

## Zur Theorie des Farbensinnes bei indirektem Sehen.

Von

**A. Fick.**

---

Hierzu 3 Holzschnitte.

---

Vor einiger Zeit ist von C. Hess<sup>1)</sup> auf Veranlassung von Hering<sup>2)</sup> eine neue eingehende Untersuchung über den Farbensinn im indirekten Sehen angestellt, und der letztere hat daran eine Kritik der von mir aufgestellten Hypothese zur Erklärung der peripheren Farbenblindheit angeknüpft. Die Polemik einer so hervorragenden Autorität giebt mir eine willkommene Gelegenheit, mich auch wieder über diesen interessanten Gegenstand auszusprechen in der Hoffnung, etwas zur Aufklärung desselben beitragen zu können.

Hering erhebt zunächst zwei methodische Bedenken gegen meine Hypothese: Er sagt: Die Young-Helmholtz'sche Theorie „leitet aus dem Mischungsgesetz die Nothwendigkeit der Annahme „von drei physiologischen Variabeln (der specifischen Energieen „oder Erregungen der drei Faserarten) und drei Grundempfindungen „ab. Entsprechend müsste sie für die partielle Farbenblindheit, „gleichviel ob sie die ganze Netzhaut (wie beim Farbenblinden) „oder nur eine bestimmte Zone derselben (wie beim Farbentüchtigen) betrifft, zwei physiologische Variabeln und zwei Grundempfindungen fordern, weil sich hier alle möglichen Lichter nach „der Schwerpunktskonstruktion in einer Geraden anordnen lassen; „und ebenso müsste sie für eine totale Farbenblindheit der äussersten Netzhautzone der Farbentüchtigen oder der ganzen Netzhaut „der total Farbenblinden nur eine solche Variable und eine Grund-

---

1) v. Gräfe's Archiv für Ophthalmologie Bd. 35, S. 1.

2) Ebenda, S. 63.

„empfindung annehmen, weil hier die Farbetafel auf einen Punkt „reducirt ist.“

Gegen diese Bedenken habe ich zu erwidern: Ohne Zweifel würden wir nie auf die Annahme von drei Grundempfindungen geführt sein, wenn uns bloss die Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen auf den peripheren Netzhautzonen bekannt wäre. Nun hat uns aber einmal die Erkenntniss von der zweifach unendlichen Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen auf der Polarzone zur Annahme von drei Grundempfindungen genöthigt. Andererseits finden wir, dass die Empfindungsqualitäten auf den peripheren Zonen mit einigen der auf der polaren entstehenden völlig identisch sind, und daraus scheint mir mit logischer Nothwendigkeit zu folgen, dass sie auch aus denselben Elementen zusammengesetzt sein müssen. Z. B. die Empfindung Gelb haben wir auf der polaren Netzhautzone erkannt als das Zusammensein von den zwei Grundempfindungen Grün und Roth, resp. blasses Gelb als Zusammensein der drei Grundempfindungen Grün, Roth, Blau. Da scheint es mir denn doch absolut nothwendig, die vollkommen identische Gelbempfindung auf den peripheren Zonen anzuerkennen als zusammengesetzt aus denselben Elementen. Es gilt eben doch, den gesammten Erscheinungskreis der Farbenempfindungen auf der ganzen Netzhaut aus einem Principe zu erklären.

Im folgenden Absatze sagt Hering: „Entweder es ist unzulässig, mehr Grundempfindungen anzunehmen, als das Mischungsgesetz zum Mindesten erfordert, und dann sind für die partiell farbenblinde Netzhautzone nur zwei, für die total farbenblinde nur eine anzunehmen; oder es ist zulässig, und dann ist es ungerechtfertigt zu behaupten, der mittleren Netzhaut des Farbensichtigen könnten unmöglich mehr als drei Grundempfindungen zukommen, eine Behauptung, die zwar nicht von Leber oder Fick, wohl aber von Andern aufgestellt worden ist.“

