

Sitzungsberichte
der
mathematisch-physikalischen Classe
der
k. b. Akademie der Wissenschaften
zu München.

Band XV. Jahrgang 1885.



München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1886.

~
In Commission bei G. Franz.

Herr W. von Bezold spricht:

„Ueber Herstellung des Farbendreiecks
durch wahre Farbenmischung.“

Bekanntlich hat schon Newton nachgewiesen, dass sich die Gesamtheit aller Farbenempfindungen, deren ein gesundes Auge fähig ist, soferne man die Helligkeit nicht in Betracht zieht, beziehungsweise über dieselbe in gewisser Weise verfügt, auf einer Fläche, der sogenannten Farbentafel darstellen lässt.

Will man auch noch die Helligkeit berücksichtigen, so braucht man nur die dritte Dimension zu Hülfe zu nehmen, wie dies zuerst Lambert bei der Construction seines Farbenkegels gethan hat.

Diese Art der Darstellung liefert bei richtiger Vertheilung der einzelnen Farben zugleich einen verhältnissmässig einfachen Ausdruck für das Gesetz der Farbenmischung insoferne sich dasselbe alsdann auf blosse Schwerpunktsconstructionen zurückführen lässt, was ebenfalls schon von Newton angedeutet wurde.

Wie dieses Gesetz durch Herrn v. Helmholtz und Maxwell nach der experimentellen, durch Grassmann nach der mathematischen Seite hin bewiesen wurde, darf ebenfalls als bekannt vorausgesetzt werden.

Wenn nun auch durch diese Untersuchungen das Gesetz in allgemeinen Zügen und in abstrakter Weise festgestellt ist, so hat es doch noch immer hervorragendes Interesse

eine solche Farbentafel in wirklichen Farben ausgeführt zu sehen.

Denn gar nicht zu reden davon, dass die Vorstellung von dem Wesen dieses Gesetzes durch eine solche Ausführung ganz ausserordentlich erleichtert wird, so lassen sich aus einer thatsächlich richtig ausgeführten Farbentafel eine Menge Einzelheiten entnehmen, die man selbst bei Wiederholung der oben angeführten Versuchsreihen doch nie so vollständig überblicken kann. Ja die Herstellung einer grösseren Anzahl richtiger Farbentafeln von verschiedenen Helligkeitsgraden, die dann zusammengenommen den Farbenkegel oder die Farbenpyramide geben würden, wäre sogar für die Technik von hervorragender Bedeutung.

Man hat deshalb auch schon verhältnissmässig bald derartige Versuche gemacht. Da man jedoch hiebei stets von der unrichtigen Voraussetzung ausging, dass Mischung von Farbstoffen und Mischung der entsprechenden Farben gleichbedeutend sei, so konnten auch die erhaltenen Ergebnisse nicht richtig werden.

Selbst von den prachtvoll ausgeführten Farbenkreisen, welche man in dem Werke von Chevreuil findet,¹⁾ gilt der eben gethane, etwas hart klingende Ausspruch, dass ihnen die eigentliche wissenschaftliche Bedeutung mangle, da auch sie ohne Benutzung des richtigen Farbenmischungsgesetzes und nach nicht einwurfsfreien Methoden ausgeführt sind.

Dieser Mangel springt schon bei dem ersten Blick auf eine solche Tafel in die Augen, da dieselben Gelb und Violett als Ergänzungsfarben enthalten, was bekanntlich unrichtig ist.

Nachdem aber Herr v. Helmholtz durch seine bahnbrechende Untersuchung in diese Fragen Klarheit gebracht hatte,²⁾ stellte sich die Aufgabe der Ausführung einer wirk-

1) Mém. de l'Acad. XXXIII. 1861.

2) Müller, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1852. S. 461—482.

lich wissenschaftlich richtigen Farbentafel als so schwierig dar. dass man sich begnützte, entweder nur die Farbnamen in ein Diagramm einzuschreiben oder bei Anwendung von Farbendruck ein bloß angenähertes Bild zu geben, das auf nichts weiter Anspruch machen sollte als auf eine Unterstützung des Vorstellungsvermögens.¹⁾

Ich habe zwar selbst einmal einen Versuch gemacht eine wirklich richtige Farbentafel herzustellen, und habe zu dem Zwecke ein eigenes Instrument construiert,²⁾ bei welchem die Doppelbrechung zur Farbenmischung benutzt wird, sowie eine Methode angegeben,³⁾ um Pigmentfarben mit Spektralfarben zu vergleichen, musste jedoch wegen anderer Arbeiten die Sache liegen lassen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Herstellung einer solchen Tafel in grösseren Dimensionen, die sehr vielen Nuancen Aufnahme gewähren würde, für das Studium der Gesetze der Farbenempfindung von grösstem Interesse wäre.

Leider kann man nur dann mit Hoffnung auf Erfolg an die Ausführung gehen, wenn man über eine ganz enorme Zahl farbiger Muster von gleichem Materiale verfügt, da Auftragen mit dem Pinsel, wie ich mich überzeugte, nur unvollkommen zum Ziele führt.

