

# Der Fechner-Helmholtz'sche Satz über negative Nachbilder und seine Analogien.

Von

Wilhelm Wirth.

---

## Zweiter Theil.

### Die Veränderungen der Farbenerregbarkeit.

Mit 21 Figuren im Text und Tafel II u. III.

#### Einleitung.

Der erste Theil dieser Arbeit hatte sich auf die Feststellung der objectiven Helligkeitswerthe bezogen, denen ein und das nämliche negative Helligkeitsnachbild auf reagirenden Flächen verschiedener Helligkeit entspricht. Dabei wurden zur Entstehung des Nachbildes meistens, zur Messung als reagirende Reize sogar immer nur farblose Helligkeiten verwendet. Es war also damit zunächst diejenige Seite aus einem weiteren System functioneller Zusammenhänge herausgelöst worden, die in ihrer allgemeineren Richtung bereits aus der unmittelbaren Beobachtung und Schätzung hinlänglich bekannt war, so dass die angewandte Methode neben ihrer technischen Einfachheit auch theoretisch vollkommene Klarheit besaß. Das Nachbild und seine objective Ausgleichung behufs seiner Messung bedeutete im wesentlichen nur eine Verschiebung innerhalb der Schwarz-Weiß-Linie des gesammten Farbencontinuum.

Wenn man nun beliebig von einander abweichende Lichtqualitäten neben einander bringt und längere Zeit fixirt, so können die beiden benachbarten Sehfeldbezirke natürlich in viel mannigfaltigeren Richtungen hinsichtlich ihrer Erregbarkeit differiren, je

nach der Richtung, in welcher sich die Ausgangsreize von einander unterschieden. Auch in diesen Fällen müssen sich die subjectiven, im Nachbild enthaltenen Empfindungsdifferenzen, welche auf den verschiedenartigsten reagirenden Reizflächen bei objectiver Gleichartigkeit des Feldes gesehen werden, durch eine ganz bestimmte objective Veränderung einer der beiden benachbarten Stellen ausgleichen und somit quantitativ bestimmen lassen. Variirt man nun für eine bestimmte Erregbarkeitsdifferenz die reagirende Projectionsfläche in irgend einer eindeutig festgehaltenen Richtung des Farbencontinuum und stellt die zugehörigen Werthe des Nachbildes zusammen, die in jener quantitativen Bestimmung gewonnen wurden, so erhält man eine Analogie zum Fechner-Helmholtz'schen Satze. Diese Analogie trifft vollständig mit dem Satze selbst zusammen, wenn dabei speciell die Hauptrichtung der Intensitätsveränderung gewählt wird. Erst mit einer solchen Durchführung des Nachbildes durch die verschiedenen Richtungen des Continuum, die selbstverständlich jene objective Maßbestimmung wo immer nur möglich zu Hülfe nehmen muss, hat man den vollen phänomenalen Thatbestand in exacter Weise erschöpft, der mit dem Erklärungsbegriffe einer »Erregbarkeitsveränderung« getroffen werden soll, wenigstens soweit dieser Begriff zunächst dem Zusammenhange der entsprechenden Empfindungsveränderungen zu Grunde gelegt wird.

Der Anschluss an die allgemeine Theorie des Gesichtssinnes wird von dieser Einzelfrage aus offenbar dann am besten vorbereitet sein, wenn man die oben genannten Functionen möglichst nach denjenigen Richtungen hin untersucht, die sowohl für die abstrahirende Vergleichung der Empfindungen als solcher, als auch für anderweitige functionelle Zusammenhänge (z. B. durch die Einfachheit der entsprechenden Variation der Reize) als Hauptrichtungen charakterisirt sind. Als solche werden innerhalb des Continuum der Gesichtsempfindungen die drei Dimensionen der Helligkeit, des Farbentones und der Sättigung (oder des Farbengrades)<sup>1)</sup> wohl immer allgemeiner anerkannt werden.

Ueber die Beibehaltung des nämlichen Farbentones ist kein Wort weiter zu verlieren. Schwieriger ist es hingegen mit der Beibehaltung

---

1) Wundt, Grundriss der Psychologie, S. 65 ff.

einer und der nämlichen Helligkeitsstufe bei verschiedenen Farben und Sättigungen bestellt. Wenn auch schließlich jeder Farbe auf Grund der abstrahirenden Vergleichung mit ziemlicher Sicherheit ein Grau von bestimmter Helligkeit als »gleich hell« zugesprochen wird, so ist doch dieses abstracte Merkmal der Helligkeit für die naturgemäße Auffassung zunächst immer gewissermaßen mehr oder weniger hinter dem aufdringlicheren Merkmal der Farbenqualität versteckt. Wenigstens gilt dies für den Fall, auf den es bei der Messung dieser Helligkeit vor allem ankommt, wo die Farbendifferenz eine beträchtliche, die Helligkeitsdifferenz hingegen (in der kritischen Region um die Gleichheitseinstellung herum) entsprechend geringer ist. Natürlich darf aber diese größere Schwierigkeit des logischen Processes niemals gegen die eindeutige Bestimmtheit des Gegenstandes eingewendet werden, auf den sich das Vergleichsurtheil bezieht, und sei dieser Gegenstand auch das abstracte Moment der Helligkeit. Es wird damit nichts in die Empfindungen hineingedeutet, oder man müsste an der Möglichkeit einer sachgemäßen Analyse von Empfindungsqualitäten als solchen überhaupt verzweifeln<sup>1)</sup>. Durch entsprechende Uebung lässt sich aber auch dieser ganze logische Process immer mehr abkürzen und damit zugleich in seiner Uebersichtlichkeit und Evidenz steigern, insbesondere, wenn man alle Mittel anwendet, die auch sonst eine Heraushebung abstracter Momente erleichtern. Dass Farben überhaupt hinsichtlich der Helligkeit verschieden sein können, und was diese Verschiedenheit eigentlich für das Bewusstsein bedeutet,

---

1) Diese rein psychologisch-phänomenologische Analyse, die einen Empfindungsbestand, wie er bei der augenblicklichen Gesamtverfassung thatsächlich bereits im Bewusstsein vorhanden ist oder war, nach seinen verschiedenen gleichzeitig in ihm enthaltenen »Seiten« hin untersucht, ist also zu unterscheiden von einer anderen Art der Analyse, die an Stelle eines ursprünglichen Verschmelzungsproductes durch Anspannung der Aufmerksamkeit mehrere relativ selbständige Einzelelemente treten lässt, z. B. von der Auflösung der Klangfarbe in ihre Obertöne. Die Auffassung des Helligkeitsgrades entspricht nicht dem Herausheören der Obertöne, sondern dem Herausheben der Klangfarbe selbst in der Eigenart, wie sie ohne jede besondere Beachtung der Obertöne für uns im Bewusstsein gegeben ist. Dass es trotz dieser Hinlenkung der Aufmerksamkeit auf das eigenthümliche Moment der Helligkeit bei dieser Einheitlichkeit des farbigen Empfindungsganzen verbleibt und nicht etwa eine reine Grau-Empfindung von einer reinen Farbenempfindung sich sondert, ist eine besondere Thatsache für sich, die den übrigen Unterschieden zwischen Gesicht und Gehör sich hinzufügt.

wird man durch entsprechende Größe der Ausgangsunterschiede einem Jeden klar machen können.

Hat dann der Vergleichende diesen eigenthümlichen Gesichtspunkt der Aehnlichkeit oder Verschiedenheit hinsichtlich der Helligkeit, der ein besonderes Bewusstseinsmoment ausmacht, bei seiner hinreichenden Deutlichkeit überhaupt einmal sicher und klar aufgefasst, so wird er ihn auch für die folgenden Herabsetzungen des Helligkeitsunterschiedes (bis zur völligen Gleichheit bezüglich der Helligkeit) in seiner Aufmerksamkeit festhalten können, und die Constanz seiner Vergleichsresultate wird die erste Garantie für die erfolgreiche Einübung bieten. Allerdings auch nur die erste, insofern auch bei den Helligkeitsvergleichen constante Fehler angelernt werden können<sup>1)</sup>, indem verwandte Gesichtspunkte für Farbenvergleichen an Stelle der eigentlich gewollten sich unwillkürlich unterscheiden können, wie z. B. Röthlichkeit oder Gelblichkeit der Helligkeit, Bläulichkeit der Dunkelheit verwandt sind<sup>2)</sup>. Endgültig corrigirt werden derartige constante Schätzungsfehler aber natürlich wieder nur durch bessere Helligkeitsschätzungen. Eine sog. objective Methode kann nur indirect helfend und controlirend eingreifen, wenn sie selbst durch directe Helligkeitsvergleichen als allgemein gültig nachgewiesen ist. Und da lässt sich, abgesehen von der Flimmermethode, am einfachsten immer die Mischung der zu messenden Farben in möglichst complementären Zusammenstellungen verwenden. Die weniger gesättigten Farbentöne der Mischung lassen die früher erwähnte Erschwerung der Helligkeitsvergleichen bei Farbenunterschieden mehr und mehr zurücktreten, und der so gefundene Helligkeitswerth der Mischung muss mit dem Werthe übereinstimmen, der nach dem bekannten Mischungsgesetze aus den unmittelbar bestimmten Helligkeiten der Componenten berechnet wurde. Durch Berücksichtigung all dieser Momente habe ich eine große Zahl von Helligkeitsbestimmungen gut gesättigter Farben mit hinreichender Sicherheit vornehmen können. Sie kommen im Folgenden bei der Ableitung der gesuchten

---

1) G. E. Müller, Zur Psychophysik des Gesichtssinnes, Zeitschr. f. Psychologie, X, S. 28f. Andererseits kann auch wiederum eine ängstliche Vorsicht, solchen Täuschungen entgegen zu wollen, eine Verschätzung in entgegengesetzter Richtung nahe legen.

2) Wundt, Physiologische Psychologie, I, S. 567 ff.