Die erste der beiden Alternativen ist soeben besprochen, und ich glaube gezeigt zu haben, dass es nicht nur zulässig, sondern auch nothwendig ist, auf den peripheren Zonen mehr Grundempfindungen anzunehmen, als uns die Mannigfaltigkeit der Empfindungen auf diesen Zonen zwingt, weil wir eben gleichzeitig die Mannigfaltigkeit auf der mittleren Zone kennen. Ich wende mich zur zweiten Alternative. Gewiss wäre es zulässig, mehr als 3 Grundempfindungen auf der mittleren Zone anzunehmen, z. B. die

Rothempfindung anzusehen als zusammengesetzt aus zwei anderen, uns an sich ganz unbekannten  $y$  und  $z$ . Diese müssten aber dann vermöge der Reizbarkeitscurven ihrer Substrate stets in gleichem Verhältnisse — in welchem sie eben Roth bilden — vorhanden sein. Die Schwerpunktskonstruktion des Mischungsgesetzes wäre dann auszuführen in einer 4seitigen Pyramide, von der die uns bekannte Farbentafel eine Durchschnittsebene bildete, welche zwei Ecken der Pyramide (Grün und Blau) enthielte und die eine Seitenkante ( $y, z$ ) in dem Rothpunkte schnitte. Mit anderen Worten: die hypothetischen Grundempfindungen  $y$  und  $z$  wären in zwei Punkte der symbolischen räumlichen Darstellung der Farbenmannigfaltigkeit zu setzen, welche oberhalb und unterhalb der wirklichen Farbenebene so anzunehmen wären, dass ihre Verbindungslinie durch den Rothpunkt der Tafel ginge. Die durch beliebige Variirung der Grundempfindungen Grün, Blau,  $y$  und  $z$  möglicherweise herstellbare Mannigfaltigkeit wäre uns dann nicht bekannt, sondern nur die, welche hervorgeht aus der beliebigen Variirung der Coefficienten  $a, b, c$  in der Summe  $a \times \text{Grün} + b \times \text{Blau} + c(my + nz)$ , wo  $m$  und  $n$  zwei bestimmte Zahlen sind, so dass  $my + nz = \text{Roth}$  ist. Es ist gut zu bemerken, dass eine symbolische Darstellung der Farbenmannigfaltigkeit im anschaulichen Raume nicht mehr stattfinden könnte, wenn man etwa auch noch Grün und Blau als aus zwei unbekannten Componenten zusammengesetzt ansehen wollte.

Zur Erklärung der wirklich beobachteten Farbenmannigfaltigkeit, die sich nach dem empirisch bewiesenen Mischungsgesetze mit Schwerpunktskonstruktion in der ebenen Farbentafel darstellen lässt, ist aber die Annahme von mehr als 3 Grundempfindungen, welchen in der Farbenebene ein Platz anzuweisen

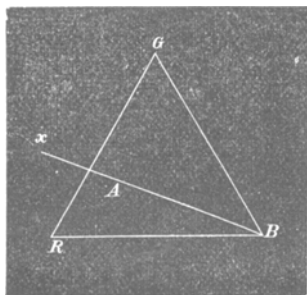


Fig. 1.

wäre, nicht nur überflüssig, sondern in der That unzulässig, wie sich durch einen Blick auf die Fig. 1 zeigt. Es sei  $R, G, B$  das empirisch hergestellte Farbendreieck. Nun nehme man eine neue Empfindung als Grundempfindung hinzu. Ihr Ort sei  $x$ . Dann entstände durch Zusammensein einer gewissen Menge von  $x$  mit einer gewissen Menge von Blau die wirklich vorkom-

mende Empfindung *A*. Diese Empfindung kann aber faktisch zu Stande kommen durch das Zusammensein von Roth, Grün, Blau in gewissen Mengen. Es kann also jene Menge von  $x$  ersetzt werden durch das Zusammensein gewisser Mengen von Roth und Grün, d. h. mit andern Worten: jenes  $x$  ist keine Gr und e mpfindung q. e. d.

