen grünlich, beziehungsweise röthlich erschien, wie ich

1) Nature XXV. 1881. S. 64. (Citirt nach Nagel's Jahresber. für Ophthalm.)

2) Arch. für Ophthalm. XXX. I. Atbh. S. 1.

dies oben als eines der Beispiele für die Verschiedenheit der Lichtabsorption in verschiedenen Augen mit angeführt habe.

Donders erörterte dieselbe Erscheinung unter der Ueberschrift: „Uebergangsformen vom System der Grünblinden zum normalen.“ Er mischte Gelbgrün aus der Gegend der Thalliumlinie mit Roth aus der Gegend der Lithiumlinie und fand einige Personen, welche relativ viel mehr grünes Licht zur Herstellung des Mischgelb brauchten, als alle Uebrigen. Diese waren, wie er sagt, mit schwachem Farbensinn ausgestattet.

III.

Untersucht man eine in der besprochenen Art behandelte macula lutea im Mikrospectrum bei schwacher Vergrößerung, so überzeugt man sich leicht, dass von ihr nicht bloß die violetten und blauen, sondern auch noch die grünen Strahlen, wenn auch schwächer als die blauen absorbiert werden. Nur im Gelb und Roth bemerkte ich keine Spur einer Asorption.

Ein viel empfindlicheres Reagens als das Mikrospectrum sind für die Untersuchung von Absorptionsercheinungen die angehöerten Farbgleichungen oder Tongleichungen zwischen einem homogenen Lichte und einem Gemische zweier homogener Lichte. Mischt man aus einem spectralen Roth und einem spectralen Grün ein Gelb und stellt daneben das spectrale Gelb von möglichst gleichem Farbentone und gleicher Helligkeit ein, so erscheint das Mischgelb durch eine Macula betrachtet röthlich, um so stärker, je kräftiger die Färbung der Macula ist, während das homogene Gelb durch Contrast einen Stich in's Grün annimmt. Dies beweist also die Absorption des grünen Lichtes durch die Macula. Je gelblicher man das zur Mischung benutzte grüne Licht wählt, desto schwächer wird, so viel ich sah, die Absorption, aber im Grüngelb ist sie noch sehr deutlich, ja ich habe auf diese Weise noch mit Bestimmtheit eine schwache Absorption des grünlichen Gelb von der Wellenlänge $565 \mu\mu$ mittels zweier hintereinander liegender schwach gefärbter Maculae nachweisen können. Das homogene Gelb hatte die Wellenlänge $578 \mu\mu$, das Mischgelb war aus dem langwelligsten unter den gegebenen Verhältnissen noch hinreichend intensiven Roth und dem erwähnten grünlichen Gelb

gemischt. Ferner habe ich Tongleichungen zwischen einem Gemisch aus Violett und Grün einerseits und homogenem reinen Blau andererseits gemacht, und dabei beide Seiten der Gleichung viel dunkler und das Mischblau grünlich werden sehen. Im Ganzen erhielt ich den Eindruck, dass alle Strahlen vom Violett bis zum Grüngelb von dem Farbstoffe der Macula absorbirt werden und zwar um so stärker, je kurzwelliger das bezügliche Licht ist.

Aber ich lasse dahingestellt, ob die Absorptionscurve eine regelmässige oder unregelmässige Form hat. Weitere genauere Untersuchungen nach einer vervollkommenen Methode habe ich in Aussicht genommen.

Die relativ starke Absorption der grünen Spectrallichter möchte ich besonders betonen. Sie verräth sich auch an der Macula, welche, je gesättigter sie gefärbt ist, um so mehr in's Orange spielt oder an der stärkst gefärbten Stelle geradezu orangefarbig ist.

Die Macula ist jedoch nicht der einzige Theil des Auges, welcher in Betreff der farbigen Absorption in Betracht kommt; vielmehr spielt auch die Linse eine sehr wichtige Rolle.

Im Jahre 1881 führten auf meine Veranlassung Dr. Biedermann und Dr. Singer eine längere Untersuchung über die periphere Farbenblindheit aus, indem sie mittels eines eigens zu diesem Zwecke gebauten Farbkreisels Farbgleichungen ganz in derselben Weise zusammenstellten, wie ich sie zur Untersuchung der Farbenblinden zu benutzen pflege. Das nach meinen eigenen Untersuchungen schon zu erwartende Resultat war, dass sich die periphere Netzhaut des Farbentüchtigen in Betreff der Rothgrünempfindung, so weit man dies eben aus solchen Farbgleichungen zu beurtheilen vermag, ebenso verhält wie die centrale der Rothgrünblinden.

Durch eine sehr mühsame und zeitraubende Untersuchung stellte weiterhin Dr. Biedermann fest, dass die Newton'sche Mischregel auch für die periphere Netzhaut giltig ist. Es liessen sich nämlich die verschiedenen Gleichungen durch Rechnung auseinander ableiten.

Ich hatte nun erwartet, dass B. ganz dieselben Gleichungen erhalten werde, wie S., da die untersuchte Netzhautstelle so excentrisch lag, dass die verschiedene Pigmentirung und Ausdehnung der Macula nicht mehr in Betracht kommen konnte.

Zu meiner Ueberraschung zeigten sich immer noch ganz gesetzmässige Differenzen in den Gleichungen Beider. Allerdings entsprachen sie einem viel geringeren Unterschiede der Farberception als demjenigen, der für das directe Sehen zwischen B. und S. besteht, aber sie waren doch nicht klein genug, um auf nebensächliche Ursachen zurückgeführt werden zu können. Ich kam daher auf den Gedanken, dass eine verschiedene Tinction der Linse die gefundenen Unterschiede veranlassen könne.