»Analogien« überall zur Verwendung und bilden neben den Nachbildmessungen selbst die grundlegenden Gesichtspunkte für die Behandlung der vorliegenden Frage. Auch die Gültigkeit der oben erwähnten objectiven »Hülfen«<sup>1)</sup> schien mir durch zahlreiche Messungen von neuem bestätigt. Diese klare Gesetzmäßigkeit lässt natürlich die psychophysische Bedeutung der reinen (zunächst phänomenal festgestellten) Helligkeitsrichtung innerhalb des Farbencontinuums erst recht hervortreten.

Sobald nun die Beibehaltung ein und der nämlichen Helligkeitsstufe so bestimmt erreicht ist, wie es nach dem Bisherigen wirklich geschehen kann, ist natürlich auch das Fortschreiten in reinen Sättigungsänderungen sehr klar und sicher garantirt. Es besteht in der zunehmenden Beimischung eines Grau oder der Complementärfarbe von gleicher Helligkeit an Stelle der ursprünglich gewählten Farbe, falls es sich z. B. um Fortschreiten in absteigender Richtung handelt. Die Schwierigkeit, die gleiche Sättigungsstufe bei verschiedenen Farbentönen und Helligkeiten wieder zu erkennen, stört also gerade bei Erzielung der reinen Sättigungsvariation am wenigsten, insofern der Fortschritt nach dieser einen Dimension durch die sichere Erkennbarkeit der Gleichheit hinsichtlich der beiden anderen Richtungen (Farbenton und Helligkeit) garantirt ist.

Eine ziemlich große Erschwerung würde unserer Arbeit hingegen dann erwachsen, wenn die Function auch nach reinen Helligkeitsvariationen bei gleicher Farbe und Sättigung durchgeprüft werden müsste. Vom rein subjectiv-phänomenologischen Gesichtspunkte aus lässt sich ja allerdings thatsächlich die Einhaltung dieser einfachsten Richtung denken. Die gleichmäßig fortschreitende Erhöhung der objectiven Intensität eines Farbenreizes, die eine entsprechende Erhöhung der Helligkeit mit sich bringt, führt indessen bekanntlich zugleich eine Variation des Farbengrades mit sich, die einer besonderen, keineswegs einfachsten Gesetzmäßigkeit folgt. In den untersten und ebenso in den obersten Reizstufen wird die entsprechende Sättigung geringer, während sie in der mittleren Intensitätshöhe ein Maximum besitzt, eine Thatsache, die bekanntlich auch

1) Vergl. auch die entsprechenden Resultate von F. Kretzmann, Einiges über die Helligkeit complementärer Gemische, in: Götz Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, I, 1, S. 120 ff. 1896.

in der schematischen Darstellung des Umfanges unseres thatsächlich erregbaren Vermögens der Farbenempfindung in einer Kugelgestalt ihren Ausdruck gefunden hat<sup>1)</sup>).

Wollte man also in reinen Helligkeitsvariationen fortschreiten, so müsste man aus den verschiedenen Intensitätsstufen jeweils erst gleiche Sättigungsgrade einer Farbe herstellen. Nach dem, was früher über die Abstraction von Helligkeit und Sättigung gesagt wurde, müsste diese Forderung erfüllbar sein, wenn auch die Einübung gerade hier mehr als irgendwo anders störende Nebenvorstellungen und unwillkürliche Hinneigung zu verwandten Gesichtspunkten zu überwinden hätte<sup>2)</sup>. Bei jener Kugelgestalt des Continuum's dürfte natürlich nur die mittlere Intensitätsregion ausgewählt werden, damit die gleichmäßig beibehaltene Sättigungsstufe nicht zu gering ausfallen würde.

Zunächst bedeutet aber nun die Empfindungsänderung, die der einfachsten Intensitätssteigerung entspricht, wenn auch keine einfachste, so doch immerhin noch eine relativ einfache Fortschrittsrichtung innerhalb des Continuum's, die eben zu jener Wahl der Kreisform oder dergleichen für den Querschnitt parallel zur »Helligkeitsrichtung« in der symbolischen Darstellung berechtigte. Und außerdem ist das Fortschreiten innerhalb einer beliebigen Nebenrichtung bei Untersuchung einer Function schon deshalb nicht ganz werthlos, weil auf Grund der allgemeinen Orientirung innerhalb des Ganzen eine jede Richtung sozusagen in ihre Componenten nach den Hauptrichtungen zerlegt werden kann. Dadurch kann auch der Verlauf der Function nach den Hauptrichtungen durch mehrfache Untersuchung nach möglichst divergirenden Nebenrichtungen mit hinreichender Sicherheit erschlossen werden, zumal wenn dieselben, im einzelnen betrachtet, relativ einfache sind<sup>3)</sup>.

Wenn aber nun in irgend einer Hinsicht eine gewisse Abweichung zwischen Reizvariation und Empfindungserfolg besteht, wie bei der

1) Wundt, Physiologische Psychologie, I, S. 500 f. 1894.

2) Die Bedeutung des Mischungsverhältnisses zur Herstellung möglichst farbloser Töne müsste selbst erst in dieser Weise festgestellt werden.

3) Auf Grund des Mischungsgesetzes ist eine solche einfache Nebenrichtung jederzeit auch dann vorhanden, wenn zwei verschieden helle und gesättigte Farben in fortschreitend wechselndem Verhältniss gemischt werden. Vergl. Kap. VI.

vorhin zuerst erwähnten objectiven Intensitätssteigerung, so wird es ohne Rücksicht auf den rein phänomenologischen Gesichtspunkt einen selbständigen Werth besitzen, wenn man die Function der einfachsten Reizvariation entlang untersucht, wie sie eben mit der Steigerung der objectiven Intensität verbunden ist. Die größere Einfachheit der Function je nach ihrer Beziehung auf die Reiz- oder Empfindungsvariation wird ganz allgemein über die Localisation des entsprechenden Processes (mehr nach der Peripherie oder dem Centrum hin) entscheiden können.

In dem F.-H.'schen Satze ist nun bereits ganz allgemein die Intensitätssteigerung der Reize als Veränderliche für die gesuchte Function betrachtet und das Nachbild in seiner Abhängigkeit von der reagirenden Intensität aufgefasst. Es sind also damit außer den bereits im ersten Theile behandelten Fällen auch die Messungen eines farbigen oder farblosen Nachbildes auf einer farbigen Reactionsfläche von verschiedener Intensität inbegriffen. Dieser verallgemeinerten Auffassung des Satzes werden also in diesem zweiten Theile noch eine ausführlichere Gruppe und mehrere Nebenversuche gewidmet sein.

Die Variation der reagirenden Farbe hinsichtlich der Sättigung bei gleicher Helligkeit ist jedoch als zusammenhängende Function bisher nicht einmal in jener allgemein schätzenden Beobachtung umfasst worden, die im F.-H.'schen Satz meinen Experimenten wenigstens vorhergegangen war, geschweige in exacten Messungen. In den früher bereits erwähnten Arbeiten sind nur, gemäß den sonstigen Fragestellungen, diese oder jene Strecken des Continuum herausgegriffen worden, welche als solche noch keine Uebersicht über den gesammten Verlauf in dieser Richtung verschaffen können. Hingegen ist der reagirende Farbenton für farbige Nachbilder von C. Hess variirt worden, und werde ich bei meinen entsprechenden Versuchen noch etwas ausführlicher darauf zurückzukommen haben <sup>1)</sup>.

Es ist bisher kurzweg nur von einem farbigen Nachbilde die Rede gewesen. Das Augenmerk war nur auf die verschiedenen Dimensionen gerichtet, nach denen die auf das constant gedachte Nachbild

1) Vergl. unten Kap. VIII.

reagirenden Reize variirt werden können. Die Zahl dieser Dimensionen aber gibt natürlich zugleich an, welche Arten von farbigen Nachbildern es überhaupt geben kann, d. h. nach welchen Richtungen benachbarte Farbenerregbarkeiten von einander differiren können. Je nach dem Unterschiede der ursprünglich fixirten Nachbarfarben werden sich Farben-, Sättigungs- und Helligkeitsnachbilder mit einander combiniren können und die allgemeine Methode erfordert auch hier, dass diese drei Fälle möglichst getrennt behandelt werden. Weichen jedoch die fixirten Nachbarfarben in mehrfacher Hinsicht von einander ab, so bedeutet dies natürlich hier ein Factum für sich, welches als integrirendes Moment in das Wesen des Nachbildes eingegangen ist und eine besondere Untersuchung verlangt. Es kann nicht etwa schon von vornherein an eine Vertretung des complicirteren Falles durch die Summe der einfacheren gedacht werden; ein Nachbild des Roth neben Blau kann also zunächst keineswegs als bloße Nebeneinanderlagerung des Nachbildes von Roth und Blau je neben Grau betrachtet werden, bis die quantitativen Verhältnisse genauer geprüft sind.

### Erstes Kapitel.

#### Die Hauptgruppen und die Methode im allgemeinen.

Die bisherigen Ausführungen enthalten natürlich nur das vorläufige Ideal für die Anlage der ganzen Untersuchung. Sie bezeichnen den gesammten Umfang, nach welchem die vorliegende Frage überhaupt behandelt werden kann und um der Vollständigkeit willen schließlich auch einmal behandelt werden muss. Technische Schwierigkeiten insbesondere werden indessen der praktischen Ausführung des Planes zunächst allenthalben einige Einschränkung widerfahren lassen. Andererseits wird man wohl sagen dürfen, dass nicht allen vorhin erwähnten Möglichkeiten die gleiche Wichtigkeit für den Ueberblick über die ganze Function zukommt. Die thatsächlich ausgeführten Versuche bieten daher nur einen bestimmten Theil des Ganzen dar, welcher theils technisch am ehesten zu erreichen war und relativ am wichtigsten erschien. In dieser Frage kann eben selbst die Aufwendung von sehr viel Mühe und Zeit eines Einzelnen noch lange nicht zur Erwartung irgendwie abgeschlossener Resultate berechtigen.