Das zweite methodische Bedenken gegen meine Erklärung drückt Hering in folgenden Sätzen aus: „Der normale Farbensinn der (Netzhaut-) Mitte geht allmählich in partielle und schliesslich in (sicher wenigstens angenäherte) totale Farbenblindheit über. So zerlegt sich die Netzhaut gleichsam in ein System von Zonen, deren jede von ihren Nachbarn in Betreff ihres Farbensinnes verschieden ist. Für jede einzelne dieser unendlich (?) vielen Zonen muss nun von den Anhängern der neuen Hypothese eine andere Intensitätscurve für die einzelne Faserart, ein anderes Gesetz der Abhängigkeit ihrer Erregung von der Wellenlänge angenommen werden und zwar muss für jede einzelne Zone diese hypothetische Curve für jede Faserart rein empirisch festgestellt werden.“

Diese Folgerung aus meiner Hypothese erkenne ich als durchaus richtig gezogen an, nur kann ich nicht finden, dass sie dieselbe weniger annehmbar macht.

Im dritten Theile seiner Abhandlung sucht Hering zu beweisen, dass die von Hess gefundenen Thatsachen des peripheren Farbenempfindens mit meiner Hypothese geradezu unvereinbar seien. Ich hoffe dagegen zeigen zu können, dass meine Hypothese alle diese Thatsachen befriedigend erklärt.

Die erste von Hering gegen meine Hypothese angezogene Thatsache ist diese: „Drei bestimmte homogene Lichter, ein gelbes, ein grünes<sup>1)</sup> und ein blaues werden auf allen Theilen einer neutral gestimmten Netzhaut, soweit sie nur überhaupt noch farbig erscheinen, in demselben Farbentone gesehen, wie auf der centralen Netzhaut, wenngleich in sehr verschiedener Weisslichkeit (Sättigung).“

Diese Thatsache, weit entfernt, meiner Hypothese zu widersprechen, hätte aus derselben vorhergesagt werden können, oder

---

1) Sollte nach den numerischen Angaben von Hess wohl eigentlich heissen ein bläulich grünes.

man könnte sagen, meine Hypothese gründet sich wesentlich auf diese Thatsache. In der That habe ich schon in meiner ersten Veröffentlichung über den Gegenstand hervorgehoben, wenn man ein farbiges Feld vom Netzhautcentrum nach der Peripherie wandern lässt, so geht sein Farbenton, wenn er roth oder grün ist, durch Gelb in Weiss über, wenn er grünblau oder violett ist, geht er durch Blau in Weiss über, und ich fand hierin gerade den Hauptbeweis meiner Hypothese. Es folgt aber hieraus schon einfach logisch erstens, dass ein gelbes und ein blaues Feld von gewissem Farbenton, ohne den Ton zu ändern, in Weiss übergeht, und zweitens, dass es ein gewisses bläuliches Grün geben muss, das beim Vorrücken nach der Peripherie weder durch Gelb, noch durch Blau in Weiss übergeht, d. h. für welches sich gleichfalls der Farbenton nicht ändert. Ebenso muss es zwischen dem Roth, das durch Gelb, und dem Violett, das durch Blau in Weiss übergeht, einen gewissen Purpurton geben, der weder durch Gelb, noch durch Blau, d. h. ohne Aenderung des Tones in Weiss übergeht; natürlich kann diese Purpurempfindung nur durch gemischtes Licht erzeugt werden. Es ist wichtig, zu bemerken, dass nach meiner Theorie diese beiden Lichtarten beim Vorrücken gegen die Peripherie früher in Weiss übergehen müssen, als Gelb und Blau. Jenes bläulich grüne und jenes purpurne Licht nämlich muss nach meiner Theorie schon in der zweifarbigten Zone Weiss erscheinen, während gelbes und blaues Licht (wenn der abgekürzte Ausdruck erlaubt ist) erst auf der total farbenblinden Zone weiss erscheinen muss, wo die Erregbarkeit der 3 Fasergattungen gar nicht mehr von der Schwingungsdauer der Strahlen abhängt. Diese Folgerung aus meiner Theorie ist nun durch Versuche von Hess<sup>1)</sup> experimentell bestätigt.