Man müsste sich jedoch selbst dann noch begnügen, eine solche Tafel in einem oder in wenigen Exemplaren herzustellen, da an eine Vervielfältigung derselben nach den bekannten Methoden nicht gut gedacht werden kann.

Wenn ich oben behauptete, dass die Ausführung einer

1) Dies gilt z. B. auch von den technisch sehr hübsch ausgeführten Farbenkreisen meiner Farbenlehre. Braunschweig 1874 und Boston 1876.

2) Sitzungsab. d. k. b. A. d. W. S. 206—112 od. Poggd. Ann. Bd. 158 S. 606—612.

3) Sitzungsab. d. k. b. A. d. W. f. 1876 S. 1—5 od. Poggd. Ann. Bd. 158 S. 165—169.

solchen Farbentafel von hervorragender Bedeutung wäre, so gründet sich dies auf die folgenden Betrachtungen:

Erstens würde man dadurch in den Stand gesetzt die von Herrn v. Helmholtz gemachten Bestimmungen über die complementären Farben zu verificiren, wenn man nach der oben angeführten Methode den Farbenton der in der Tafel enthaltenen Farben auf bestimmte Stellen im Spectrum beziehen würde, da sich eben nur nach diesen Messungen¹⁾ sowie nach den sich daran anschliessenden ähnlichen Untersuchungen die Stellung der einzelnen Farbentöne am Rande der Farbentafel ermitteln lässt.²⁾

Ferner würde man dadurch mit einem Blicke die scheinbaren Sättigungsverhältnisse der Mischfarben übersehen können, ein Punkt, der nach den Untersuchungen von J. J. Müller für die physiologische Erklärung des Mischungsgesetzes von höchster Bedeutung ist.³⁾

Diese scheinbaren Sättigungsverhältnisse hängen nämlich aufs engste zusammen mit der Gestalt der Farbentafel, welche wie bereits Young angedeutet und Herr v. Helmholtz streng nachgewiesen hat unter der Annahme dreier physiologischer Grundfarben, keine Kreisform besitzen kann, sondern sich der eines Dreiecks nähern muss.

Geht man nämlich von drei objectiven Grundfarben aus, wofür man die sattesten des betreffenden Tones auswählen wird und stellt man nun, natürlich immer durch wahre Farbenmischung, aus diesen alle erdenklichen Mischfarben her, so müssen diese ihre Stelle sämmtlich innerhalb des Dreiecks finden, das durch die Punkte der drei Grundfarben bestimmt ist. Haben nun die auf den Seiten des Dreiecks liegenden Mischfarben geringe (subjective) Sättigung, und

1) Poggdff. Ann. Bd. 94. S. 1—28. 1855.

2) Vgl. auch: v. Bezold: Ueber das Gesetz der Farbenmischung u. s. w. in Poggdff. Ann. Bd. CL S. 71—93 u. S. 221—247.

3) Poggdff. Ann. Bd. 139 S. 411—431 und S. 593—613

giebt es Farben gleichen Tones, welche noch satter erscheinen, dann sind die letzteren ausserhalb dieses Dreieckes unterzubringen und können alsdann die gewählten Grundfarben nicht als physiologische Grundfarben betrachtet werden. Kann man dagegen drei Farben ausfindig machen, welche der Bedingung genügen, dass sich innerhalb des von ihnen gebildeten Dreiecks oder wenigstens ohne zu bedeutendes Ueberschreiten desselben die Gesamtheit aller Farben unterbringen lässt, dann hat man darin einen der kräftigsten Belege für die Richtigkeit der Young-Helmholtz'schen Theorie.

Ein dritter Punkt endlich, der in einer solchen Farbentafel von selbst Berücksichtigung finden würde, bezieht sich auf gewisse Ausnahmen von dem Mischungsgesetze, wenigstens von der meist üblichen Auffassung dieses Gesetzes.

Zieht man nämlich von dem Rande der Farbentafel d. h. von einer Stelle an der sich eine möglichst gesättigte Farbe irgend eines bestimmten Tones befindet, eine Gerade nach dem weissen Centrum der Tafel, so liegen auf dieser Geraden alle Farben, welche sich durch Mischung der betreffenden gesättigten Farbe mit Weiss herstellen lassen. Man sagt von allen diesen Mischfarben, sie gehörten demselben Farbentone an. Man darf dies jedoch nur im physikalischen Sinne thun, d. h. man darf allenfalls eine solche Bezeichnung durch Definition festsetzen, vom physiologischen Standpunkte aus d. h. unter Berücksichtigung des subjectiven Eindrucks ist dies nicht allgemein gültig. Für die Mehrzahl der gesättigten Farben, nämlich für die zwischen Orange und Cyanblau (Türkisenblau) gelegenen des Spectrums erhält man freilich durch Mischung mit Weiss Farben, in welchen man den Ton der betreffenden gesättigten Farbe leicht wieder erkennt, dies gilt jedoch nicht mehr von den an den Enden des Spectrums befindlichen Farben Roth und Violett ja selbst noch von Blau. Mischungen dieser Farben mit Weiss führen zu Mischfarben, welche stets etwas nach Purpur hin

verschoben erscheinen, so dass man z. B. eine Mischung von Ultramarin und Weiss, — ich denke hier natürlich nie an Mischung der Farbstoffe — stets als blassviolett bezeichnen wird und nicht als blassblau. Durch Mischung von Violett oder Roth mit Weiss aber erzielt man Töne, welche als Blasspurpur erscheinen, beziehungsweise einen entschiedenen Stich in's Rosenroth zeigen.