Die Herstellung von beliebigen Farbencontrasten zur Entstehung der verschiedenartigsten Nachbilder, von beliebigen reagirenden Farben und entsprechenden Differenzen zur Ausgleichung des Nachbildes wäre ja allerdings bei Anwendung des bekannten Helmholtz-König'schen Spectralapparates zur Farbenmischung in weitem Umfange möglich, falls es hier nur darauf ankäme, die jeweils nothwendigen Farben irgendwann einmal in den beiden Hälften des Gesichtsfeldes neben einander darbieten zu können. Auch hätte die Verwendung des Apparates noch den Vortheil, dass man jederzeit mit Farben von relativ einfachem physikalischen Charakter arbeiten würde. Wer aber überhaupt einmal mit Hülfe eines derartigen Spectralapparates Nachbildmessungen versucht hat, wird sich über die Unzweckmäßigkeit des ganzen Systems für diese specielle Aufgabe im Klaren sein, ohne dass damit dem Apparat als solchem natürlich irgendwie zu nahe getreten werden soll. Zunächst besitzen die fixirten Farben nur eine sehr geringe Ausdehnung innerhalb des gesammten Sehfeldes, so dass niemals der Contrast zur dunklen Umgebung ausgeschlossen werden kann. Es könnte also hiermit z. B. eine der wichtigsten Nebenfragen nur in sehr geringem Umfange in Angriff genommen werden, inwiefern nämlich die Ausdehnungsverhältnisse der contrastirenden Farben die quantitativen Verhältnisse der ihnen entstammenden negativen Nachbilder beeinflussen. Ferner strengt die Beobachtung durch das Fernrohr bei längerer Arbeitszeit das Auge in hohem Maße an, während bei der ohnehin unvermeidlichen Anstrengung durch derartige Versuche im übrigen die schonendsten Bedingungen anzustreben sind. Ein Fortschritt in der Nachbilderfrage ist nun einmal bloß dadurch zu erreichen, dass die Methode eine längere und häufigere Beschäftigung ohne Störung der Gesamtverfassung des Auges ermöglicht. Vor allem aber bleibt bei der ganzen Art und Weise, wie jene allerdings ziemlich unbeschränkte Farbenfülle des Apparates im einzelnen Falle actuell wird, die nothwendigste Voraussetzung für unsere Versuche unerfüllt. Denn für die Messung des Nachbildes kommt, außer der entsprechenden Variationsmöglichkeit der ermüdenden und reagirenden Reize überhaupt, vor allem die Möglichkeit einer sowohl hinreichend exacten, als vor allem auch einfachen und schnellen Ausgleichung des Nachbildes auf der erforderlichen Projectionsfarbe in Betracht. Es

muss auch hier wieder nach Entstehung des Nachbildes, gleichzeitig mit der Veränderung der reagirenden Farbe, die Einstellung auf subjective Gleichheit vorgenommen werden. Gerade die Variation der Farbe in einer einzigen Richtung, also z. B. ausschließlich hinsichtlich der Sättigung, gelingt aber mit dem Spectralapparat im allgemeinen immer erst nach umständlicher Berechnung für den einzelnen Fall durch eine ganze Anzahl vorsichtiger und damit langsamer Einzelverstellungen. Denn zur bloßen Aenderung der Sättigung unter Aufrechterhaltung der bisherigen Helligkeitsstufe ist außer der Beimischung der Complementärfarbe im allgemeinen auch jedesmal eine Regulirung der Spaltbreite erforderlich. Beides kann selbst bei Angabe besonderer Marken nicht hinreichend schnell ausgeführt werden<sup>1)</sup>.

H. Voeste<sup>2)</sup> hat mit Hülfe dieses Helmholtz-König'schen Mischapparates quantitative Bestimmungen über die Veränderung des Farbentones bei längerer Fixation, also die Abweichungen des Nachbildes von der Complementärfarbe, vorgenommen. Dabei wurde allerdings die Ermüdungsfarbe der einen Hälfte zugleich als reagirende Farbe beibehalten, und der anfangs verschlossene Spalt des anderen Collimators brachte dann die Ausgleichungsfarbe. V. ist sich dabei der oben geschilderten Mängel bezüglich quantitativer Nachbildbestimmungen wohl bewusst, insbesondere was die Unmöglichkeit einer Sättigungsausgleichung, aber auch die Schwierigkeit einer Einstellung auf bloße Intensitätsgleichheit anbelangt.

Eine wirklich schnelle und einfache Ausführung der Variationen, die für unsere Fragestellung nothwendig sind, gelingt dagegen auch hier wiederum mit Hülfe des Marbe'schen Rotationsapparates, dessen

---

1) Es soll damit natürlich nicht bestritten werden, dass für specieller gestellte Einzelfragen der Apparat auch hier gute Dienste leisten kann, die bei der Homogenität der Farben ihm den vollen Vorzug verschaffen. Ich denke z. B. an die Ausgleichung des Farbnachbildes durch die bloße Herabsetzung der Gesamtintensität der beiden fixirten Felder, die für eine bestimmte Intensitätsstufe eine exacte Messung des Nachbildes ermöglicht. Dabei sind nur die Spaltbreiten auf beiden Seiten gleichmäßig herabzusetzen, was mit einfachen Hilfsvorrichtungen leicht erreichbar wäre. Vergl. unten Kap. VII.

2) H. Voeste, Messende Versuche über die Qualitätsänderungen der Spectralfarben in Folge von Ermüdung der Netzhaut. Zeitschr. f. Psychologie, XVIII, S. 257—267. 1898.

Vorzüge schon die Arbeiten des ersten Theiles ermöglicht hatten. Für alle Einzelheiten des Apparates verweise ich, abgesehen von den Ausführungen im ersten Theile, auf die Veröffentlichungen des Erfinders, dessen freundlicher Mittheilung ich noch eine genauere Literaturangabe über seinen Apparat verdanke, als ich sie seinerzeit zu geben vermochte<sup>1)</sup>. Dabei ist in allen folgenden Ausführungen wieder nur an die Verwendung von farbigen Papierscheiben, bezw. transparenten Gelatinescheiben mit Episkotister gedacht, wodurch also auf das Arbeiten mit Spectralfarben verzichtet ist. Ich gestehe gern zu, dass hierin noch ein Nachtheil zu sehen ist, der bei einigen Versuchsreihen in verschieden hohem Maße zur Geltung kommt; aber auch diese minderwerthigen Resultate sind deshalb keineswegs werthlos, da sich vor allem bei den Gelatinefarben im durchfallenden Lichte der physikalische Charakter hinreichend genau bestimmen lässt. Der Versuch kann somit als ein exactes Experiment über Nachbilder von gemischten Farben Verwerthung finden<sup>2)</sup>. Doch will ich gleich an dieser Stelle darauf hinweisen, dass gerade mit Hülfe des Marbe'schen Apparates für viele Fragen eine ganz analoge Anordnung für Spectralfarben herzustellen ist. Um der größeren technischen Einfachheit willen, vor allem aber wegen der Erlangung beliebig großer Ausdehnungen der Farbenflächen habe ich zwar von vornherein nur jene Versuchsanordnung mit Pigment- bezw. Gelatinescheiben in möglichst weitem Umfange ausgebildet, und erst relativ spät über die Uebertragung des ganzen Systems auf spectrale Farben nachgedacht. Doch sollen demnächst die einer Ergänzung in diesem Sinne bedürftigen Versuche meiner alten Methode nach einer entsprechenden Spectralfarbenmethode nachgeprüft werden. Als in sich geschlossene Vorarbeiten werden jedoch auch die bisher erlangten Resultate hier eine vollständige Behandlung finden.

Im Folgenden soll nun ein kurzer Ueberblick gegeben werden, für welche Arten von Nachbildern und für welche reagirenden Reize eine erfolgreiche Verwendung des Marbe'schen Apparates möglich ist. Denn es ist klar, dass bei der mehrfachen Variations-

1) Physiologisches Centralblatt 1894, S. 811. 1895, S. 833. L'année psychologique, 1899, V, p. 391.

2) Wegen einer etwaigen Verwendung der Kirschmann'schen annähernd spectralreinen Combinationen (Wundt, Philos. Studien, VI, S. 543) s. Kap. VII.

möglichkeit der Farben die allgemeine Verwendung eines nur nach einer Richtung verstellbaren Apparates nicht so unmittelbar einleuchtet, wie bei der Messung farbloser Helligkeitsnachbilder, deren Veränderungswirkung sich nur auf der Schwarz-Weiß-Linie bewegt. Durch die Vertheilung verschiedener Farben auf entsprechende Kreisinge eines Maxwell'schen Scheibenpaares, das auf den Marbe'schen Apparat aufgesetzt ist, können jederzeit zwei benachbarte Farben dargeboten und durch Verdrehung der Scheiben verändert werden, bis eventuell eine subjective Ausgleichung des Nachbildes in irgend einer reagirenden Farbe erfolgt. Der Apparat wäre natürlich auch hier nicht genügend ausgenutzt, wenn man die fertig hergestellten Farben, welche die subjective Ausgleichung des Nachbildes bringen sollen, durch eine vollständige Umdrehung des Hebels an die Stelle der hiermit vollständig zurückgeschobenen ersten Scheibe bringen und durch mehrere Versuche die richtige Farbenzusammenstellung aus einer Reihe fertig hergestellter aussuchen würde. Auch hier muss vielmehr die richtige Qualität der beiden Nachbarfarben, welche zur Ausgleichung des Nachbildes führt, in einem einzigen Versuche aus derjenigen Reihe von Mischungseffecten herausgefunden werden können, welche durch die Verstellung des Apparates rasch und continuirlich (unter Verwendung ein und des nämlichen Scheibenpaares) durchlaufen werden. Auch muss die gegenseitige Verdrehung von nur zwei Scheiben hinreichen; denn obgleich mit einem besonders construirten Apparat auch eine mehrfache Verstellung mehrerer Scheiben zu erreichen wäre, so würden doch damit alle Nachtheile einer mehrfachen Einstellung herbeigeführt werden, die oben bei Besprechung des Spectralapparates getadelt worden sind. Da nun bisher keine allgemeineren quantitativen Bestimmungen über das farbige Nachbild als solches vorliegen, so kann keineswegs a priori gesagt werden, in welchem Umfange mit diesen scheinbar beschränkten Mitteln eine thatsächliche Messung der farbigen Nachbilder möglich ist.