Becker bemerkt in Betreff der Färbung der Linse Folgendes¹⁾: „Im neugeborenen Kinde ist die Linse vollkommen wasserklar“ „In der Regel kann man an Linsen, welche den Leichen 25- bis 30jähriger Individuen entnommen sind, schon eine Spur von gelber Färbung des Kernes wahrnehmen und fühlt beim Zerdrücken in der Mitte der Linse einen grösseren Widerstand. Ausnahmsweise vermisst man Beides noch bei 40jährigen Personen.“ Während es vorkommt, dass sich im höchsten Alter bei Greisen von 80 bis 90 Jahren die Linse noch ohne alle Färbung zeigt“ „ist in einzelnen Fällen schon in viel früherer Zeit (mit 50 Jahren) die ganze eigentliche Linse zu einem homogenen, dunkelgelben, selbst rothbraunen Körper zusammengebacken.“

Ich selbst habe die Linse der Neugeborenen in allen 10 Fällen, die mir zur Beobachtung kamen, zwar ganz klar aber doch farbig gefunden, und zwar auch dann, wenn ich sie wenige Stunden nach dem Tode untersuchen konnte. Selbst die Linsen eines asphyktisch geborenen Kindes, die ich $\frac{1}{2}$ Stunde nach dem Aufhören des Herzschlages untersuchen konnte, waren gefärbt. Die Färbung ist gelbgrün, allerdings nur schwach aber doch sehr deutlich, wenn man die Linse unter Wasser in eine weisse Porzellanschale bringt. Ausserhalb des Wassers übersieht man die Färbung sehr leicht wegen der Lichtringe, die durch die starke Brechung des Lichtes entstehen.²⁾ Von der Macula konnte ich bei Neugeborenen (deren Alter 4 Wochen nie überschritt) nur bisweilen eine Andeutung bemerken. Vielleicht wurde sie durch die Trübung der Netzhaut verdeckt, denn Max Schultze

1) Handb. d. Ophthalm. von V. Graefe und Saemisch V. S. 170.

2) Ich habe mich bestimmt überzeugt, dass diese Färbung der Linse nicht in Analogie zu bringen ist mit der bisweilen sehr deutlichen icterischen Färbung der Cornea.

(s. u.) gibt an, in der Netzhaut eines während der Geburt gestorbenen, reifen Kindes einen gelblichen Anflug unter dem Mikroskop gesehen zu haben.

Viel entschiedener grüngelb, aber ebenfalls absolut klar, waren schon die Linsen eines $\frac{5}{4}$ Jahre alten Knaben, welche 11 Stunden nach dem Tode untersucht wurden. Die stärkere Färbung kann hier durch die schon viel bedeutendere Grösse der Linse bedingt gewesen sein. Ebenso verhielten sich die Linsen eines 10 Stunden nach dem Tode untersuchten 3jährigen Knaben. Die Macula war sehr deutlich und in der Mitte bereits deutlich gelb, 5 mm im längsten Durchmesser. Bei einem 8jährigen Knaben fand ich eine Linse, die so schwach gefärbt war, wie die eines Neugeborenen. Es ist bekannt, dass nach Entfernung der pigmentirten Linse durch Staaroperation die Operirten angeben, Alles blau zu sehen.

Ich habe an den stark gefärbten Linsen erwachsener Männer die Absorptionserscheinungen in derselben Weise untersucht, wie an der Macula und erhielt ganz analoge Ergebnisse. Das grüne Licht wird ebenfalls noch stark absorbirt, und mit Grün von der Wellenlänge der Thalliumlinie erhielt ich mit einer in's Orange gehenden Linse noch sehr auffallende Ergebnisse.

Die Färbung der Linse ist also eine ganz allgemeine und constante Erscheinung. An den Linsen der Neugeborenen macht sich nur erst die Absorption der violetten Strahlen bemerklich, daher die grüngelbe Farbe. Je mehr die Pigmentirung zunimmt, desto mehr fällt der Verlust auch der blauen und grünblauen Strahlen ins Gewicht, die Linse erscheint rein gelb. Endlich wird auch die Absorption der grünen Strahlen merklich, und die Linse nimmt eine rothgelbe Färbung an. Bei der Macula ist die Farbenfolge ganz dieselbe. Macula und Linse wirken also in demselben Sinne. Ob das Pigment beider dasselbe ist oder sich wenigstens optisch ganz gleich verhält, und ob ausser den grossen quantitativen auch qualitative individuelle Verschiedenheiten des Pigments der Macula vorkommen, muss ich dahin gestellt sein lassen.

Schon Max Schultze betonte¹⁾ die grossen individuellen Verschiedenheiten der Macula und suchte daraus Verschieden-

1) Ueber den gelben Fleck der Retina. Bonn 1866.

heiten des Farbensinns abzuleiten und zu erklären, sowie er auch die durch Santoningenuss entstandene „Farbenblindheit“ auf eine durch das Santonin erzeugte stärkere Färbung der Macula zurückführen wollte. Ueberhaupt sei zur Erklärung vieler Fälle von „Violettblindheit“ eine intensivere Färbung des gelben Fleckes ausreichend. Das wäre freilich eine ganz andere Art von Violettblindheit, als die von den Anhängern der Dreifarben Theorie angenommene.

IV.

Neben den durch das Maass der Pigmentirung der Macula und der Linse veranlassten Verschiedenheiten des Farbensinnes bedingt besonders das verschiedene Verhältniss, in welchem die drei Empfindungspaare des Lichtsinnes, nämlich die Weiss-schwarzempfindung, die Blaugelbempfindung¹⁾ und die Rothgrünempfindung zu einander stehen, grosse individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes.