Man übersieht dies sehr leicht, wenn man aus dem Skalenfernrohre eines gewöhnlichen Spectralapparates die Skala herausnimmt und durch eine davor gehaltene passend beleuchtete weisse Fläche ersetzt. Alsdann bemerkt man sofort, dass beide Enden des abgeblassten Spectrums einen Stich in's Purpurne (Rosenrothe) zeigen.

Will man deshalb in der Farbentafel, die sämmtlichen Mischfarben, welche dem subjectiven Eindrucke nach dem gleichen Tone angehören, durch Linien verbinden, die sich natürlich alle in dem Punkte des Weissen treffen müssen, so sind diese Linien nur zum Theil gerade, nämlich nur, wenn sie nach den den mittleren Theilen des Spectrums angehörigen Farben führen; je mehr man sich den Grenzen des Spectrums nähert, um so mehr krümmen sie sich, indem sie die concave Seite dem Purpur und dessen Mischungen mit Weiss zuwenden.

Purpur mit seinen blassen Abstufungen nach dem Weiss hin nimmt mithin ein verhältnissmässig grösseres Stück der Farbentafel ein als die übrigen Farbtöne, ein Stück das etwa eine lanzettförmige Gestalt hat.

Die grosse Bedeutung, welche demnach einer wirklich richtig ausgeführten Farbentafel zukommt, veranlasste mich, nachdem ich die mosaikartige Herstellung mit Hülfe gefärbter Körper aufgeben musste, einen anderen Weg einzuschlagen, um wenigstens in gewissem Sinne das gleiche Ziel zu erreichen.

Der leitende Gedanke war der folgende:

Gesetzt man habe drei gleichseitige Dreiecke, deren jedes von der Spitze nach der Basis hin abschattirt ist, wie beistehende Figur zeigt, jedoch so, dass in jedem eine andere Ecke als Spitze erscheint. Die Schattirung sei so vorge-
nommen, dass die Helligkeit der Entfernung von der Basis proportional ist, d. h. dass in der Spitze jeweils das Helligkeitsmaximum, das ich als Einheit nehmen will, herrsche, an der Basis die Helligkeit 0, in halber Höhe die Helligkeit $\frac{1}{2}$ u. s. w.

Fig. 1.



Würde man nun diese drei Dreiecke einfach in Weiss und Schwarz ausgeführt optisch über einander lagern, was sich z. B. durch Spiegelung an unbelegten Glasplatten erreichen lässt, so müsste das resultirende Dreieck gleichmässig grau erscheinen.

Wäre jedoch das eine der Dreiecke von rothem, das andere von grünem und das dritte von blauem Lichte erleuchtet, so müsste man durch Uebereinanderlagerung das Farbendreieck erhalten, wie es sich eben aus den gewählten Grundfarben bilden lässt.

Dabei entspräche das Bild bei Anwendung der oben genannten Helligkeitsverhältnisse genau den Regeln der Schwerpunktsconstruction wie sie von Newton aufgestellt wurden, d. h. genau dem Mischungsgesetz.

Die optische Uebereinanderlagerung dreier solcher Dreiecke wurde nun auf folgende Weise erreicht:

Innerhalb eines gleichseitigen Prisma's aus schwarzgebeiztem Holze befinden sich drei sehr dünne Spiegelglasplatten,¹⁾ welche um 45° gegen die Axe des Prisma's geneigt sind. Die Neigungsebenen unter sich bilden Winkel von 120° , so dass ein in der Axe des Prisma's befindliches Auge von jedem der hinter einander liegenden Spiegel eine andere Seite des Prisma's gespiegelt sieht. Das Prisma selbst ist an beiden Enden geschlossen, doch befindet sich in der einen Verschlussplatte eine Oeffnung zum Hineinsehen. In diese ist überdies ein Ocularrohr, jedoch ohne Linse eingesteckt, um den Augenort zu fixiren.

Die Gesamtlänge des Prisma's beträgt bei meinem Apparate 45 cm, die Seitenlänge der dreieckigen Basis 9 cm. im Lichten.