I. 1. Wenn man zunächst das negative Nachbild ins Auge fasst, das von einer längeren Fixation einer kleinen farbigen Fläche auf einem grauen Grunde von gleicher Helligkeit her stammt, so ist hier allerdings schon gemäß dem bisherigen qualitativen Befund ein Erfolg zu erwarten, soweit es sich zunächst um eine Messung der Projection auf Grau oder auf irgend eine Sättigungsstufe der fixirten Farbe von

gleicher Helligkeit handelt. Mag man das grünliche Nachbild von einer rothen Scheibe auf gleich hellem grauen Grunde bei seiner Projection auf die genannten Reactionsflächen nur als eine Herabsetzung des Roth an der Nachbildstelle im Gegensatz zur Umgebung deuten, oder als eine positive Steigerung des complementären Grün auffassen, jedenfalls wird das Nachbild immer durch einen entsprechenden Restbestand des (mit Grau gemischten) Roth an der alten Stelle ausgeglichen werden können, wenn die nämliche Fixationslage des Auges erhalten bleibt. Hat man z. B. das volle unvermischte Roth zur Entstehung des Nachbildes fixirt, so bildet dieses volle Roth natürlich zugleich selbst die zugehörige Gleichheitseinstellung für eine viel weniger gesättigte Umgebung, die an Stelle des ursprünglich fixirten Grau in der Umgebung des Roth getreten ist. Die Einfachheit der praktischen Ausführung mit Hülfe des Marbe'schen Apparates liegt auf der Hand. Die am Apparat feststehende Scheibe *A* trage ein indifferentes Grau, die verdrehbare *B* sei mit einem Centrum von beliebiger Farbe von gleicher Helligkeit versehen, während ihr äußerer Kreisring ebenfalls grau ist. (Vergl. Fig. 1 Taf. II.) Wird dann die erste Scheibe *A* zunächst von der zweiten vollständig verdeckt, so fixirt man eine rothe Scheibe auf grauem Grund. Bei Messung des Nachbildes führt dann die fortgesetzte Verdrehung von Scheibe *B* gegen *A* immer mehr Roth aus dem Centrum hinaus und ersetzt dasselbe durch Grau, bis die subjective Gleichheit mit dem Grau der Peripherie hergestellt ist. Soll auf eine beliebige Sättigungsstufe projicirt werden, so braucht nur die Scheibe (*A'*) auf dem reinen Grau noch einen farbigen Sector von bestimmter Ausdehnung zu tragen, der sofort bei Beginn der Verdrehung sichtbar wird, was durch Aufsetzen der Farbe an die richtige Sectorenstelle beim Einschnitt der Scheibe erreicht wird (Fig. 2, Taf. II). (Die Scheiben sind nach *SS'* aufgeschnitten und erfolgt die Verdrehung von *B* gegen *A* im Sinne des Pfeiles.)

1 a. Eine ganz analoge Gestaltung der Messung lässt sich natürlich sofort erschließen, wenn das Nachbild durch Fixation einer Farbe in complementärer Umgebung von gleicher Helligkeit entstanden ist. Die Abweichung, welche zwischen diesen beiden Complementärfarben besteht, vergrößert ja nur den Abstand in der nämlichen Richtung, die schon dem Grau gegenüber vorhanden war und

auf der sich eben die Veränderung der Farbe durch die Nachbildwirkung bewegt. Wählt man z. B. Roth und Grün, so wird ebenfalls eine Messung auf reinem Roth oder Grün, sowie auf allen Mischungsverhältnissen beider Farben durch ein anderes Mischungsverhältniss der nämlichen Farben erfolgen können, in welchem an jeder der benachbarten Stellen die zuerst daselbst fixirte Farbe das Uebergewicht hat. Zur praktischen Ausführung brauchte nur an den beiden vorhin erwähnten Scheiben *A* und *B* alles Grau durch die Complementärfarbe ersetzt zu werden. Der ganze erste Fall stellt sich überhaupt nur noch als Specialfall dieses zweiten allgemeineren dar. Durch so einfache Anordnungen kann also bereits eine der wichtigsten Analogien zum F.-H.'schen Satze untersucht werden.

2. Für das nämliche Nachbild (von einer Farbe in gleich helle complementärer Umgebung) muss sich nun auch eine Messung an verschiedenen reagirenden Intensitätsstufen, die von der Ausgangsintensität nach oben oder unten abweichen, in gleicher Weise vornehmen lassen. Man denke sich nur die zuerst allein sichtbare Scheibe *B* (rothes Centrum auf grünem Grunde) mit einer anderen Scheibe *A'* combinirt, die neben einem grünen (und eventuell noch einem rothen Sector) einen schwarzen Sector<sup>1)</sup> trägt, der in Folge geeigneter Anbringung bei der Verdrehung der Scheiben zuerst hinter *B* hervortritt. Alsdann wird zuerst die Gesammtintensität um ein bestimmtes Quantum herabgesetzt und dann bei weiterer Verdrehung eine Gleichheitseinstellung in einer Sättigungslage herbeigeführt welche je nach der Größe des rothen Sectors auf *A'* beliebig gewählt werden kann (Fig. 3, Taf. II). In entsprechender Weise kann aber natürlich auch eine Messung auf einer höheren Intensitätsstufe, als sie die Ausgangsintensität besaß, durchgeführt werden. In diesem Falle muss nur eben diese Ausgangsintensität von vorn herein eine geringere sein als in dem vorigen Beispiel. Der schwarze Sector muss in diesem Falle auf dem zuerst allein sichtbaren *B'* an derjenigen Stelle angebracht sein, die bei der Verdrehung zuerst ver-

---

1) Ein Sector aus Pigment-Schwarz würde natürlich, da er niemals absolut lichtlos ist, mit der Herabsetzung der Intensität zugleich eine Sättigungsabnahme herbeiführen, die aber die Möglichkeit der Messung nicht beeinträchtigt. In dessen werden die Anordnungen mit dem Episkotister, welche ganz analog sind die Intensitätsminderung noch reiner bewerkstelligen lassen. Siehe unten Kap. II.

schwindet, und die andere Scheibe darf nur so viel Schwarz enthalten, als die neue reagierende Intensitätsstufe enthalten soll.

3. Halten sich die bisherigen Versuche noch ganz im Rahmen dessen, was sich auf Grund der qualitativen Schätzungsweise schon a priori erwarten lässt, so hört diese Deduction bald auf, wenn es sich darum handelt, das (bisher betrachtete) Nachbild auf anderen Farben als auf Mischungen mit der Complementärfarbe zu messen. Es wären dies also analoge Versuche, wie sie C. Hess mit einem Spectralapparat untersucht hat, in welchem natürlich die reagierende Farbe beliebig verändert werden konnte, wobei allerdings absolute Gleichheit auch hinsichtlich der Sättigung gar nicht verlangt wurde. Wird auch hier die Messung in so einfacher Weise möglich sein wie vorhin? Nur der thatsächliche Versuch kann entscheiden, und dieser ergibt wirklich die völlige Zulänglichkeit eines ganz analogen Verfahrens. Hat man z. B. Roth neben Grau (von gl. H.) fixirt, so wird das entsprechende Nachbild etwa auf Blau (von gl. H.) einfach dadurch ausgeglichen, dass man an der Stelle des zuerst fixirten Roth dem Blau noch eine bestimmte Menge Roth beimischt, während an Stelle des Grau das reine Blau geboten wird. Zugleich können wieder sämtliche Mischungen von Roth und Blau als reagierende Farben in Betracht kommen. Auch hier muss nur immer das Roth an Stelle des zuerst fixirten Roth im Uebergewicht sein. Eine wichtige Analogie zum F.-H.'schen Satz wird sich hierbei noch dadurch gewinnen lassen, dass man nun die Gesamtintensität der neuen reagierenden Farbe variirt, was ebenso leicht wie vorhin mit der gleichen reagierenden Farbe ausführbar ist. Auch diese Frage hat C. Hess wenigstens berührt. Die technische Ausführung mit den hier als Beispiel gebrauchten farbigen Papierscheiben ist ebenfalls möglich, doch zu complicirt, um hier näher dargelegt zu werden<sup>1)</sup>. Ich verweise daher sogleich auf die im

---

1) Die Papierscheiben lassen jedoch sogleich eine weitere Thatsache in einfachster Weise nachweisen, wenn man in dem früheren Beispiel mit der Scheibe B (Roth auf Grau) eine zunächst verdeckte Scheibe A aus reinem Blau combinirt. Alsdann wird auch die Verdrehung von A gegen B eine subjective Ausgleichung herbeiführen, bei welcher nicht nur an Stelle des Roth ein mit Roth vermischtes Blau, sondern auch an Stelle des Grau ein mit eben so viel Grau vermischtes Blau zu stehen kommt.

nächsten Abschnitt eingehender behandelten Anordnungen mit dem Episkotister.