Um die anderen von Hering aus den Versuchen von Hess gefolgerten Sätze mit meiner Theorie in Einklang zu bringen, wird es am besten sein, dieselbe hier noch einmal an der Hand der schon früher<sup>2)</sup> von mir gegebenen graphischen Darstellung zu wiederholen. Die stark ausgezogene Curve (Fig. 2) enthalte die empirisch bestimmten Orte der durch die homogenen Strahlungen ausgelösten Empfindungen in der nach der Schwerpunktskonstruktion aus-

1) Siehe § 7, S. 39 u. fgd. der oben citirten Abhandlung von Hess.

2) Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. III, 1. Th.

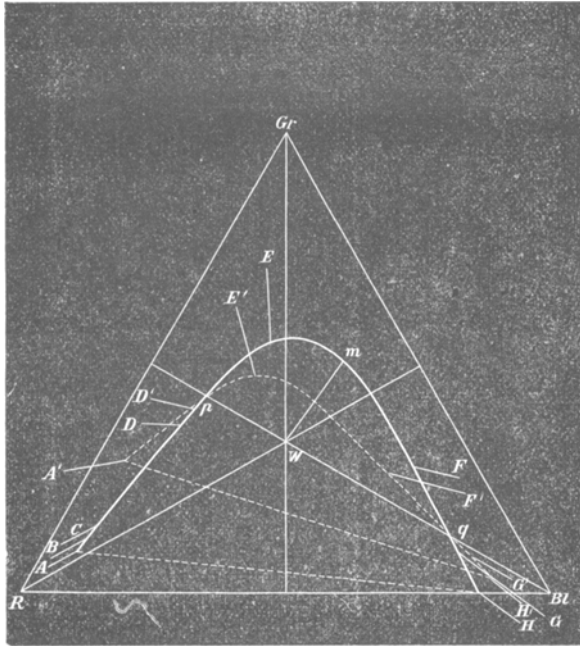


Fig. 2.

geführten Farbentafel,  $W$  sei der Ort des Weiss. Die an auf den Punkt  $W$  zielende Striche angeschriebenen Buchstaben  $A B C D E F G H$  bezeichnen die Fraunhofer'schen Linien, und der Punkt der Curve, wo sie von einem solchen Striche getroffen wird, ist der Ort der Farbenempfindung, welche durch die der betreffenden Fraunhofer'schen Linie entsprechende homogene Strahlung erregt wird. Um die Spectralcurve habe ich das gleichseitige Dreieck gelegt, dessen Ecken die Orte der hypothetischen Grundempfindungen der Young'schen Theorie sind. Hierbei ist bekanntlich der Willkür ein gewisser, wenn auch enger Spielraum gegeben. Meine Wahl der Punkte  $R Gr Bl$  ist wesentlich geleitet worden durch folgende Erwägungen. Das äusserste spektrale Roth macht mir immer noch eher einen gelblichen Eindruck, deshalb habe ich den Punkt  $R$  so gelegt, dass die Linie  $R W$  etwas unterhalb des Endes  $A$  der Spectralcurve vorbeigeht. Aus anderweit entwickelten Gründen halte ich nicht Violett, sondern Blau (nahezu der Fraunhofer'schen Linie  $G$  entsprechend) für eine Grundempfindung. Deshalb habe ich den Punkt  $Bl$  so gesetzt,

dass die Gerade *Bl W* etwas oberhalb des Punktes *G* die Spektralcurve durchschneidet. Die Krümmung der Spektralcurve nach dem brechbareren Ende zu ist der von J. J. Müller gefundenen Thatsache entsprechend gezeichnet, dass aus Blaugrün und Violett ein viel gesättigteres Blau gemischt werden kann, als aus Roth und grünlich Blau.