Untersuchen wir die Netzhaut eines Farbentüchtigen, so finden wir, dass die Rothgrünempfindung im Vergleich zu den beiden anderen Empfindungspaaren umsomehr abnimmt, je weiter wir uns von der Stelle des directen Sehens entfernen. Aber auch das Verhältniss der Blaugelb-Empfindung zur Schwarzweissempfindung bleibt nicht ungeändert, vielmehr nimmt auch die erstere im Vergleich zur letzteren nach der Peripherie der Netzhaut hin mehr und mehr ab. So kommt es, dass in einiger Entfernung von der fovea centralis die Netzhaut des Farbentüchtigen sich in Betreff der Rothgrünempfindung nahezu ebenso verhält, wie die centrale Netzhaut des Rothgrünblinden, und dass in der Nähe der Peripherie sich zu dieser mehr oder weniger vollständigen Rothgrünblindheit auch noch eine nahezu vollständige Blaugelbblindheit gesellt. Man blicke durch ein ganz nahe vor das Auge gebrachtes rothes Glas nach einer Marke auf einer grossen weissen Fläche und man wird erstaunt sein, wie eng dann das Gesichtsfeld verglichen mit dem Gesichtsfelde des andern Auges ist, auch wenn man vor letzteres ein blaues Glas hält, welches dunkler erscheint als das rothe.

1) Ich müsste nach Analogie mit Rothgrünempfindung richtiger Gelbblauempfindung sagen, vermeide dies aber aus sprachlichen Rücksichten.

Der Abstand von der fovea centralis, bei welchem die Rothgrünempfindung untermerklich wird, und welcher nach der Schläfenseite der Netzhaut bekanntlich viel kleiner ist, als nach der Nasenseite, unterliegt überdies grossen individuellen Verschiedenheiten. Je kleiner dieser Abstand wird, desto mehr nähert sich das Auge dem des Rothgrünblinden, bei welchem das Gebiet der Rothgrünempfindung auf Null reducirt ist. Auch das Verhältniss der Blaugelbempfindung zu den beiden anderen Paaren, insbesondere zur Schwarzweissempfindung kann individuell verschieden sein.

Wie sich nun hierbei auf der peripheren Netzhaut individuelle Verschiedenheiten in Bezug auf das Verhältniss der Entwicklung der drei Empfindungspaare zeigen, so kann dieses Verhältniss auch auf der Netzhautmitte verschieden sein.

Hieraus ergeben sich mancherlei auffallende Verschiedenheiten in der Farbenperception, sowohl bei Farbentüchtigten als bei Rothgrünblinden unter einander. So sieht S. das Spectrum am rothen Ende nicht so weit wie ich, und ich wieder lange nicht so weit wie B. Das Roth am Ende des Spectrums hat ausser der rothen nur schwache gelbe und nur minimale weisse Valenz, verdankt daher seine Helligkeit, beziehungsweise Sichtbarkeit ganz überwiegend der rothen Empfindung, die es erweckt. Ist nun die Rothgrünempfindung im Vergleich zu den beiden anderen Empfindungspaaren etwas herabgesetzt, wie dies bei S. der Fall zu sein scheint, so zeigt sich das Spectrum verkürzt. B., welcher sehr kräftige Rothgrünempfindung hat, sieht daher das Spectrum am rothen Ende noch wesentlich weiter als ich. Dass diese Verkürzungen des Spectrums aber nicht etwa ihren Grund darin haben, dass die sehr langwelligen rothen Strahlen meine oder Dr. Singer's Netzhaut überhaupt nicht zu erregen vermöchten, geht daraus hervor, dass wir beide die rothen Rubidiumlinien recht wohl zu sehen vermögen, wenn sie nur intensiv genug sind. B. freilich sieht sie noch glänzend leuchten, wenn sie mir nur sehr matt erscheinen, und S. Mühe hat, sie überhaupt zu sehen.

Am violetten Ende des Spectrums sind die individuellen Verschiedenheiten deshalb nicht so leicht festzustellen, weil die violetten Strahlen neben der rothen und blauen auch noch relativ erhebliche weisse Valenz besitzen, und daher leichter sichtbar bleiben, auch wenn die rothe Empfindung schon der Schwelle

nahe ist. So sieht B. in der Nähe des kurzwelligen Spectralendes noch schön gesättigtes Rothblau, wo ich nur noch ein wenig gesättigtes weissliches Blau sehe.

Beim Rothgrünblinden fällt die Rothgrünempfindung ganz weg; für ihn also ist nothwendig das rothe Ende des Spectrums verkürzt im Vergleiche mit einem Farbentüchtigen, welcher in Bezug auf die beiden übrigen Empfindungspaare ihm gleich steht, oder ihn übertrifft.

So sah in der That keiner der von mir untersuchten Rothgrünblinden (auch nicht die sogenannten Grünblinden) das Spectrum am rothen Ende so weit wie B., und nur einige etwa so weit wie ich. Hat der Rothgrünblinde einen kräftigen Blaugelbsinn, so reicht die gelbe Valenz der rothen Strahlen hin, ihm dieselben ziemlich weit nach dem Ende hin sichtbar zu machen. Aber selbst diejenigen Rothgrünblinden, welche das Spectrum am rothen Ende wesentlich verkürzt sehen, sind fast immer im Stande, die rothen Rubidiumlinien noch zu bemerken, natürlich aber in gelber Farbe, nicht roth. Nur bei einem Rothgrünblinden ist es mir nicht gelungen, ihm diese Linien sichtbar zu machen, doch hat dies vielleicht nur daran gelegen, dass er sie in dem ganz dunklen Gesichtsfelde wegen falscher Stellung des Auges zum Ocular des Spectroskops nicht gefunden hat. Ich gedenke den Versuch gelegentlich mit ihm zu wiederholen.