In dieser einfachen Ausgleichsmöglichkeit liegt also offenbar eine Thatsache enthalten, die um ihrer Besonderheit willen der kritischen Betrachtung gegenüber ausdrücklich hervorgehoben zu werden verdient. Dass überhaupt aus dem Blau an Stelle des vorher fixirten Roth das Roth »herausgezogen« erscheint, ist ja eine allbekannte Thatsache. Dies betrifft jedoch zunächst nur die Veränderung des Farbentons, nicht aber des Grades der Sättigung, von welchem eben die Möglichkeit einer vollständigen Gleichheitseinstellung abhängt, wie sie thatsächlich constatirt wurde. Durch die Zumischung des Roth zum Blau muss also jener qualitativen Schätzung entsprechend höchstens der Farbenton dem an Stelle des früheren Grau erscheinenden Blau gleich gemacht werden können. Die gleichzeitige Sättigungsgleichheit aber weist auf wichtige quantitative Beziehungen innerhalb des gesammten Systems der Farbenempfindung hin, falls man sie nicht auf secundäre Nebenwirkungen zurückführen will. Man könnte ja sogleich etwa an eine secundäre Ausgleichung einer ursprünglich vorhandenen Sättigungsdifferenz durch die gleichfarbige Induction denken, welche sich erst während der Einstellung vollziehe. Der eigenthümlich labile Zustand der Erregbarkeiten, der nach Entstehung des Nachbildes in einem leichten Verschwimmen benachbarter Nuancirungen sich zu erkennen gibt, ließe diesen Einwand gegen eine tiefergreifende Begründung nicht ganz haltlos erscheinen. Schließlich ist auch die Vergleichsthätigkeit nach einer langen Fixation bei fortgesetzter Sorge um deren Beibehaltung vielleicht nicht immer völlig auf der Höhe, was ich daraus erschließen zu können glaube, dass weniger geübte Versuchspersonen in anderen Fällen thatsächlich vorhandene Differenzen der Nuancirung manchmal völlig übersahen. Kurz, ich will diesen Beobachtungen, obgleich sie mir und meinen Versuchspersonen subjectiv gewiss erscheinen, noch weiterhin sorgfältig nachgehen und stelle sie einstweilen nur zur Discussion<sup>1)</sup>. Die Messungen behielten ja

---

1) Auch die Verwendung von Mischfarben könnte als Grund angeführt werden, obgleich die principielle Unterscheidung von Spectralversuchen in dieser Frage nicht leicht zu ersehen ist.



auch ihren Werth bei, wenn der vermeintliche Gleichheitspunkt nur einer größtmöglichen Aehnlichkeit entspräche, falls er sich nur mit der thatsächlich vorhandenen Eindeutigkeit und Sicherheit heraushebt. Auch C. Hess hat ja meist nur relative Aehnlichkeiten ohne Sättigungsgleichheit benutzt, wobei allerdings kein Rückschluss auf unsere Frage möglich ist, da die Anordnungen zu sehr differiren.

II. 1. Ebenso führt es nun über die rein qualitativen Beziehungen hinaus, wenn man an Stelle des bisher betrachteten einfachen Farbenachbildes, das nur einer Sättigungsdifferenz, bezw. einem complementären Contraste entstammt und späterhin kurz als Sättigungsnachbild bezeichnet werden soll, ein beliebiges Farbenachbild setzt, das also der Fixation eines beliebigen Farbencontrastes (ohne Helligkeitscontrast) entstammt. Auch hier kann aus der bisherigen Theorie der anscheinend wirklich zu Recht bestehende Satz entnommen werden, dass eine subjective Ausgleichung des Nachbildes, zunächst hinsichtlich des Farbentones, ebenso einfach wie bisher ermöglicht ist. Fixirt man z. B. ein Roth neben einem Blau (von gleicher Helligkeit), so kann wieder auf Roth oder Blau, sowie auf irgend einer Mischung von beiden eine subjective Ausgleichung des Nachbildes in der Weise vorgenommen werden, dass die Mischung an den benachbarten Stellen hinsichtlich der zuerst daselbst fixirten Farben im Uebergewicht ist. Das Beispiel für die technische Ausführung kann also unmittelbar aus dem allerersten entnommen werden, wenn man an Stelle des Grau irgend eine nicht complementäre Farbe (von gleicher Helligkeit) setzt. Auch hier konnte man zwar wieder a priori erschließen, dass auf beiden benachbarten Stellen die Ausgleichung der (scheinbar oder wirklich) beigemischten Complementärfarben der ursprünglichen Farbe durch ein entsprechendes Quantum dieser ursprünglichen Farbe selbst compensirt wird, so dass dadurch eine Ausgleichung des Farbentones hervorgebracht wird. Es ist aber wieder eine Thatsache für sich, dass auch eine Ausgleichung der Sättigung unmittelbar damit verbunden ist.

2. Die Einstellungsmöglichkeit bleibt nun ebenfalls wieder erhalten, wenn die Intensität der reagirenden Mischung in der vorhin beschriebenen Weise erhöht oder herabgesetzt wird.

3. Die allgemeinste Beziehung aber, welche alles bisher Gefundene schließlich in sich befasst, besteht nun darin, dass das Nachbild,

welches dem Contrast beliebiger Farben (von gleicher Helligkeit) entstammt, auf jeder beliebigen Farbe (von gleicher Helligkeit) ebenfalls durch einen Restbestand der ursprünglichen Farbe vollständig ausgeglichen werden kann. Roth, neben gleich hellem Gelb fixirt, ergibt z. B. ein Nachbild, das auf Blau (von gleicher Helligkeit) in der Weise auszugleichen ist, dass man an Stelle des ursprünglich fixirten Roth ein bestimmtes Quantum Roth dem Blau beimischt und das Blau an der anderen Stelle unvermischt lässt, oder dass man an Stelle des Gelb ein bestimmtes Quantum dieser Farbe dem Blau beigibt, ohne die Nachbarfläche zu verändern, oder endlich drittens ein bestimmtes gleich großes Quantum Roth und Gelb auf jeder Stelle beigibt. Analoges gilt dann für die Mischungen von Blau mit Roth oder mit Gelb. Auch diese Behauptungen sind zunächst mit den oben erwähnten Einschränkungen ausgesprochen.

Bekanntlich weichen die Farben der Nachbilder in manchen Fällen auch etwas von der reinen Complementärfarbe ab. Insbesondere haben v. Kries, Hering u. a. gefunden<sup>1)</sup>, dass bei längerer Fixation das Grün nach Blau und das Roth nach Gelb hin eine Ablenkung erfährt, die also von der bloßen Herabsetzung der Sättigung durch Beimischung der Complementärfarbe verschieden ist, bezw. noch zu ihr hinzutritt. Damit wäre eine stereotype Abweichung gegeben, die natürlich der völligen Ausgleichung des Nachbildes auf dem soeben angegebenen Wege immer entgegenstände, insofern damit in der benachbarten Stelle ein Blau, bezw. Gelb eingeführt wird, das durch Roth, bezw. Grün nicht compensirt werden kann. Zum Glück macht sich aber nun eine derartige Nebenwirkung bei der kurzen Fixationszeit, die bei unserer Methode schon zum Ziele führt, höchstens verschwindend gering bemerklich. Nach Fixation von Roth neben Grün konnte ich höchstens bei der Projection auf Roth eine ganz geringe, unausgleichbare Nuancirung nach Purpur an der vorher grünen Stelle, also wirklich im eben angegebenen Sinne, bemerken, so klein, dass sie auch geübten Versuchspersonen, die allerdings immer noch viel seltener als ich selbst beobachteten, niemals aufgefallen war. Dabei

1) v. Kries, Die Gesichtsempfindungen u. ihre Analyse. Du Bois-Reymond's Archiv, 1882, Suppl.-Bd., S. 107. Hering, Ueber die von v. Kries wider die Theorie der Gegenf. erh. Einw., III. Mitt., Pflüger's Archiv XLIII, S. 329 (S. 338). A. Walter, Pflüger's Archiv LXXVII, S. 57.

war auch für mich die Sicherheit darüber, dass gerade nur eine einzige Einstellung die beste Ausgleichung liefere, nicht im mindesten beeinträchtigt. Auch konnte sie nur im allerersten Moment der Einstellung bemerkt werden und verschwamm sofort in eine völlige Gleichheit. Bei der Projection auf Grün trat sie hingegen überhaupt zurück. Dagegen konnte wiederum auch bei der Fixation von Blau neben Gelb eine ähnliche Erscheinung beobachtet werden. Das Blau erschien bei der Gleichheitseinstellung in Blau an der bereits ursprünglich blauen Stelle etwas nach Lila spielend, während bei Projection auf Gelb eine (allerdings noch geringere) Abweichung nach Orange an der ursprünglich gelben Stelle übrig blieb. Die letztere Erscheinung stimmt nun allerdings nicht mehr zu der Erklärung, welche man für jene Verschiebung des Roth und Grün nach Gelb und Blau hin angeführt hatte, indem man eine leichtere »Ermüdbarkeit« für Grün-Roth annahm, die überall die Blau-Gelb-Werthe allmählich die Oberhand gewinnen lasse. Ebenso wenig ist sie mit den Ergebnissen von Voeste<sup>1)</sup> vereinbar, die ihrerseits wieder nicht mit den Hering'schen übereinstimmen, wie überhaupt diese Frage noch als eine offene zu betrachten sein dürfte. Vielleicht hat man es auch mit anderen Nebenerscheinungen zu thun, die auf der besonderen Gemischtheit der Gelatinefarben beruhen, während die von jener Theorie gemeinten sich hier überhaupt nicht störend geltend machen. Jedenfalls aber ist es immer eine Veränderung nebensächlicherer Art, welche die Sicherheit der Messungen nicht zu beeinträchtigen vermag. Eine weitere Variation zur Beseitigung dieser momentanen Differenz trotz Ausgleichungseinstellung würde nichts helfen, sondern nur die Methode unvortheilhaft belasten und verzögern.