Stellt man sich auf den Standpunkt von Young's Theorie, so lässt sich bekanntlich die empirische Farbentafel, wenn man darauf die Orte der Grundempfindungen gewählt hat, ersetzen durch drei Curven, deren Abscissen die Schwingungszahlen der homogenen Strahlungen, deren Ordinaten die Erregungsgrössen der 3 hypothetischen Faserarten sind. Eine solche, der Figur 2 völlig äquivalente Darstellung hat man in Figur 3, S. 282. An der Abscissenaxe sind wieder die Buchstaben *C D E F G H* angeschrieben, den Fraunhofer'schen Linien entsprechend. Jede Ordinate der mit *R* bezeichneten ausgezogenen Curve bedeutet nun die Erregungsstärke der rothempfindenden Fasern durch die Strahlenart, deren Lage im Spektrum durch den Fusspunkt der Ordinate gegeben ist. Ebenso bezieht sich die *Gr* bezeichnete Curve auf die grünempfindenden und die *Bl* bezeichnete auf die blauempfindenden Fasern.

Zu der Darstellung habe ich noch zu bemerken, dass die Ordinaten in einem anderen Maassstabe ausgeführt sind, als dies von anderen Autoren geschehen ist. Es wird meist die objektive Stärke der homogenen Strahlung zu Grunde gelegt, welche derselben im natürlichen Sonnenspektrum zukommt. Ich habe die gesammte Erregungsstärke des Netzhauttheiles durchweg als gleich vorausgesetzt, d. h. die Summe 3 Ordinaten der 3 Curven ist für alle Abscissenwerthe dieselbe. Die Verhältnisse zweier Ordinaten zur dritten sind hier immer gerade so gross, wie bei der anderen Darstellungsweise, so dass der Schwerpunkt von 3 Massen, die sich verhalten wie die drei zur selben Abscisse gehörigen Ordinaten, in der Farbentafel an denselben Punkt für beide Darstellungsweisen zu liegen käme. Ich glaube, dass die hier gewählte Darstellungsweise einen anschaulicheren Ueberblick über die Verhältnisse der 3 Grundempfindungen für die verschiedenen Strahlenarten gewährt.

Nach meiner Hypothese erleiden nun diese Curven Umgestaltungen, wenn man von der Netzhautmitte zur Peripherie übergeht,

in dem Sinne, dass sich die Verhältnisse zwischen den 3 Ordinaten über derselben Abscisse im Allgemeinen der Gleichheit nähern, und zwar erreicht das Verhältniss zwischen der Roth- und der Grünordinate für jeden Punkt des Spektrums schon früher den Werth 1 als die Verhältnisse von Roth und Grün zu Blau. Mit andern Worten, es giebt eine Zone der Netzhaut, in welcher die Erregbarkeitcurven der Roth und der Grün empfindenden Fasern schon vollständig zur Deckung gekommen sind, wo aber die Erregbarkeitcurve der Blau empfindenden Fasern noch einen abweichenden Verlauf hat. Dies ist die zweifarbige Zone, wo nur die Mannigfaltigkeit der Eindrücke von gelb-blass-gelb-weiss-blassblau-blau vorkommt. Erst in einer noch weiter peripherischen Zone fallen alle drei Curven in eine zur Abscissenaxe parallele Gerade zusammen. Dies ist die total farbenblinde Zone, in der bloss der Eindruck Weiss vorkommt.

Ich will nun zu zeigen versuchen, dass man durch Annahmen über die Umgestaltung der Curven, die sicher im Bereiche der Möglichkeit liegen, sämmtlichen von Hess gefundenen Thatsachen gerecht werden kann. Um mir die Konstruktion nicht allzusehr zu erschweren, habe ich für diesmal angenommen, beim Vorrücken vom Centrum nach der Peripherie behielte die Blaucurve zunächst ihre Gestalt bei und es näherten sich nur die Roth- und die Grüncurve einander und zwar in der Weise, dass die Schnittpunkte der beiden Curven an derselben Stelle bleiben, im Uebrigen die Ordinaten der einen Curve immer um ebensoviel zu als die der andern abnehmen. Schon unter diesen die Konstruktion erleichternden Annahmen ergeben sich Resultate, die mit den Hess'schen Thatsachen sehr gut zusammenstimmen, wie sich sogleich zeigen wird.