Hat ein Rothgrünblinder zugleich nur schwache Blaugelbempfindung, so tritt für ihn begreiflicher Weise eine relativ stärkere Verkürzung des Spectrums ein; und ist auch seine Weissempfindung herabgesetzt, so kann es zu bedeutender Verkürzung des Spectrums am rothen Ende kommen, weil selbst die Strahlen des Orange nur eine relativ geringe weisse Valenz besitzen, welche erst in der Nähe der Natriumlinie bedeutend wird. Andererseits ist denkbar, dass selbst bei einer, neben der Rothgrünblindheit, sehr stark herabgesetzten Blaugelbempfindung das Spectrum nicht wesentlich verkürzt erscheint, wenn die Weissempfindung eine relativ sehr kräftige ist.

Natürlich muss man bei solchen Untersuchungen durch ein vor den Collimatorsapalt gebrachtes rothes Glas das viele falsche Licht des Spectralapparates möglichst beseitigen und dafür sorgen, dass überhaupt soweit möglich nur dasjenige homogene Licht in's

Auge des Beobachters gelangen kann, auf dessen Sichtbarkeit die verschiedenen Personen vergleichend geprüft werden sollen.

Meine bisherigen Beobachtungen an Farbentüchtigten führten mich auf die Vermuthung, dass zwischen der Stärke der farbigen Absorption und der Energie der Farbenempfindung im Vergleich mit der der Weissempfindung ein gewisser innerer Zusammenhang bestehe. Es ist mir aufgefallen, dass diejenigen, deren Farbsehen auf eine relativ geringere Färbung der Macula schliessen liess, auch eine im Vergleich zur Weissempfindung weniger energische Rothgrün- und Blaugelbempfindung zu haben schienen. Die analoge Beobachtung machte ich an Rothgrünblinden. Alle diejenigen, bei welchen ich eine stärkere Absorption durch das gelbe Pigment annehmen musste, schienen mir auch eine relativ kräftige Blaugelbempfindung zu haben. Dem entsprechend sahen sie auch das Spectrum vermöge ihrer stärkeren Gelbempfindung am rothen Ende weiter, als diejenigen, bei denen eine relativ schwache Pigmentirung der Macula anzunehmen war. Analoges zeigte sich bei den Farbentüchtigten.

Es machte mir also den Eindruck, als ob eine schwache Pigmentirung insbesondere der Macula von einer im Vergleich zur Weissempfindung mehr oder minder herabgesetzten Blaugelbempfindung und Rothgrünempfindung begleitet sei. In analoger Weise sehen wir an der Netzhaut des Farbentüchtigen in der Gegend der Macula die Blaugelbempfindung und die Rothgrünempfindung im Vergleiche zur Weissempfindung kräftig entwickelt; je weiter nach der Peripherie hin aber die Netzhaut untersucht wird, desto mehr kommt die Weissempfindung ins Uebergewicht über die Farbenempfindung. Vielleicht bedarf die Netzhaut des durch die Absorption bewirkten Schutzes vor dem Lichte überhaupt und insbesondere vor den stärker brechbaren Strahlen, um eine kräftige Farbenempfindung, insbesondere Rothgrünempfindung zu vermitteln.

Diesen Betrachtungen gegenüber muss aber andererseits streng daran festgehalten werden, dass auch eine relativ sehr starke farbige Absorption nicht vor Rothgrünblindheit schützen kann, wie dies die gelbsichtigen Roth-Grünblinden beweisen.

Die Rothgrünblinden bilden eine Classe für sich und sondern sich durch den vollständigen Mangel der Rothgrünempfindung scharf von den Farbentüchtigten. Dieselben individuellen Verschiedenheiten des Farben-

sinnes aber, welche wir bei den Farbentüchtigen finden, zeigen sich auch bei den Farbenblinden, nur mit dem Unterschiede, dass sie sich bei Ersteren in Bezug auf alle drei Empfindungspaare, bei den Letzteren aber nur in Bezug auf die Schwarzweiss- und die Blaugelbempfindung bemerklich machen können. Denke ich mir die von mir in Betreff der Verschiedenheiten ihres Farbensinnes näher untersuchten Farbentüchtigen in einer Reihe geordnet, so steht am einen Ende S., am andern B., dazwischen die übrigen und ich selbst. Denke ich mir ferner bei einem jeden dieser Reihe angehörigen die Rothgrünempfindung weggefallen, so erhalte ich eine entsprechende Reihe Rothgrünblinder, die sich in Bezug auf ihren Farbensinn mehr oder weniger genau mit einzelnen jener wirklich Rothgrünblinden decken, die mir zur Untersuchung kamen. Schliesslich will ich noch besonders erwähnen, dass die in diesem Abschnitt besprochenen Verschiedenheiten des Verhältnisses der Empfindungspaare bei Farbenblinden auf die Art der Verwechslungsgleichungen keinen Einfluss nehmen können.