Bringt man nun in den Seiten des Prisma's dreieckige Oeffnungen an von solcher Grösse und Lage, dass sie nach der Spiegelung an den betreffenden Platten in dem durch das Ocularrohr fixirten Augenorte gleich gross erscheinen und einander decken, so handelt es sich nur noch um passende Beleuchtung der drei Oeffnungen durch farbiges Licht und um entsprechende einseitige Verdunkelung derselben (Abschattirung).

Freilich sieht man nicht sämmtliche dreieckige Oeffnungen gleich deutlich, da sie in verschiedenen Entfernungen zu liegen scheinen und man nicht gleichzeitig für diese accommodiren kann, doch stört dieser Umstand nicht, da ein dreieckiges Diaphragma, welches sich möglichst nahe vor der dem Beobachter nächstliegenden spiegelnden Platte befindet, das Bild von 3 Seiten her ein wenig einschränkt und die Zerstreungsbilder abblendet.

1) Drei unbelegte Spiegelplatten wurden meines Wissens auch schon einmal von Herrn E. Albert zur Mischung von drei Farben angewendet, jedoch nicht in der gleichen Weise, überhaupt nicht zur Herstellung des Farbendreiecks.

Die Beleuchtung der drei Dreiecke durch farbiges Licht wurde nun auf folgende Weise erzielt:

Vor jeder der drei Oeffnungen befindet sich in einiger Entfernung ein weisser Karton der unter 45° gegen die entsprechende Prismenfläche geneigt ist, so zwar, dass durch Licht, welches parallel der Axe einfällt, die sämtlichen weissen Schirme gleich stark beleuchtet werden. Deckt man demnach die Oeffnungen wechselweise zu, so dass immer nur eine frei bleibt, so erblickt man jedesmal ein weisses Dreieck von der nämlichen Helligkeit.

Für den oben näher bezeichneten Zweck hat man aber abschattirte Dreiecke nöthig. Um dies zu erreichen, legte ich immer schmälere Streifen dünnen Pauspapieres übereinander, so dass in jeder der dreieckigen Oeffnungen eine Ecke frei blieb, aber von da ab gegen die gegenüber liegende Grundlinie zu und dieser parallel immer dickere Schichten folgten, bis ganz nahe an dieser Linie ein vollkommen undurchsichtiger Streifen eine totale Abblendung bewirkte.

Hätte man Papier von ganz richtiger Durchsichtigkeit zur Verfügung, so müssten bei richtiger Wahl der Lage der frei bleibenden Ecken die drei Bilder durch Uebereinanderlagerung eine gleichmässig erleuchtete schwach graue Fläche liefern.

Bringt man nun vor die drei Oeffnungen farbige Gläser, so erhält man eine richtige Farbentafel, die um so farbenreicher ist, je glücklicher die Farbentriade gewählt ist.

Man kann also hier bei genügender Auswahl an farbigen Gläsern höchst einfach herausprobiren, welche drei Farben mit meistem Rechte den Anspruch erheben können, als Grundfarben betrachtet zu werden.

Durch die Gefälligkeit des in der Kunstwelt rühmlichst bekannten Glasmalers Herrn Burkhardt in München befand ich mich in der glücklichen Lage aus einer sehr reichhaltigen Musterkarte von farbigen Gläsern auswählen zu können.

Das Ergebniss sprach in hervorragender Weise zu Gunsten der Young-Helmholtz'schen Farbentriade.

Ein rothes Ueberfangglas, das nach meiner oben erwähnten Vergleichsmethode einem Tone zwischen B und C nahe bei C des Spectrums entsprach, ein grünes Glas von einem Tone zwischen b und E und ein blaues Cobaltglas, welches in die Gegend von G nach der blauen Seite hin zu stehen kam, lieferten eine äusserst vollständige Farbentafel,¹⁾ während bei Wahl der zwischenliegenden Töne: Purpur, Gelb und Türkisenblau das Ergebniss ein geradezu klägliches ist.

Auch Roth, Blau und Gelb giebt, wie schon Herr v. Helmholtz aus seinen Versuchen folgerte, eine arme Farbentafel, in der das Grün mit den benachbarten Abstufungen vollkommen mangelt.

Man besitzt demnach in dem eben beschriebenen Apparat ein ungemein einfaches Mittel zur Orientirung über die sogenannten Grundfarben.

Zugleich aber lassen sich, wie schon angedeutet, noch sehr verschiedene andere Verhältnisse leicht übersehen.

Es wurde oben bemerkt, dass zur Erzielung einer Farbentafel, welche den Bedingungen des Schwerpunktsatzes entspricht, die Abschattirung so vorgenommen werden müsste, dass nach Entfernung der farbigen Gläser das durch Ueber-einanderlagerung der drei Bilder erhaltene Dreieck vollkommen gleichförmig weiss erscheine. Diese Bedingung ist mit dem

1) Diese drei Töne entsprechen demnach genau jenen Stellen des Spectrums an welchen ich in der Abhandlung „über das Gesetz der Farbenmischung“ aus theoretischen Gründen die Grundfarben glaubte suchen zu müssen. Ich war über diese Uebereinstimmung selbst sehr erstaunt, da ich die Auswahl der drei Gläser und die Bestimmung ihrer Farbtöne traf, ohne mich von jenen theoretischen Betrachtungen, an die ich mich kaum mehr erinnerte, irgendwie beeinflussen zu lassen.

von mir angewendeten Hilfsmittel nur schwer erfüllbar und führt sogar, wenn man sich ihr zu nähern sucht, zu einem Resultate, das man vielleicht nicht erwartet hat.