III. 1. In den bisherigen Ueberlegungen war noch überall der Helligkeitscontrast von dem Farbencontrast, dem das Nachbild entstammt, ausgeschlossen gedacht. Es entstand damit auch keine subjective Helligkeitsdifferenz, und jenes eigenartige Zusammentreffen von Farbenton- und Sättigungsausgleichung ließ eine annähernd vollkommene Gleichheitseinstellung erzielen, die natürlich immer als das Ideal einer Nachbildmessung zu betrachten ist. Wie verhält es sich nun, wenn die fixirte Farbe von ihrer Umgebung auch hin-

1) a. a. O. S. 264.

sichtlich der Helligkeit abweicht? Es werde z. B. eine mittel-helle rothe Scheibe auf schwarzem oder weißem Grunde fixirt. Dann entsteht neben dem Unterschied hinsichtlich der Grün-, bezw. Roth-erregbarkeit auch ein solcher hinsichtlich der Helligkeitserregbarkeit, wie er im ersten Theile allein für sich untersucht worden ist. Die Projection des Nachbildes eines Roth neben hellerem Weiß auf einem gleichmäßig weißen Grund erzeugt z. B. ein helleres grünes Nachbild in dunklerer, schwach röthlicher Umgebung. Die Beimischung eines bestimmten Quantum des dunkleren Roth an der anfangs rothen Stelle würde also thatsächlich nicht nur die Grünlichkeit, sondern auch die größere subjective Helligkeit auszugleichen streben und es fragt sich nur, ob das gleiche Quantum für beide Zwecke ausreicht. Nur in letzterem Falle kann man mit einer analogen Anordnung wie bisher eine völlige Ausgleichung auf der rein weißen Fläche (oder irgend einer anderen) herbeiführen. Denkt man sich im ersten Beispiel (Fig. 1 u. 2, Taf. II) das Grau der beiden Scheiben *A* und *B* durch Weiß ersetzt, so kann thatsächlich diese Ausgleichung des Nachbildes von Roth neben Weiß auf Weiß versucht werden.

Diese ganze Untersuchung ist für die Frage über die Beziehung zwischen der Helligkeits- und Farbencomponente einer Farbenempfindung von großer Wichtigkeit. Auch für den Fall, dass keine gleichzeitige Aufhebung des Helligkeits- und Farbnachbildes möglich wäre, würden doch durch Feststellung der beiden Punkte der relativ besten Ausgleichung hinsichtlich des Farbtones oder der Helligkeit werthvolle Resultate zu erzielen sein. Bei einem Auseinanderfallen der beiden Nachbildwerthe müssen ja doch immer beide Grenzpunkte bei der continuirlichen Abnahme des Roth gegenüber dem Weiß einmal passirt werden. Sowohl die Bestimmung der Gleichheit des Farbtones, z. B. der Farblosigkeit, bei verschiedener Helligkeit, als auch diejenige der gleichen Helligkeit bei verschiedenem Farbenton sind aber nun Vergleichsurtheile, die nach den früheren Darlegungen bis zu großer Sicherheit eingeübt werden können.

Statt Weiß kann natürlich auch reines Roth als reagirende Farbe gewählt und auf Scheibe *A* angebracht werden, und schließlich können auch wieder alle dazwischen liegenden Mischungen (an der zunächst verdeckten Scheibe) zur Verwendung kommen. Die so gewonnene Function vereinigt also in sich gleichzeitig eine Abhängigkeit von

der Sättigungs- und Intensitätsvariation und stellt ebenfalls eine besondere Analogie zum F.-H.'schen Satze dar. Statt Weiß, Schwarz und Grau kann natürlich auch wieder die Complementärfarbe von verschiedener Helligkeit als Umgebung der fixirten Farbe zur Verwendung kommen. Es ergeben sich hier die nämlichen Fragen und Lösungsmittel.

2. Nach den Erfolgen beim reinen Farbenachbilde (s. II, 2) wird aber schließlich das Nämliche wie in III, 1 auch bei jeder Combination beliebiger Farben von verschiedener Helligkeit vorgenommen werden können. Die eine Scheibe *B* trage also ein helleres Roth auf dunklerem Blau, während die zunächst verdeckte Scheibe *A* hellrothe und dunkelblaue Sektoren in irgend welchem Ausdehnungsverhältnisse führen soll. Alsdann wird die Reihe der so untersuchten Farbmischungen eine ganz beliebige Gerade innerhalb des Farbencontinuums durchlaufen und die Abhängigkeit von Farbenton, Sättigung und Helligkeit gleichzeitig verfolgen. Die letztere Anordnung ermöglicht also, für den Fall einer günstigen Beantwortung der zuletzt gestellten Fragen über die Messbarkeit des Nachbildes von Farben- und Helligkeitsdifferenzen, die Behandlung der allgemeinsten Fragestellung, welche alle vorhergehenden in sich befasst, bezw. die Uebergänge zwischen den untergeordneten Gruppen vermittelt. Dieser Uebergang ist am wichtigsten, wo es sich um die Variation der Functionen bei Aenderung der ursprünglichen Helligkeitsdifferenzen zwischen den benachbarten Farben handelt, denen das Nachbild entstammt. Die oben unter I, 3 (bezw. I, 1—3) behandelten Fälle stellen ja nur einen Specialfall oder eine einzige aus dieser Gruppe von Functionen dar, wo nämlich die Helligkeitsdifferenz = 0 wird. Es fragt sich, ob dieser Specialfall für die verschiedenen Farbenzusammenstellungen auch die einfachste Function liefert, bezw. welches andere Helligkeitsverhältniss? Diese Unterfrage wird bei ihrer Wichtigkeit einen ziemlich großen Raum in der folgenden Untersuchung einnehmen.

Bei allen diesen Messungen wird also der Werth des farbigen Nachbildes für die verschiedenen reagirenden Farbenreize, ebenso wie früher das reine Helligkeitsmoment, durch eine ganz bestimmte objective Einstellungsdifferenz seinen Ausdruck finden. Bei hinreichender Constanz der Versuchsbedingungen sind diese Werthe

dann durchaus unter sich vergleichbar. Nicht unmittelbar angegeben ist dabei natürlich auch hier die absolute Qualität der Gleichheitseinstellung, bezw. die absolute Bedeutung der Einstellungsdifferenz als bestimmt geartete qualitative Verschiebung der beiden Nachbarflächen, wofür man ja immer nur auf das absolute Qualitätengedächtniss angewiesen ist<sup>1)</sup>. Die Einstellung auf subjective Gleichheit beseitigt höchstens die Störungen, welche der beim unausgeglichenen Nachbild vorhandene Contrast mit sich bringt. Da jedoch diese ganze Frage, die an und für sich hohe theoretische Bedeutung besitzt, eine ganz andere Einübung als diejenige für die möglichst prompte Gleichheitseinstellung erfordert, so wurde hier fast noch überall von ihrer Behandlung Abstand genommen.

Jede einzelne Versuchsreihe behandelt somit ein Nachbild, das mindestens auf zwei Mischungsverhältnisse der beiden ursprünglichen Contrastfarben projicirt und gemessen wird. Im allgemeinen sind wenigstens die beiden Endpunkte der Function untersucht, in deren Verhältniss der typische Verlauf am deutlichsten sich ausdrückt, d. h. also die beiden Werthe, die sich in den beiden Projectionen auf die vollgesättigten Töne der beiden Contrastfarben ergeben, deren Fixation das Nachbild entstammte. Natürlich enthält in der subjectiven Ausgleichung dieser beiden erreichbaren Extreme immer nur jeweils das eine von beiden Nachbarfeldern auch objectiv die volle, ungemischte Farbe, nämlich dasjenige, auf welchem sie von Anfang an fixirt wurde. Das andere Feld enthält dabei immer bereits so viel Beimischung seiner ursprünglichen Farbe, als der Nachbildwerth in dieser Sättigungsstufe beträgt.

In den beigefügten Tabellen enthält also zunächst wieder die erste Zeile einer Verticalreihe die objective Farbe des einen Kreisringes, die zweite Zeile diejenige des benachbarten, wie sie die subjective Gleichheitseinstellung in einer bestimmten reagirenden Farbenmischung darstellen. Auf der dritten Zeile steht dann die objective Differenz beider Nachbarflächen als Ueberschuss einer und der nämlichen Stelle, z. B. der ersten von beiden, hinsichtlich der ursprünglich daselbst fixirten Farbe, d. h. also der vergleichbare Nachbildwerth. Den anderen Verticalreihen entsprechen dann die

---

1) Vergl. I. Theil, Philos. Stud. XVI, S. 479.

Resultate bei den anderen Reactionsfarben. Späterhin werden noch gewisse Vereinfachungen zur Raumersparniss eintreten. Die ganze gesuchte Function erhält man also wieder durch die Beziehung der Nachbildwerthe der dritten Horizontalreihe auf eine und die nämliche von den beiden ersten Zeilen. In der zugehörigen graphischen Darstellung entspricht die Abscissenachse wieder den reagirenden Farben, wie sie in einer der beiden ersten Zeilen angegeben sind, während die Ordinaten die entsprechenden Nachbildwerthe selbst, d. h. also die dritte Horizontalreihe darstellen. Auch bei diesen Versuchen bilden meine eigenen Messungen aus den früher dargelegten Gründen das Hauptmaterial, dem sich einige fremde Versuche nur als gelegentliche Controlzahlen anreihen. Sie sind wie bisher in den Tabellen durch Klammern und in den Curven durch Kreuzchen gekennzeichnet.