Ob der von Manchen angenommenen strengen Theilung der Rothgrünblinden in „Roth-“ und „Grünblinde“ eine gewisse Berechtigung insofern zukommt, als die höheren Grade von Blausichtigkeit oder Gelbsichtigkeit häufiger vorkommen, als die Mittelgrade, muss ich dahingestellt sein lassen. Um dies zu entscheiden, müsste man eine grössere Zahl intelligenter und zuverlässiger Rothgrünblinder unter genau denselben Umständen nach einer guten Methode untersuchen. Am besten würde sich hierzu, so viel ich sehe, die Gleichung zwischen einem spectralen Grün und einer Mischung aus spectrumalem Roth und Violett eignen. Die Wellenlängen dieser drei Spectrallichter müssten immer genau dieselben, und auch die Lichtquelle bei jeder Untersuchung genau dieselbe sein. Hierzu wäre künstliches u. zw. elektrisches Licht nöthig, weil anderes künstliches Licht zu wenig violette Strahlen enthält. Vorläufig wäre es schon von Bedeutung, wenn von drei gleichzeitig untersuchten Rothgrünblinden einer als extrem blausichtig, einer als extrem gelbsichtig und der dritte als ziemlich genau in der Mitte zwischen jenen beiden stehend gefunden würde. Hierbei könnte man die Untersuchung bei gewöhnlichem Tageslichte vornehmen, falls nur der Himmel während der Untersuchung entweder unverändert

rein blau oder mit einer gleichmässigen und constant bleibenden Wolkendecke überzogen wäre.

Unter den wenigen Rothgrünblinden, welche ich aus der viel grösseren Zahl der mir vorgekommenen Farbenblinden zur genaueren Untersuchung herbeiziehen konnte oder wollte, war keiner, dem ich die oben erwähnte genaue Mittelstellung zwischen starker Blau- und starker Gelbsichtigkeit hätte anweisen können. Vielmehr gruppirtten sich die einen mit ihrer allerdings verschiedenen Blausichtigkeit um Dr. Singer, die anderen mit ihrer ebenfalls verschiedenen Gelbsichtigkeit um Professor Biedermann.

Wenn ich dagegen alle von mir an verschiedenen Tagen und bei verschiedenem Tageslichte überhaupt untersuchten Rothgrünblinden berücksichtige und sie z. B. nach der besonders charakteristischen, auf dem Farbenkreisel gemachten Gleichung:

$$\text{Roth} + \text{Blau} = \text{Weiss} + \text{Schwarz}$$

ordne, so erhalte ich eine ziemlich gut zusammenhängende Reihe, in welcher auch die Mittelwerthe vertreten sind. Aber ich kann hierauf aus den früher angeführten Gründen kein Gewicht legen.

V.

Ich benütze die Gelegenheit, um hier einige, den Sinn meiner Worte entstellende Flüchtigkeiten zu corrigiren, welche in der Abhandlung von Donders „Noch einmal die Farbensysteme“ mit untergelaufen sind.¹⁾

Donders gibt einen kurzen Abriss dessen, was ihm von der Theorie der Gegenfarben als das Wesentlichste erscheint, und citirt dabei u. A. mit Anführungszeichen einige Sätze, die ich hier abdrucke, indem ich durch gesperrte Schrift diejenigen Worte bezeichne, welche in dem Donders'schen Citate fehlen.

„Alle Strahlen des sichtbaren Spectrums wirken dissimilirend auf die schwarz-weiße Substanz, aber die verschiedenen Strahlen in verschiedenem Grade. Auf die blaugelbe oder die grünrothe Substanz dagegen wirken nur gewisse Strahlen dissimilirend,

1) Archiv für Ophthalm. XXX. 1.

gewisse andere assimilirend und gewisse Strahlen gar nicht.“

„Gemischtes Licht erscheint farblos, wenn es sowohl für die blaugelbe als für die rothgrüne Substanz ein gleich starkes Dissimilierungs- wie Assimilierungsmoment setzt, weil dann beide Momente sich gegenseitig aufheben, und die Wirkung auf die schwarzweisse Substanz rein hervortritt.“

Man wird zugeben, dass durch das wiederholte Ausfallen der die Assimilirung betreffenden Worte diese Sätze so verändert worden sind, dass der ursprüngliche Sinn nicht herauszufinden ist, vielmehr ein ganz anderer Sinn entsteht. — Donders citirt ferner folgende Stelle aus meinen Mittheilungen: „Was man jetzt einen Rothblinden nennt, ist vielmehr ein Roth-Grünblinder, d. h. es fehlt ihm die rothgrüne Substanz. Dem entsprechend sieht er farblos, was Anderen in einer der beiden Grundfarben Roth oder Grün erscheint; in allen Roth oder Grün enthaltenden Mischfarben aber sieht er nur das Gelb und Blau. In seinem Sonnenspectrum liegen nur zwei Partialspectren, das schwarzweisse und das gelbblaue. Die Stelle des Grün erscheint ihm farblos und theilt sein Spectrum in eine gelbe und eine blaue Hälfte.“

Nach der Ansicht von Donders hätte ich damit „behauptet, dass der Farbenblinde farblos sehe, was andern roth und grün erscheint.“ „Dies ist,“ fährt Donders fort, „thatsächlich nicht der Fall. Beide sieht er“ (der Farbenblinde) „in derselben warmen Farbe, wie alle Farben — Roth, Orange, Gelb, Grün, die im Spectrum an derselben Seite von der neutralen Linie N gelegen sind.“

Was Donders hier meiner Angabe als das Richtige entgegenstellt, ist aber, wie man sieht, eben das, was ich behauptet habe. Alle Farben, welche auf der langwelligen (gelbwerthigen) Seite derjenigen Stelle liegen, welche der Rothgrünblinde, wenn er farbertüchtig wäre, in der Grundfarbe Grün sehen würde, erscheinen ihm gelb, selbstverständlich in verschiedener Helligkeit und Sättigung, folglich sieht er auch spectrales Roth als ein Gelb und ebenso jedes Grün, welches von grösserer Wellenlänge ist, als das ihm farblos erscheinende Grün.