Die Farbentafel wird nämlich in diesem Falle nicht so reich als wenn man in gewissem Sinne von der erwähnten Bedingung abweicht.

Unter der Erfüllung dieser Bedingung treten nämlich die gewählten Grundfarben im Innern des Dreiecks nur mit Bruchtheilen ihres Gewichtes auf, im Schwerpunkte jede nur mit $\frac{1}{3}$. In diesem Falle aber fehlt sowohl richtiges Weiss als gesättigtes Gelb.

Diese beiden letzteren Empfindungen hat man nur, wenn die einzelnen Componenten mit vollem Gewichte in die Mischung eintreten, d. h. wenn die Mischung heller ist als jede der Componenten.

Es bedarf eben jede bestimmte Farbe einer ganz bestimmten Helligkeit um ihren specifischen Eindruck voll zur Geltung zu bringen, d. h. um gesättigt zu erscheinen.¹⁾

Gerade dies war der Grund, weshalb ich schon früher vorgeschlagen habe, hinsichtlich der Sättigung von der Helmholtz'schen Definition abzuweichen, und der geringeren oder grösseren Beimischung von Weiss, welche Herr v. Helmholtz als „Sättigungsgrad“ bezeichnet, lieber die Bezeichnung der „Reinheit“ zu geben, eine Definition, nach welcher die Spectralfarben zwar sämmtlich als reine Farben zu bezeichnen sind, aber nur dann als gesättigte, wenn sie eben die richtige Helligkeit besitzen.

Die Sättigung ist nach dieser Auffassung wesentlich physiologischer, die Reinheit aber rein physikalischer Natur.

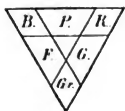
In wie eigenthümlicher Weise der Eindruck der Sättigung von der Helligkeit abhängt und wie eigenartig wir anderseits die Helligkeit beurtheilen, diess lässt sich mit Hilfe

1) Vgl. E. Albert. Wiedem. Ann. Bd. 16. S. 129–160.

des beschriebenen Apparates und zwar sogar bei besonderer Vereinfachung desselben leicht übersehen.

Wendet man nämlich an den drei Oeffnungen einfach dunkle Schirme in der Art an, dass in jedem der drei Dreiecke an einer Seite ein Streifen bis auf ein Viertel der Höhe vollständig abgeblendet wird, während die gegenüberliegende Ecke bis über den Mittelpunkt des Dreieckes ganz frei bleibt, so erhält man ein Bild wie Fig. 2, in welchem

Fig. 2.



ständig abgeblendet wird, während die gegenüberliegende Ecke bis über den Mittelpunkt des Dreieckes ganz frei bleibt, so erhält man ein Bild wie Fig. 2, in welchem die Ecken von den drei Grundfarben, die zwischenliegenden trapezförmigen Stücke von den Mischfarben zu zweien eingenommen

werden, die Mitte dagegen die Mischfarbe der drei gewählten Grundfarben liefert.

Diese Mischfarben sind bei Anwendung der oben angeführten den Young-Helmholtz'schen Grundfarben möglichst nahe kommenden Gläser: Gelb, Türkisenblau¹⁾ und Purpur, und zwar hat jedes die physikalische Helligkeit gleich der Summe der beiden Componenten.

Dabei erscheint jedoch bei genügender Gesamthelligkeit das Gelb sehr satt aber nicht besonders hell, nur wenig heller als die beiden Rauten, welche die Componenten zeigen, Türkisenblau und Purpur dagegen blass und erheblich heller als die beiden Componenten.

Das mittlere Dreieck erscheint bei richtiger Stellung der weissen Cartons weisslich, zur Erzielung von recht intensivem Weiss müsste die Helligkeit jedoch noch grösser sein als sie durch die Summe der Componenten erhalten wird.

Will man satteres Purpur erhalten, so muss man die Gesamthelligkeit so herabstimmen, dass nur mehr bräunliches Gelb erscheint.

1) Ich wähle gerne die Bezeichnung Türkisenblau anstatt Cyanblau, weil sie allgemeiner verstanden wird.