Für eine dem Centrum nahe Zone, auf welcher sich das Farbensystem noch nicht auf eine einfach unendliche Mannigfaltigkeit (Gelb durch Weiss zu Blau) reducirt hat, stellen die punktirten Curven  $R'$ ,  $R''$  und  $Gr'$ ,  $Gr''$  nebst der alten Curve  $Bl$  unter den obigen Annahmen die drei Erregbarkeitcurven der drei Fasergattungen dar.

Die nach diesen Curven construirte Farbentafel ist in Fig. 2 durch die punktirt eingezeichnete Spektralcurve und Purpurlinie begrenzt. An jener sind wieder die Fraunhofer'schen Linien mit  $A'$   $D'$   $E'$   $F'$   $G'$   $H'$  markirt. Es zeigt sich hier unmittelbar in der Anschauung, dass es drei spektrale Strahlungen giebt, welche



ihren Farbenton nicht geändert haben, eine blau aussehende nahe der Linie  $G$ , eine gelb aussehende zwischen  $D$  und  $F$  näher an  $E$  und eine bläulich grün aussehende zwischen  $E$  und  $F$  näher an  $E$ . Der von der letzteren gemachte Farbeindruck, dessen Charakter etwa durch die Linie  $Wm$  dargestellt ist, hat sehr an Sättigung verloren. Die gelbe und blaue homogene Strahlenart, welche ihren Farbenton nicht geändert haben, entsprechen in Fig. 3 den Abscissenwerthen, über welchen sich die Curven  $Gr$  und  $R$  durchschneiden. Die bläulichgrün aussehende homogene Strahlung, welche ohne ihren Farbenton zu ändern blasser wird, entspricht in Fig. 3 dem Abscissenwerthe, über welchem die Blaucurve zwischen der Roth- und Grüncurve mitten hindurchgeht.

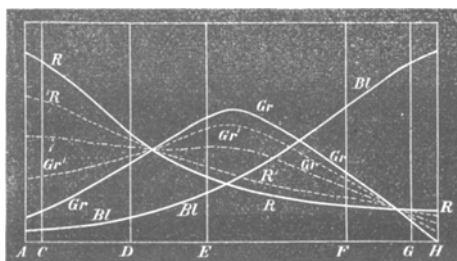


Fig. 3.

Dass auf der punktirt umrissenen Farbentafel Fig. 2 dieselben Spektralkpunkte einander diametral ( $W$  als Mittelpunkt gedacht) gegenüber liegen wie in der ausgezogenen Spektralcurve sieht man auf den ersten Blick. Dies heisst, dass auf der zu Grunde gelegten Zone der Netzhaut dieselben Strahlenpaare complementär sind, wie auf der Netzhautmitte. Man kann diesen Satz auch unmittelbar an Fig. 3 bestätigen. Man kann in ihr zwei complementäre Strahlenpaare an folgendem Merkmale erkennen. Es seien  $r, g, b$  die Ordinaten der 3 Erregbarkeitscurven für die eine und  $r_1, g_1, b_1$  für die andere Strahlenart; sollen sie complementär sein, so muss es einen Faktor  $a$  geben, für welchen  $ar + r_1 = ag + g_1 = ab + b_1$  wird. Hat man nun zwei Strahlenarten gefunden, die bezüglich der ausgezogenen Curven complementär sind, so zeigen sie sich auch bezüglich der punktirten Curven sehr annähernd als complementär. Ganz mathematisch genau ist die Uebereinstimmung allerdings weder in Fig. 3 noch in Fig 2 zu finden. Das kann aber kein Bedenken gegen die Theorie bilden, da zu einer ganz exakten Construction nicht genügende Data vorhanden sind.