Die Veränderung des Sinnes meiner Worte entsteht bei Donders dadurch, dass er da, wo ich ausdrücklich von

den „Grundfarben“ d. i. von einem ganz bestimmten tonreinen Roth und Grün spreche, von den verschiedenen rothen und grünen Farben überhaupt spricht. Dadurch, dass Donders „warm“ nennt, was andere gelb nennen, wird an der Sache nichts geändert. Was aber unter den Grundfarben Roth und Grün zu verstehen sei, habe ich schon damals ganz ausführlich erörtert.

In meinem Vortrage über Farbenblindheit (dieses Jahrbuch l. c.), der Donders auch bekannt war, da er ihn selbst citirt, habe ich die ganze Sache nochmals in einer Weise auseinandergesetzt, die mir jedes Missverständniss auszuschliessen scheint. Dasselbst sagte ich (§. 2): „Es ist vorgekommen, dass man das Roth des Spectrums, welches Helmholtz als eine Grundfarbe bezeichnet, mit dem von mir als Urfarbe bezeichneten Roth verwechselt hat.“ Ferner: „Ich muss betonen, dass die dem Grün zwischen den Linien E und b entsprechenden Strahlen noch eine gelbe Valenz haben.“ „Alles Grün zwischen den Linien E und b, welches Helmholtz als reines Grün bezeichnet, sticht noch ins Gelbe und wird mit steigender Intensität immer gelblicher.“

Ebendasselbst habe ich angegeben, dass die Stelle des Spectrums, welche mir rein grün erscheint „noch über die Linie b hinaus liegt, in einem Theile des Spectrums also, welchen Helmholtz schon als blaugrün bezeichnet.“¹⁾

Donders behauptet ferner (S. 65), ich hätte die mir zur Beobachtung gekommenen Fälle von Farbenblindheit nicht mit Spectralfarben untersucht. In meinem Vortrage über Farbenblindheit sagte ich: „Ich habe die mir zugänglichen Fälle hauptsächlich am Spectrum und mittels des Farbenkreisels untersucht; Mischungen von Spectralfarben habe ich bis jetzt an Farbenblinden nicht vornehmen können.“ Letzteres habe ich seitdem gethan, aber es ist dabei, wie oben gezeigt wurde, nichts Anderes herausgekommen, als was nach den früher vorliegenden Untersuchungen von vornhinein zu erwarten war.

1) Ausser dem hier besprochenen, auf ein von mir durchaus nicht verschuldetes Missverständniss zurückzuführenden Einwande hat Donders gegen meine Auffassung der Farbenblindheit nichts vorgebracht, was mir nicht durch die in dieser Abhandlung mitgetheilten Thatsachen erledigt scheint.

Schon in meinem Vortrage über die Farbenblindheit hatte ich die individuellen Verschiedenheiten, welche sich unter den Rothgrünblinden zeigen, als nebensächlich hingestellt gegenüber dem Umstande, dass das Wesen der Rothgrünblindheit nicht auf dem Ausfallen einer der drei Energien oder Grundfarben der Young-Helmholtz'schen Theorie, sondern auf dem Unvermögen beruht, roth und grün zu empfinden, übrigens aber eine Erklärung jener individuellen Verschiedenheiten in Aussicht gestellt. Ferner sagte ich am Schlusse meiner Kritik der Theorie von Donders: „Es stände schlecht um die Theorie der Gegenfarben, wenn sie ohne die Stütze, die sie in der pathologischen Farbenblindheit gefunden hat, nicht bestehen könnte. Sie gründete ihre Berechtigung auf die Gesammtheit der Thatsachen des Lichtsinnes und nebenbei auf die physiologische Farbenblindheit der peripheren Netzhaut, und wenn sie, wie Preyer sagt, die Beobachtungen, welche neuerdings an einseitig Farbenblinden gemacht wurden, „fast astronomisch sicher prophezeien“ konnte, so hat dies seinen einfachen Grund darin, dass den Physiologen seine eigene periphere Netzhaut ganz dasselbe lehrt, was den Pathologen erst die einseitig Farbenblinden gelehrt haben.“

Donders druckt nun in seiner Erwiderung nur den ersten Satz ab, den ich hier durch gesperrte Schrift hervorgehoben habe, und bemerkt dazu, dass er darin wohl „das Geständniss erblicken“ dürfe, dass die Theorie der Gegenfarben „von Seite der Farbenblindheit keine Stütze zu erwarten“ habe. Meine Bemerkung besagt wie man sieht in klarer Weise das Gegentheil von dem, was Donders aus derselben herausliest.

Donders sagt sogar: „und nun endlich scheint Hering auf jede Erklärung“ (der individuellen Verschiedenheiten der Rothgrünblinden) „zu verzichten,“ obwohl ich an derselben Stelle mein Versprechen, diese Verschiedenheiten zu erörtern, erneuert und überdies bemerkt hatte: „Allerdings war bisher nicht erklärt, warum einem Theile der Rothgrünblinden das Spectrum verkürzt erscheint und warum die Verwechslungsfarben bei verschiedenen Rothgrünblinden etwas verschieden sind.“ Aus dem Worte „war“ geht hervor, dass ich mir diese Verschiedenheiten bereits zu

erklären wusste, und in der That war meinen Schülern diese meine Erklärung längst bekannt.

Nachdem ich nunmehr die Erklärung, die ich damals in Aussicht stellte, mitgetheilt habe, wird man auch begreiflich finden, dass ich auf dieselbe kein besonderes Gewicht lege. Da bereits Maxwell, Max Schultze, v. Kries und v. Frey individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes aus demselben Gesichtspunkte erklärt hatten, lag es doch nahe genug, die Verschiedenheit der Verwechslungsgleichungen der Rothgrünblinden auf dieselbe Ursache zurückzuführen.