Bis zu einem gewissen Grade erhöht eine verminderte Helligkeit auch die Sättigung des Türkisenblau, doch bleibt letzteres immer ziemlich blass, wie man ja auch unter allen existirenden farbigen Körpern vergeblich nach einem Repräsentanten sucht, der diesen Ton satt wiedergiebt und wie selbst im Spectrum die Gegend um F immer einen minder gesättigten Eindruck macht.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass bei Ausführung der Farbentafel nach dem Grundsatz, dass die mittlere Helligkeit überall die gleiche sei¹⁾, unmöglich alle gesättigten Farbenempfindungen in derselben vorkommen können, man wird sie vielmehr nur in der Pyramide unterbringen können, welche man erhält, wenn man sich in einiger Entfernung oberhalb des Schwerpunktes des Dreiecks das Schwarz angebracht denkt und durch diesen Punkt und die Seiten des Dreiecks Ebenen legt. Die gesättigten Farben werden alsdann auf krummen Linien liegen, wobei die das Gelb enthaltende die concave, die beiden anderen aber die convexe Seite der schwarzen Spitze zukehren.

Dies sind die wesentlichsten Resultate, welche sich mit dem Apparat in der gegenwärtigen Form erzielen lassen, abgesehen von seiner Bedeutung als Demonstrationsapparat, die nicht zu unterschätzen sein dürfte, besonders da man durch einfaches Decken der einen oder anderen Oeffnung sofort die Farbentafel eines Farbenblinden erhalten kann.

Ich zweifle nicht, dass der Apparat noch grosser Vervollkommnung fähig ist und habe deshalb auch unterlassen eine Abbildung davon zu geben, wie ich überhaupt mit der Veröffentlichung gezögert hätte, wenn ich nicht wegen Uebernahme anderweitiger Verpflichtungen befürchten müsste,

1) Immer vorausgesetzt, dass die Helligkeit der drei Grundfarben die gleiche sei, was natürlich immer eine mehr oder minder willkürliche Annahme in sich schliesst.

wenn überhaupt je, so doch erst nach Jahren, den Gegenstand wieder aufnehmen zu können.

Als Mangel desselben erscheint mir erstens die Schwierigkeit, vollkommen gleich starke Beleuchtung der drei weissen Cartons zu erzielen; auch die gesetzmässige Abschattirung der drei Bilder lässt sich auf die angegebene Weise nur annäherungsweise erreichen, und würden keilförmig geschliffene Rauchgläser in dieser Hinsicht wohl viel vorzüglicheres leisten.

All' diese Mängel hoffte ich zu beseitigen durch eine vollständig andere Methode der Uebereinanderlagerung der drei Bilder und zwar durch Anwendung einer sehr stumpfen dreikantigen Pyramide aus Glas mit ebener Basis.

Eine solche Pyramide, deren Seitenflächen mit der Grundfläche nur Winkel von wenigen Graden bilden, liefert bei senkrechtem Aufblicke auf die Grundfläche oder auf die Spitze drei Bilder eines dahinter gelegenen Gegenstandes.

Bringt man nun in einem dunklen Schirme drei dreieckige Oeffnungen von gleicher Grösse an, so sieht man neun Bilder, von denen man bei passender Entfernung vom Schirme die drei mittleren zur Deckung bringen kann.

Setzt man alsdann vor diese Oeffnungen drei gleiche keilförmig geschliffene Rauchgläser und ausserdem die oben erwähnten farbigen Gläser (oder in diesem Falle auch farbige Flüssigkeiten), so muss sich die Herstellung der Farbentafel in viel vollkommenerer Weise verwirklichen lassen.

Da sich überdies die genannte Pyramide innerhalb eines Fernrohres anbringen lässt, so muss es möglich sein, mit kleineren Dimensionen der Oeffnungen dasselbe Ziel zu erreichen wie oben. Desgleichen muss man auch im Stande sein mit diesem Hülfsmittel unter passender Verwendung von Linsen die Tafel auf eine weisse Fläche zu projeciren. Es wäre bei Anwendung dieser Pyramide sogar die Benutzung von Spectralfarben zur Beleuchtung der drei Oeffnungen nicht ausgeschlossen.

Da es mir, wie schon bemerkt, kaum möglich sein wird, die Sache selbst weiter zu verfolgen, so wollte ich wenigstens meinen Plan nicht unterdrücken, um vielleicht den einen oder anderen Forscher zur Fortsetzung der Arbeit anzuregen.

Es handelt sich dabei natürlich nur um einen Ausbau in's Einzelne. Die Hauptergebnisse lassen sich jedoch auch mit dem bisher benutzten Apparate übersehen und gipfeln in einer unleugbaren Bestätigung der Young-Helmholtz'schen Theorie.

Dabei erblicke ich das Wesen dieser Theorie in der Annahme, dass es drei physiologische Grundfarben oder Grundempfindungen giebt, und dass diese dem Roth, Grün und einem dem Violetten nahestehenden Blau entsprechen.

Zugleich scheint mir der Ausbau dieses Grundgedankens sehr wohl eine Annäherung an die Hering'sche Auffassung zu gestatten, ohne dass man deshalb genöthigt wäre, dieselbe mit all' ihren Einzelheiten und theilweise sehr kühnen Voraussetzungen und Folgerungen anzunehmen.