Um an den Erregbarkeitscurven den Satz zu bestätigen, zeichnet man sie zweckmässig in weit grösserem Maassstabe. Ich habe dies in der That ausgeführt und eine ausserordentlich genaue Uebereinstimmung gefunden.

Geht man in der oben bis zu einem gewissen Stadium vollzogenen Umformung der Erregbarkeitscurven für Roth und Grün weiter, so zieht sich die Farbentafel auf einen immer schmaleren Streif um die Gerade  $p q$  (Fig. 2) herum zusammen. Sie wird aber ihren Charakter beibehalten und namentlich werden immer die ursprünglichen complementären Strahlenpaare einander diametral gegenüber bleiben und immer wird ein gewisser Punkt des Spektrums auf der Linie  $Wm$  bleiben, die einem gewissen Bläulichgrün entspricht. Zuletzt fallen die Erregbarkeitscurven für Grün und Roth ganz zusammen. (Siehe die gestrichelt-punktirte Curve Fig. 3). Dann zieht sich die Farbentafel zusammen auf einen geraden Strich in der Richtung  $p q$ , der aber bei unserer Annahme der unveränderten Blaucurve beiderseits etwas über die Punkte  $p$  und  $q$  der ursprünglichen Spektralcurve vorragen wird.

Damit haben wir eine zweifarbige Zone der Netzhaut erreicht, und wenn wir nun noch die Blaucurve so umgestalten, dass sie sich der schon vereinigten Rothgrüncurve nähert, so zieht sich der nun die ganze Farbentafel ausmachende gerade Strich allmählich auf den Punkt  $W$  zusammen, der total farbenblinden äussersten Zone der Netzhaut entsprechend.

Es ist schon gelegentlich bemerkt, dass die Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Blaucurve bis zur zweifarbigen Zone die Folgerung nach sich zieht, dass die Farbentafel für die inneren peripheren Zonen mit ihren beiden, den Enden des Spektrums entsprechenden Ecken über die Spektralcurve der für die centrale Netzhaut entworfenen Farbentafel vorragt. Dies würde heissen, dass auf gewissen peripheren Netzhauttheilen homogenes rothes und homogenes violettes Licht die Eindrücke eines gesättigteren Gelb und eines gesättigteren Blau machen, als homogenes gelbes und homogenes blaues Licht auf den centralen Theilen der Netzhaut. Es ist nicht unmöglich, dass dies den Thatsachen entspricht, insbesondere möchte ich eine Angabe von Hess in diesem Sinne deuten; er sagt S. 23 der citirten Abhandlung: „auch das äusserste „noch hinreichend helle Roth im Spektrum erscheint auf der peripheren Netzhaut schmutzig dunkelgelb.“

Die Annahme, dass die Blaucurve bis zur zweifarbigen Zone ungeändert bleibt, ist indessen keineswegs für meine Theorie nothwendig, also auch nicht die soeben hervorgehobene Folgerung aus dieser Annahme. Man könnte im Sinne meiner Hypothese die Blaucurve von Anfang an auch so umgestalten, dass sie sich den beiden andern nähert, dann würde bei passender Wahl des Umgestaltungsweges die Farbentafel auf den peripheren Zonen allmählich in den Strich  $p q$  (Fig. 2) oder einen Theil desselben übergehen, ohne dass ihre Ecken über die Spektralcurve des centralen Netzhautfeldes vortreten, und doch würde den Folgerungen aus den Versuchen von Hess jederzeit genügt sein können.

Ich glaube hiermit gezeigt zu haben, dass meine Hypothese mit den von Hering aus den Hess'schen Versuchen abgeleiteten Sätzen, die sich auf homogene Strahlungen beziehen, sehr wohl verträglich ist. Die auf gemischte Strahlungen bezüglichen Sätze Hering's scheinen mir aus den für homogene gültigen unter Berücksichtigung allgemein anerkannter Sätze logisch zu folgen. Ich habe sie daher nicht noch besonders mit meiner Hypothese in Einklang setzen zu müssen geglaubt.