VI.

Neuerdings hat Donders¹⁾ die auf Seite 180 besprochene Beobachtung Rayleigh's näher untersucht. Er findet dieselbe sehr überraschend und sagt: „Sollte es zwei Classen von Augen geben mit normalem Farbensinn, verschieden allein hinsichtlich des Verhältnisses von Roth und Grün erforderlich zur Bildung von Gelb?“ Er mischte Spectralgrün aus der Gegend der Thalliumlinie mit Roth aus der Gegend der Lithiumlinie und sucht die Erklärung dafür, dass die Einen mehr Grün zur Herstellung solchen Mischgelbes brauchen als die Andern „in einer relativ geringen Entwicklung der grünen Valenz in *Tl* im Vergleich zur rothen im *Li*.“ Hiermit meint er eine verschiedene Entwicklung des Vermögens eines Sehorganes, durch das Thalliumlicht in die der grünen, durch das Lithiumlicht in die der rothen Empfindung entsprechende Erregung versetzt zu werden.

Die von Rayleigh gefundene Thatsache wäre hiernach nicht physikalisch d. h. in verschieden starker Absorption des Thalliumlichtes begründet, sondern physiologisch, d. h. in individuell verschiedener Erregbarkeit des Sehorganes gegen Thallium- oder Lithiumlicht.

Donders hat ferner die Stelle des reinen Gelb im Spectrum für verschiedene Personen bestimmt und glaubt, wie aus Allem hervorgeht, dass das Licht von rein gelber Valenz für verschiedene Personen von verschiedener Wellenlänge sei, während nach meiner

1) Du Bois-Reymond Arch. f. Physiolog. 1884. S. 518.

Auffassung für verschiedene Augen nur ein und dasselbe ganz bestimmte Spectrallicht rein gelbe Valenz hat. Dass ein und dieselbe Person das eine Mal diese, das andere Mal jene Stelle des Spectrums rein gelb sehen kann, und dass verschiedene Personen unter den üblichen Versuchsbedingungen individuell verschiedene Angaben über die Lage des reinen Gelb im Spectrum machen, erscheint nach dem oben von mir Erörterten leicht erklärlich und geradezu unausbleiblich.

Ein Blausichtiger z. B., der wie wir sahen, zugleich relativ grünsichtig ist, stellt unter gewöhnlichen Verhältnissen gern ein Gelb kleinerer Wellenlänge als reines Gelb ein, weil er für Grün relativ ermüdet d. h. bis zu einem gewissen Grade adaptirt ist. Der Gelbsichtige verhält sich umgekehrt. Uebrigens kommt dabei, wie wir sahen, sehr viel auf Nebenumstände an, deren Einfluss man kennen muss, wenn man solche Versuche anstellen will.

In derselben Abhandlung kommt *Donders* zu dem Ergebnisse, „dass, wenn (spectrales) Roth und Grün einander neutralisiren, die Intensität ansehnlich geringer ist, als die Summe der Intensitäten beider,“ und bemerkt dazu, dass ihn dieses Ergebniss überrascht habe.

Der citirte Satz bedarf einer Erläuterung, denn an und für sich ist er unverständlich. Da sich nämlich die „Intensitäten“ zweier Empfindungen nicht addiren lassen, so kann auch nicht von einer vergleichenden Bestimmung der Summe der Intensitäten zweier einzelnen Empfindungen einerseits und der Intensität einer dritten Empfindung andererseits die Rede sein. Was *Donders* eigentlich sagen wollte, ergibt sich aus Folgendem:

Donders stellte eine Farbentongleichung her z. B. zwischen Natriumlicht und einem Gemische aus Lithium- und Thalliumlicht. Die zur Gleichung nöthigen Lichtmengen (gleichgesetzt den Spaltbreiten) wollen wir mit *L*, *Th* und *Na* bezeichnen. Ferner bestimmte er die Menge von Natriumlicht (Na^a), welche ihm gleich hell schien, wie das Licht *Th*, und ebenso die Menge Natriumlicht (Na'), welche ihm gleich hell schien wie das Licht *L*. Er erwartete nun, dass

$$Na^a + Na' = Na$$

sein werde, was aber keineswegs der Fall war. Hat doch schon *Helmholtz* gezeigt, dass wenn man zwei verschiedenfarbige

Spectrallichter auf gleiche scheinbare Helligkeit einstellt und sodann die objective Intensität beider in demselben Verhältniss vermehrt oder vermindert, die beiderseitige scheinbare Helligkeit ungleich wird. „Es geht hieraus hervor, sagt Helmholtz, dass es nicht möglich ist, für verschiedenfarbiges Licht Maasseinheiten so festzusetzen, dass das Auge Quantitäten beider Lichter, welche nach diesem Maassstabe gemessen gleich gross sind, auch immer als gleich hell empfindet. Die Functionen, welche die Abhängigkeit der Empfindungsstärke von der Lichtstärke ausdrücken, sind vielmehr für verschiedenes Licht von verschiedenem Grade.“

Wer überhaupt die Auseinandersetzung von Helmholtz über diesen Punkt gelesen hat, wird, auch wenn er die hierher gehörigen Thatsachen nicht aus eigener Erfahrung kennt, sich gewiss nicht solchen Erwartungen hingeben können, wie sie Donders hegte. Er nahm in seinen bisherigen Untersuchungen ganz unbedenklich die Quantitäten zweier homogenen Lichter, die gleich hell erschienen, als Maasseinheiten und meinte, dass zwei Lichtern, welche die gleiche Zahl von Maasseinheiten enthalten, auch eine gleiche Helligkeit zukommen werde. Auf Grund solcher Voraussetzungen berechnete er Tabellen und „Coefficienten“, construirte Curven etc. etc.