## Zweites Kapitel.

### Die Versuchsanordnungen im Einzelnen.

I. Im vorigen Kapitel wurde eine möglichst einfache Anordnung mit farbigen Papierscheiben als concretes Beispiel für die Demonstration der verschiedenen Grundtypen gewählt, nach welchen die Verwendung des Marbe'schen Apparates für unsere Frage stattfinden kann. Thatsächlich habe ich denn auch eine größere Anzahl von Vorversuchen mit demselben bei natürlichem und künstlichem Lichte ausgeführt, wobei die frühere Aufstellung des Apparates beibehalten wurde (Beschreibung s. Philos. Stud. XVI, S. 512). Nachtheilig war jedoch dabei zunächst die Erschwerung einer günstigen Anordnung des Fixationspunktes. Da jederzeit die eine von beiden Contrastfarben auf die Peripherie der Scheibe versetzt werden muss, so ist die relativ noch bequemste Art der Fixation, nämlich diejenige des Scheibenmittelpunktes (die in einer großen Zahl dieser Versuche beibehalten wurde<sup>1)</sup>), von besonderen Bedingungen begleitet, die bei den farblosen Helligkeitscontrasten nicht in gleicher Weise sich geltend machten. Für die allgemeine Verwerthbarkeit der Resultate musste der Fixationspunkt hier auf der Farbergrenze selbst liegen, und konnte also höchstens eine kleine Marke

1) Vergl. Kap. IV, Anm.

an einer vor der Rotationsscheibe gespannten Sehne (vergl. Taf. II, Fig. 1 die Sehne  $T T'$ ) oder auf einer Glasplatte angebracht werden, wobei die nöthige Größe der Scheiben und ihre unebene Lage, abgesehen von voller Rotationsgeschwindigkeit, Unzuträglichkeiten verursachen. Die Scheibengröße, die für eine sichere Functionirung des Verstellungsmechanismus noch eben verwendbar ist, reichte ferner auch nicht hin, um die von mir zunächst noch beabsichtigte Unabhängigkeit von den Ausdehnungsverhältnissen möglich zu machen. Sie betrug jedoch immerhin 9 cm im Radius, wobei das kleinere contrastirende Centrum (Scheibe  $B$ ) 5 cm gewählt wurde. Endlich sind auch die Variationsmöglichkeiten bei der directen Beleuchtung der Scheibe durch reflectirtes Licht geringer als bei der Verwendung des Episkotistersystems, wie es im ersten Theil (Philos. Stud. XVI, S. 542) beschrieben worden ist. Neben der Vermeidung aller bisher bezeichneten Mängel bringt aber diese letztere Episkotisteranordnung durch die Verwendung von Gelatinefarben viel schönere und physikalisch leichter bestimmbare Farbeneffecte mit sich, als sie bei den Pigmentfarben im reflectirten Lichte erreichbar sind. Die Hauptuntersuchungen wurden daher alle mit dieser Anordnung durchgeführt.

II. Wenn nun auch die Combination mit der elektrischen Projectionslampe (a. a. O. S. 539) weitaus den größten Theil der Hauptversuche lieferte, so kam doch die Episkotisteranordnung zunächst bei einer Gruppe auch in der gewöhnlich gebräuchlichen Art und Weise zur Anwendung, dass die transparenten Rotationsscheiben unmittelbar vor direct durchfallendem Lichte betrachtet wurden. Die Farbeneffecte sind ja in diesem Falle noch intensiver, was natürlich zugleich störende Nebenbedingungen enthält, zugleich bleibt die Beschränkung der Ausdehnungsverhältnisse und zum Theil die Frage des Fixationspunktes bestehen, Gründe, aus denen nur ein kleiner Abschnitt um des Vergleiches willen in dieser Weise durchgenommen wurde. Der Marbe'sche Apparat und das parallel zur Rotationsscheibenebene aufgestellte Brett behielt dabei seine alte Lage zum Tisch bei (Abbildung a. a. O. S. 512). In die quadratisch ausgeschnittene Oeffnung des Brettes wird eine Mattglasscheibe eingesetzt, die in der Mitte einen kreisrunden Ausschnitt enthielt, gerade groß genug, um eine ungehinderte Rotation und Verstellbarkeit des Apparates zu gestatten. Die Ecken dieses Quadrates waren durch



undurchsichtiges Papier zu einem vollständigen Kreise von 9 cm Radius abgerundet. Die Ebene dieser Mattglasplatte lag nur so weit hinter der Vorderfläche der Apparatscheibe, dass die feste Episkotisterscheibe und die am Hebel befestigte verdrehbare Farbenscheibe (beide waren ebenso combinirt, wie es a. a. O. S. 513 beschrieben wurde) beide vor ihr rotiren konnten. Die glatte Seite des Mattglases wurde dabei nach vorn genommen. Da die Seite des Brett Ausschnittes 30 cm betrug, war rings um die undurchsichtige Apparatscheibe (von 11 cm Durchmesser) noch ein transparentes Feld von etwas über 3 cm Breite vorhanden. Dieses wurde nun von rückwärts durch eine Gasglühlampe erhellt, deren Brenner genau in der rückwärtig verlängert gedachten Rotationsachse der Scheibe stand, ca. 1 m von der letzteren entfernt. Dieser Brenner war gleichzeitig im Brennpunkt eines dahinter befindlichen großen parabolischen Blendspiegels von weiß glasirtem Metall, dessen Achse ebenfalls so gut als möglich in die Rotationsachse des Apparates verlegt worden war. Um das Licht noch mehr zu zerstreuen und zu mildern, wurde noch eine zweite große Mattglasplatte in ca. 80 cm rückwärtiger Entfernung von der vorderen Scheibe dazwischen geschaltet. So ergab sich eine Lichtwirkung von hinreichender Stärke, die sehr gleichmäßig auf die ganze Transparentfläche vertheilt war. Ein Holzgerüst, das mit dichtem schwarzen Tuche überzogen war, umschloss vollständig einen geräumigen Schacht zwischen dem Blendspiegel und dem vorderen Brett, so dass, abgesehen von der Transparentfläche, keine Lichtquelle im verdunkelten Zimmer vorhanden war. Die Größe der Gelatinescheiben war 9,5 cm im Radius. Die Breite der transparenten Fläche betrug hierbei 3,5 cm, worauf die Breite der benachbarten Kreisringe zu vertheilen war. Die allgemeinsten Angaben über ihre Herstellung wurden schon gegeben, so dass ich hier bloß die jeweils nothwendigen Besonderheiten zu erwähnen brauche. Die am Apparat feststehende Episkotisterscheibe, welche für alle Versuche dieser Gruppe die nämliche blieb, trug wieder zwei durchsichtige, einander gegenüber liegende Sektoren von je 90°. Die bewegliche, vorn am verdrehbaren Hebel befestigte Scheibe enthielt die Besonderheiten, welche für jedes Nachbild, sowie für jede Messung desselben auf einer besonderen reagirenden Farbe wechselten. Sollte z. B. Grün neben Roth fixirt, und das entstandene Nachbild auf

reinem Grün oder Roth, bzw. auf einer Mischung von beiden gemessen werden, so enthielten zwei gegenüberliegende Quadranten dieser beweglichen Scheibe je einen rothen und einen grünen Kreisring, während die beiden anderen Quadranten vollständig grün oder roth, bzw. mit einem grünen und einem rothen Sector von bestimmtem Größenverhältniss versehen waren, je nach der Beschaffenheit der gewünschten reagirenden Farbe. Das erste Quadrantenpaar stand dann in der Ausgangslage (ohne Verdrehung des Hebels) gerade vor den durchsichtigen Episkotisterquadranten, und bei der Rotation sah man einen rothen Kreisring innerhalb oder außerhalb eines grünen. Die Helligkeit des Sectors in der Ruhelage war bei der Rotation durch die Vermischung mit den beiden schwarzen Quadranten um die Hälfte herabgesetzt und nicht mehr so blendend, doch noch von vollkommen hinreichender Farbenfrische. Eine Verdrehung der vorderen Farbenscheibe führte sodann eine subjective Ausgleichung des bei ruhiger Fixation entstandenen Nachbildes auf Roth, Grün oder einer Mischung von beiden herbei. Die Figur 4 Taf. II zeigt z. B. eine Farbenscheibe zur Messung des Nachbildes, das durch Fixation eines 2,5 cm breiten grünen neben einem 1 cm breiten rothen Ringe entsteht, wenn man dasselbe auf  $60^\circ$  Grün +  $30^\circ$  Roth projiciren will. Der äußere Kreisring erlangt nach einer Verdrehung von mindestens  $30^\circ$  gegen den Episkotister<sup>1)</sup> in Richtung des Pfeiles offenbar die angegebene Mischung. Jede weitere Verdrehung dient dann nur noch dazu, den richtigen Ueberschuss des inneren Kreisringes an Roth für eine subjective Gleichheit beider Ringe herbeizuführen. Ganz analog sind die Scheiben für andere reagirende Mischungen eingerichtet; über die entsprechenden Resultate wird Capitel III und IV Näheres berichtet werden.

Der Fixationspunkt war hier noch in der angegebenen Weise auf einer feinen Drahtsehne angebracht, die vor der Scheibe als Tangente des die Grenze beider Farben bildenden Kreises gespannt war (Taf. II, Fig. 4, Linie  $T T'$ ). Diese Sehne konnte nach erlangter Vollgeschwindigkeit der Rotation ganz nahe an die Scheibe herangeschoben werden, da ja die nicht durchschnittene Gelatinescheibe

1) Die Lage der undurchsichtigen Episkotisterquadranten bei der Ausgangsstellung ist wie früher durch außen angesetzte Bögen dargestellt. Die Helligkeitsdifferenzen der Tafeln dienen nur zur Farbenunterscheidung.

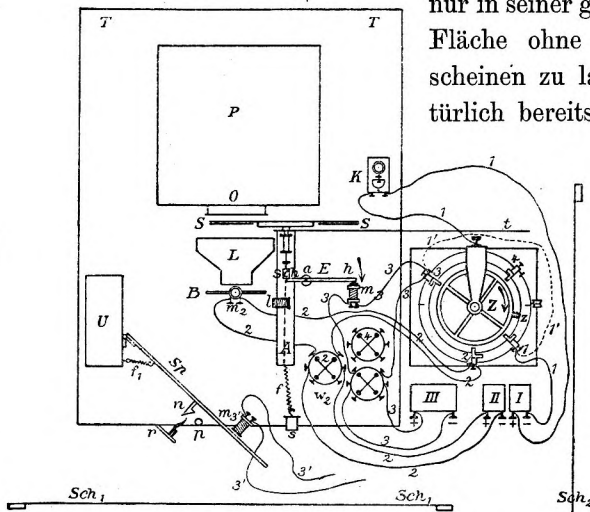
weniger Hinderniss bietet, als ein Maxwell'sches Scheibenpaar. Der Fixationspunkt schien dann im Dunkeln ganz in der nämlichen Ebene wie die Farben zu liegen.