Ich glaube insbesondere gezeigt zu haben, dass die von Hering auf S. 76 und 67 seiner citirten Abhandlung versuchte Beweisführung nicht zwingend ist. Er sucht nämlich hier zu zeigen, dass die für die verschiedenen Netzhautzonen construirbaren Farbentafeln, wenn sie die aus den Hess'schen Versuchen abgeleiteten Sätze erklären sollen, von lauter geometrisch ähnlichen und ähnlich liegenden Spektralcurven begrenzt sein müssten, die sich durch Verkleinerung aller Abmessungen in gleichen Verhältnissen allmählich auf den Weisspunkt zusammenzögen. Andererseits gehe aber thatsächlich die Zusammenziehung der Farbentafel auf den Weisspunkt durch ein Stadium, wo sie eine gerade Linienstrecke darstellt — nämlich auf der zweifarbigen Zone. Es führe also meine Hypothese nothwendig auf einen Widerspruch. Dass dies nicht der Fall ist, glaube ich oben an der Hand von Fig. 2 gezeigt zu haben. Man sieht daraus, dass im Sinne meiner Hypothese die Farbentafel beim Uebergange von der Netzhautmitte zum Rande sich auf den Weisspunkt zusammenzieht, indem sie sowohl ihre Gestalt als ihre Grösse ändert und dabei durch die Gestalt eines geraden Striches (Blau-Weiss-Gelb) hindurchgeht und dass sie dennoch in allen Stadien den Hering'schen Sätzen gerecht wird. Ich

kann daher in den schönen Versuchen von Hess und den scharfsinnigen Erörterungen Hering's nur neue Stützen für meine Hypothese erkennen.

Zum Schlusse möchte ich noch auf eine Folgerung aus den vorstehenden Betrachtungen aufmerksam machen. Man sieht sofort, dass Jeder, der sich überhaupt auf den Standpunkt der Young'schen Hypothese stellt, in demjenigen Blau, welches beim Uebergange auf die seitlichen Netzhauttheile seinen Farbenton nicht ändert, eine der drei Grundfarben erkennen muss. Es wäre also jetzt eines dieser bisher in gewissem Spielraume willkürlichen Elemente unzweifelhaft festgelegt. Es ist dasjenige Blau (nahe der Linie *G*, nach *F'* hin), welches ich schon in früheren Veröffentlichungen nach meinem subjektiven Farbengefühle als eine der Grundfarben gewählt habe.

Ueber die beiden anderen Grundfarben lässt sich auf Grund der Hering'schen Betrachtungen, wenn man sie im Sinne meiner Hypothese, wie hier geschehen ist, deutet, wenigstens etwas feststellen. Das unveränderliche Gelb muss aus physiologisch gleichen Theilen der beiden Grundfarben zusammengesetzt sein und ferner muss, wenn ich nicht irre, die gerade Linie, welche durch das unveränderliche (bläulich) Grün durch Weiss und durch das unveränderliche (violettlich) Roth auf der Farbentafel geht, zur geraden Verbindungslinie der beiden Grundfarben Grün und Roth parallel sein. Bei der von mir entworfenen Farbentafel Fig. 2 wird dies etwa zu dem von Hess als unveränderlich bezeichneten grünen Farbenton (in Fig. 2) stimmen.

Die Bezeichnung dieser beiden letzteren Farbtöne als Urroth und Urgrün kann ich nicht billigen. Ich glaube, kein unbefangener Beobachter wird die beiden Farben, deren Herstellung auf dem Farbenkreisel Hess S. 15 seiner Abhandlung genau beschreibt, als Urroth und Urgrün bezeichnen, vielmehr wird er das Grün bläulich, und das Roth violettlich nennen.

---