Ich habe übrigens, wie ich auch in meiner Kritik der Donderschen Theorie¹⁾ erwähnte, schon im Jahre 1875 in einer Sitzung des naturwissenschaftlichen Vereines „Lotos“ gezeigt, dass das nahezu homogene Licht (*R*), welches von einem rothen Glase durchgelassen wird, gemischt mit dem durch ein passendes grünes Glas gegangenen, gleich hell scheinendem Lichte (*Gr*) ein Mischlicht gibt, welches auf halbe Intensität gebracht dunkler erscheint als jedes der beiden Lichter *R* und *Gr* für sich allein.

Die Art, in welcher Donders neuerdings die Theorie der Gegenfarben kritisirt hat, wird erklärlich, wenn man erwägt, wie er von unbewiesenen und unbeweisbaren Vordersätzen ausgeht, und dass sein experimentelles Material, abgesehen von seiner letzten Arbeit, sich nicht erheblich über das hinauserstreckt, was er an Farbenblinden oder sonst bei Untersuchung von Störungen des Farbensinnes beobachtet hat. Andernfalls hätte er z. B. eben so wenig

1) Dieses Jahrb. II. Bd.

die soeben erwähnte irrige Annahme machen, als den oben erörterten Behauptungen van der Weyde's beipflichten können.¹⁾

Einerseits findet er im Newton'schen Mischungsgesetz einen Beweis dafür, dass man drei „Fundamentalfarben“ annehmen müsse, andererseits stimmt er van der Weyde zu, dessen vermeintliche Ergebnisse dieses Mischungsgesetz als ungiltig hinstellen. Seine Ansichten sind, wie man sieht, noch nicht widerspruchsfrei, und es wäre verfrüht eine eingehende Kritik derselben zu versuchen, so lange noch Donders selbst an der Lösung dieser Widersprüche arbeitet. Die Hoffnung auf diese Lösung aber wird angeregt durch seine jüngste Arbeit, in welcher er wie gesagt wenigstens an einer seiner Voraussetzungen irre zu werden beginnt.

Auf Seite 177 habe ich Versuche erwähnt, bei welchen eine Farbentongleichung zwischen spectralem Blau und einem aus spectralem Grün und Violett gemischten Blau hergestellt wurde, und bemerkt, dass es mir nicht gelang, an einer solchen Gleichung eine Verschiedenheit der Lichtabsorption bei Gelbsichtigen und Blausichtigen in überzeugender Weise darzuthun. Ich erwähnte zugleich, dass ich die Versuche nach einer besseren Methode wiederholen wolle. Dies habe ich seitdem gethan.

Ich mischte einerseits ein im Tone möglichst reines Blau aus spectralem Grün und Violett, stellte sodann daneben das ebenfalls tonreine spectrale Blau ein, welches ungleich gesättigter erschien als das Mischblau. Um nun eine wahre Gleichung herzustellen, mischte ich dem homogenen Blau soviel gegenfarbiges homogenes Gelb bei, dass es eben so ungesättigt erschien als das aus Grün und Violett gemischte Blau. Auf diese Weise wurde der bei den ersten Versuchen so störend gewesene grosse Sättigungsunterschied der beiden blauen Farben vermieden.

Hatte ich nun diese Gleichung für Dr. Limbeck hergestellt, so sah Prof. Biedermann das aus Grün und Violett gemischte Blau allerdings bisweilen grünlich, in anderen Fällen jedoch ebenfalls reinblau, und in der für mich eingestellten Gleichung zuweilen sogar röthlich.

1) Arch. f. Ophthalm. XXX. 1. Abth. S. 74.

Die genannte Gleichung ist nicht leicht herzustellen. Man muss überdies sorgfältig darauf achten, dass das zur Gleichung benützte Blau das im Tone reine Blau und das zugemischte Gelb wirklich gegenfarbig ist. Der Farbenton des Blau darf sich bei wechselnder Zumischung des Gelb nicht ändern, insbesondere dabei nicht ins Röthliche abweichen. Letzterenfalls könnte der Versuch überhaupt nicht beweisend sein.

Meine Vermuthung, dass das Intensitätsverhältniss der violetten Strahlen zu den grünen im Auge von B durch die Absorption stärker zu Ungunsten der violetten verändert werde, als im Auge von L., fand also in diesen Versuchen keine Stütze. Betrachtete man die Gleichung durch eine Macula oder durch eine gelbgefärbte Linse, so erschien in der That das aus Grün und Violett gemischte Blau grünlich im Vergleich mit dem aus Blau und Gelb gemischten Blau.

Endlich sei noch erwähnt, dass neuerdings v. Kries gegenüber einer Angabe von Albert ebenfalls für die Constanz der Farbgleichungen bei wechselnder Lichtintensität eingetreten ist.¹⁾ Er variierte die Intensität sämmtlicher zur Herstellung der Gleichung benützten Lichter in genau demselben Verhältniss dadurch, dass er vor dem verticalen Spalt, durch welchen dieselben ins Auge gelangten, einen horizontalen Spalt anbrachte und dessen Breite vergrösserte oder verkleinerte. Dies ist dasselbe Princip, nach welchem auch in dem von mir benutzten Apparate die Intensitäten sämmtlicher zu einer Gleichung verwendeten Lichter in demselben Verhältniss geändert werden.

1) Du Bois-Reymond Arch. f. Physiol. 1855. I. u. II. Heft. S. 79.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Hering Ewald

Artikel/Article: [Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. 142-198](#)