Eine solche Annäherung ist aber seit der Entdeckung des Sehpurpurs und des Optogramms beinahe geboten, und ist es wohl nur der Rücksicht auf diese Verhältnisse zu danken, dass Hering's Theorie überhaupt Anhänger finden konnte.

Diese Theorie stützt sich bekanntlich auf die Annahme, dass in der Netzhaut Zersetzungen und Wiederbildungen oder wie Hering sagt, Dissimilationen und Assimilationen eintreten, die alsdann erst ihre Wirkungen auf die Nervenendigungen äussern.

Bei der Verfolgung dieses Grundgedankens kommt jedoch Hering zu einer weiteren Annahme, welche ich für durchaus irrthümlich halten möchte.

Hering betrachtet nämlich diese beiden Vorgänge, nämlich die Dissimilation und Assimilation, wenn auch dem

Sinne nach entgegengesetzt, so doch in der Intensität ihrer Wirkung auf die Nerven als vollkommen gleichwerthig, so dass er bei den von ihm angenommenen Grundempfindungen des Blau-Gelb und Roth-Grün¹⁾ sogar die Frage offen lässt, welche Farbenempfindung in jedem der Paare der Dissimilation und welche der Assimilation entsprechen.

Diese Annahme der Gleichwerthigkeit von Dissimilation und Assimilation entbehrt meines Erachtens nicht nur jeder Analogie in den übrigen physiologischen Vorgängen, sondern führt auch gerade in der Lehre von der Lichtempfindung Folgerungen ein, die mit den Thatfachen schwer vereinbar sind.

Weit natürlicher gestaltet es sich meines Erachtens, wenn man die Annahme macht: Auf der Netzhaut befinden sich Substanzen, welche durch den Einfluss des Lichtes zersetzt werden (Dissimilation) und welche sich in der Dunkelheit oder unter dem Einfluss schwachen oder andersfarbigen Lichtes allmählig wieder bilden. (Assimilation.)

Die Zersetzung erfolgt um so reichlicher und rascher, je intensiver das wirkende Licht ist, die Wiederbildung immer nur allmählig. Es kann sich deshalb auch die Empfindung der durch das Licht hervorgerufenen Zersetzungen (die objective Lichtempfindung)

1) Dass nicht Roth sondern Purpur die Ergänzungsfarbe von Grün ist, dies mag nur nebenher erwähnt werden. Freilich fällt damit auch eine der Hauptstützen, welche Hering gerade für die Wahl dieser Paare anführt, nämlich dass die vier Componenten lauter Farben sein sollen, welche der „unbefangene Beobachter“ als einfache ansieht. Vom Purpur kann man dies gewiss nicht behaupten, da die Bezeichnung dieser Töne im Allgemeinen eine unsichere ist, und man nicht selten den Purpur als ein bläuliches Roth bezeichnen hört, wollte man aber Roth in dem genannten Paare festhalten, dann müsste man als Ergänzungsfarbe „Blaugrün“ wählen, das schon durch seinen Namen verräth, dass es der oben genannten Bedingung nicht entspricht.

ausserordentlich hoch ja bis zum Schmerze steigern, während die Wiederbildung nur zu viel schwächeren Reizen Veranlassung giebt.

Analoge für diese Auffassung sind leicht und reichlich zu finden. In allen Organen kann durch gewaltige Anstrengung oder sehr starke Reize rasche Ermüdung eintreten, Ermüdung die ja z. B. beim Muskel auch nichts anderes als Folge von Zersetzungen ist, während die Erholung, d. h. die Wiederbildung immer nur langsam von statten geht und sich nie über eine enggezogene Grenze hinaus beschleunigen lässt.

Dabei kann leichte oder veränderte Inanspruchnahme die Erholung des ermüdeten Organes rascher fördern als vollständige Ruhe, wie dies insbesondere bei der Gehirnthatigkeit der Fall ist, wo Abwechselung, sogenannte Zerstreuung, oft am allergünstigsten wirkt.

Das eigenthümliche Verhalten grauer Flächen bei Contrastversuchen scheint darauf hinzuweisen, dass auf der Netzhaut ähnliche Verhältnisse obwalten.

Präcisirt man die eben in den Hauptzügen entworfenen Anschauungen dahin, dass man annimmt, es seien auf der Netzhaut drei Substanzen vorhanden, von denen die eine vorzugsweise durch rothes, die andere durch grünes und die dritte durch blaues Licht zersetzt werde, während Einwirkung anders farbigen Lichtes eben eine gleichzeitige Zersetzung von zwei oder drei der genannten Substanzen bewirkt und dadurch auch zu Wahrnehmungen Veranlassung giebt, welche sich von jenen der Grundfarben mehr oder weniger entfernen, so erklärt sich daraus das Farbenmischungsgesetz genau ebenso wie nach der Young-Helmholtz'schen Hypothese. Zugleich aber bietet diese Formulirung Vorthelle bei Erklärung der Irradiation, des simultanen und nachfolgenden Contrastes.

Hat man z. B. eine begrenzte weisse Fläche stark fixirt und blickt man dann auf eine graue, so geht anfangs gleich

nach dem Aufhören des Reizes die Zersetzung noch fort, man hat ein positives Nachbild. Bald hat aber diese ihr Ende erreicht und nun scheint die Stelle dunkler, weil das Licht hier weniger Stoff zur Zersetzung mehr vorfindet, als in der Nachbarschaft. Blickt man dagegen auf eine schwarze Fläche, so erscheint die Stelle tiefer schwarz als die Umgebung, weil dort die Wiederbildung lebhafter ist als ringsherum, ähnlich wie man nach der Ermüdung nun auch der Empfindung der Ruhe fähig ist, eine Empfindung, die jedoch nie so positiv auftritt wie die eines Reizes. Ebenso ist die Empfindung des tief Schwarzen, wie sie durch den angegebenen Versuch sich erzeugen lässt, doch nie so intensiv wie jene des Lichtes sein kann, was einfach aus der Thatsache hervorgeht, dass das Schwarz vielfach gar nicht als Empfindung angesehen wird.

In ähnlicher Weise würde sich der simultane Contrast am Rande einer weissen und schwarzen Fläche erklären.

Die Erscheinungen der Irradiation aber fordern nämlich die ganz natürliche Annahme, dass ein Uebergreifen der Zersetzungen von einer gereizten Stelle auf die nicht gereizten, d. h. ein Austausch der Sehsubstanzen stattfindet.

Wird nun ein Netzhautgebiet durch weisses Licht gereizt, während dicht nebenan kein oder nur geringer Reiz erfolgt, so wird von den benachbarten geschützten Stellen unzersetzte Substanz überströmen nach den gereizten und das weisse Licht wird deshalb an der Grenze stets mehr Substanz zur Zersetzung vorfinden als im Innern einer ausgedehnteren weissen Fläche, und daher der scheinbar hellere Rand; ebenso wird auf der geschützten Seite dieses Randes gerade wegen des Abfliessens fortgesetzte stärkere Wiederbildung eintreten müssen und deshalb die schwarze Fläche am Rande dunkler erscheinen als im Innern.

Die Uebertragung dieser Betrachtungen, welche sich auf den Fall der gleichzeitigen Zersetzung oder Wiederbild-

ung der drei Sehsubstanzen beziehen, auf jene Fälle, wo nur eine oder zwei derselben zersetzt oder wiedergebildet werden, d. h. auf die Fälle des farbigen Contrastes, scheint so einfach, dass sie jeder leicht selbst machen kann.

Vor Allem aber dürfte diese Auffassung geeignet sein, die Eigenthümlichkeiten zu erklären, welche eigentliche Blendungsbilder zeigen, je nachdem man abwechselnd den Blick auf hellere oder dunklere Flächen richtet. Das farbige Abklingen der Nachbilder dürfte sich hiebei aus dem Umstande erklären, dass Zersetzung und Wiedergebildeung der drei hypothetischen Substanzen ungleich rasch von statten geht.

Selbstverständlich gehen alle diese Erklärungen im Grunde genommen auf dasselbe hinaus, wie jene, welche die sogenannte Ermüdung zu Hülfe nehmen, ist doch die Annahme von der Zersetzung bestimmter Substanzen unter dem Einflusse eines Reizes und der Wiedergebildeung nach dem Aufhören desselben eigentlich nichts anderes als eine bestimmte Vorstellung von den Vorgängen der Ermüdung und Erholung.

Ob man neben der Annahme von den drei den Grundfarben entsprechenden Sehsubstanzen nun auch noch dreierlei Arten Nervenfasern annehmen muss, von denen jede nur für die Zersetzung einer dieser Substanzen empfänglich ist, oder ob es denkbar ist, dass durch verschiedenartige Reizung der Nervenendigungen ein und derselben Faser die drei verschiedenartigen Empfindungen vermittelt werden, dies ist eine Frage, welche das Grundprincip der spezifischen Sinnesenergieen so nahe berührt, dass ich sie lieber offen lassen möchte.

Eine mehr in's Einzelne gehende Verfolgung der zuletzt gemachten Andeutungen würde hier viel zu weit führen, habe ich doch den durch die Ueberschrift dieses Aufsatzes gegebenen Rahmen ohnehin schon beträchtlich überschritten.

Es schien mir jedoch wichtig, darzulegen, dass die Eingangs beschriebenen Versuche mit einer durch wahre Farbmischung dargestellten Farbentafel durchaus zu Gunsten der Young-Helmholtz'schen Theorie ausfallen.

Nicht minder aber wichtig schien es mir nachzuweisen, dass diese Theorie ihrem innersten Wesen nach sehr wohl vereinbar ist mit der Annahme von Sehsubstanzen, welche durch die Einwirkung des Lichtes zersetzt werden und dass man sie sehr wohl jenen Vorstellungen anpassen kann, zu welchen man durch die Entdeckungen von Boll und Kühne beinahe gezwungen ist.