III. 1. Die Hauptmasse der Versuche wurde jedoch wiederum durch die Verbindung der Episkotisteranordnung mit der elektrischen Projectionslampe durchgeführt. Zu allen Vortheilen der eben beschriebenen einfachen Episkotisteranordnung kommt dabei noch die große Unabhängigkeit in der Gestaltung der Ausdehnungsverhältnisse hinzu, ferner ein besserer Fixationspunkt, die Möglichkeit des Zurücktretens des ganzen Hilfsapparates von dem Beobachter sowie einige werthvolle Combinationen, die sogleich des näheren dargelegt werden sollen. Auch hier handelt es sich also zunächst wieder um die Anordnung im allgemeinen, sodann um die speciellen Combinationen der Gelatinescheiben zur Vervielfältigung der Entstehungsbedingungen der Nachbilder und der reagirenden Farbenflächen. Für die einfachsten Versuche nach dieser Methode sind die Farbenscheiben ganz ebenso construirt wie bei der vorigen Anordnung, nur in etwas größerem Maßstabe mit 12—13 cm Radius.

Die Grundlagen für diese Anordnung sind überall die nämlichen wie bei den entsprechenden Versuchen mit Helligkeitsnachbildern (a. a. O. S. 539). Auch das Grundschema des beigefügten Planes ist einfach von dem damaligen herübergenommen und alles Neue in den nämlichen Grundriss eingezeichnet. In allen früheren Nachbildmessungen, sowohl in meinen bisher veröffentlichten, als auch in allen übrigen, war aber nun die Fixationszeit zur Entstehung des Nachbildes bis zur Messung, d. h. zum Beginn der Einstellung auf subjective Gleichheit, immer nur durch Abzählen nach einem Metronom oder dergl. bestimmt und niemals durch einen selbstthätigen Mechanismus in exacter Weise begrenzt worden: Nun kann ja der Zeitfehler einer Einstellung nach dem Metronom durch die Einübung bekanntlich ziemlich klein werden, und je länger die ganze Fixationszeit gewählt wird, um so weniger wird derselbe noch in Betracht kommen. Doch wird eine mechanische Vorrichtung, welche die nämlichen Vorgänge auslöst, natürlich immer vorzuziehen sein, da sie sich mit Leichtigkeit an einen Contactapparat anschließen lässt, wie er für Muskel- oder Zeitsinnversuche verwendet zu werden pflegt. Sie wird zudem die Beiziehung eines Gehülfen unnöthig

machen und insbesondere auch mit kürzeren Fixationszeiten zu arbeiten gestatten, zwei Momente, von denen besonders das letztere aus den schon mehrfach erwähnten Gründen bei diesen Untersuchungen von großer Bedeutung ist. Die Combination mit der Projectionslampe gestattet dabei aber auch zugleich eine sehr einfache Erzielung des exacten Einsetzens der Fixationswirkung. Eine kleine Blende, deren Lage durch die Linie *B* im Grundriss ersichtlich ist, genügt bei ihrer Anbringung vor der Oeffnung der Linse *L*, um den

Figur 1.



Projectionsschirm (*Sch<sub>1</sub>*)<sup>1)</sup> zunächst nur in seiner gleichmäßig farblosen Fläche ohne Projectionsbild erscheinen zu lassen. Dabei ist natürlich bereits die Fixationsmarke auf diesem Schirm zu sehen, welche auf der zukünftigen Grenze der projectirten Nachbarfarben liegt, und die Versuchsperson kann die richtige Fixationsstellung der Augen schon im voraus sicher einflächens sogleich Lage im Sehfeld beiten in völliger noch zu sprechen

nehmen, so dass die contrastirenden Farben vom Wegfall der Blende an ihre constante beibehalten. Natürlich ist hierbei ein Ardunkelheit ausgeschlossen, worüber später ist. Außerdem müsste eben für selbständige Beleuchtung des Punktes gesorgt werden. Für die Versuche mit der gewöhnlichen Selbsteinstellung unter Verwendung der Zügelvorrichtung, wie sie schon im ersten Theil (a. a. O. S. 507) hinlänglich bekannt geworden ist, genügten also bereits folgende Stücke zur exacten Ausführung. Ein Zeitsinnapparat *Z*<sup>2)</sup> enthält vier vom Apparate selbst isolirte

1) Der Schirm ist in der Zeichnung nur in seiner Richtung, nicht aber in der relativ entsprechenden Entfernung angegeben, welche 2 m betrug.

2) Die genauere Beschreibung und Abbildung des nämlichen Modells und

Hebelcontacte 1, 2, 3 und 4, die durch den rotirenden Zeiger  $z$  (am Rade des Apparates) geöffnet werden können. Außerdem kann der Strom auch in den Apparat und Zeiger  $z$  selbst einerseits und in einen der Hebel an den Contacten andererseits eingeleitet werden, so dass bei Berührung des Hebels durch den Zeiger Stromschluss erfolgt. Letztere Anordnung ist hier benutzt bei dem Stromkreis 1, der vom Accumulator I einerseits nach dem Contacthebel 1 und andererseits durch eine elektrische Klingel  $K$  nach dem Apparat geht. Die Berührung von Zeiger und Hebel 1 wird also einen Klingelschlag auslösen. Der Contact 2 schließt nun einen Stromkreis, der vom Accumulator II nach dem Stromwender  $w_2$  und von hier aus auch durch einen Elektromagneten  $m_2$  geht, der an einem (in der Zeichnung nicht besonders angegebenen) Halter senkrecht vor und über der Linsenöffnung  $L$  angebracht ist. An seinem unteren Pole kann nach Schluss von Stromkreis 2 die Blende  $B$  mit einer kleinen Eisenplatte gehalten werden, die sofort nach Stromöffnung durch ihr eigenes Gewicht geräuschlos auf eine weiche Unterlage fällt. Schließlich ist für diese erste Anordnung zur Selbsteinstellung nur noch der Contacthebel 3 in der nämlichen Weise wie 1 in den Klingelstrom einzuschalten, was durch die punktirte Stromverbindung 1' geschieht. Alle weiteren Stücke der Zeichnung kommen bei der gewöhnlichen Selbsteinstellung noch nicht zur Verwendung. Sind alle drei Contacte in ihrer Schließungslage und die Blende an  $m_2$ , sowie der Motor zur Drehung des Marbe'schen Apparates in Gang gesetzt, so kann die Versuchsperson selbst, nach Einnahme ihrer Position zur günstigsten Beobachtung und Selbsteinstellung, den Contactapparat durch Vermittlung eines bequemen Handgriffs oder Zuges anlaufen lassen. Auf seinem Wege in Richtung des Pfeiles kommt der Zeiger zunächst nach Contact 1, wo er durch ein Klingelzeichen das baldige Auftreten der Fixationsfarben ankündigt, worauf die sorgfältigste Fixation des schon vorher ins Auge gefassten Punktes beginnt. Nach einer kleinen Zwischenzeit, die ebenso wie bei Reactionsversuchen aus psychologischen Gründen günstig ausgewählt werden muss (ca. 1,5"), bewirkt der Zeiger durch Oeffnung von Contact 2 den sofortigen

Abfall der Blende, womit die Projectionsfarben auf dem Schirme erscheinen. Nach entsprechender Fixationszeit kommt dann das zweite Klingelsignal bei Berührung des Zeigers mit 3, worauf die Selbsteinstellung vorgenommen wird. Nach Ablesung der Einstellung ist der Versuch beendigt.

2. Die vollgültige Verwerthbarkeit der Resultate, die nach der Methode der Selbsteinstellung gewonnen sind, hängt natürlich auch hier wiederum von der Erfüllung jener Bedingungen ab, die schon seinerzeit (a. a. O. S. 530) discutirt wurden und deren Dasein wenigstens für die Helligkeitsnachbilder als erwiesen erachtet werden konnte. Für die Farbennachbilder werden die entsprechenden Untersuchungen in Kap. V angeführt werden. Einen doppelten Vortheil wird aber nun die Ersetzung der manuellen Einstellung durch einen Mechanismus dann bieten, wenn es sich um die Ausführung einer plötzlichen Einstellung nach Entstehung des Nachbildes handelt. Dass diese letzteren immer das Ideal der Messung bleiben, trotz aller Schwierigkeiten und der Verstreutheit ihrer zusammenhörigen Einzelbestimmungen über eine große Zeitstrecke, ist schon mehrfach betont worden. Mindestens müssen sie als Controlversuche des öfteren eingefügt werden. Ein sehr einfacher Hilfsapparat gestattet nun die mechanische Einstellung mit der nämlichen Exactheit hinsichtlich des Zeitpunktes wie die Darbietung der Fixationsfarben, wenn sie ebenfalls von jenem Contactapparat ausgelöst wird. Erst dadurch wird die Zeitstrecke zur Entstehung des Nachbildes auf beiden Seiten in exacter Weise begrenzt. Bei ihrer Einfachheit ist auch diese Vorrichtung in dem Grundriss nur schematisch angedeutet. Ein ungleicharmiger Hebel  $E$  ist um eine Achse, die im Punkt  $a$  genau senkrecht zur Tischplatte steht, sehr leicht verdrehbar. Der kleinere Arm, dem Apparat zunächst liegend, lässt sich in einer, nur wenig über der Verstellchiene des Marbeschen Apparates gelegenen Ebene hin und her drehen, und bietet einen sicheren Widerhalt für den Schlitten (*sch*) des Apparates in seiner Ausgangslage, sobald der Hebel in der gezeichneten Lage (senkrecht zur Schienenrichtung) durch eine hinreichend große Kraft zurückgehalten wird. Dieses Festhalten besorgt nun der in gleicher Ebene und senkrecht zum Hebel festgeklammerte Elektromagnet  $m_3$ , auf dessen einen Pol eine Eisenplatte sich glatt auflegt, die am Ende

des längeren Hebelarmes  $h$  angebracht ist. Die Wirkung des Magnets ist nun bei entsprechender Stromstärke (Accumulator mit 4 Volt) kräftig genug, um den Apparatschlitten mit Hebelkraft in der Ausgangslage festzuhalten, auch wenn eine sehr starke Spiralfeder  $f$  (30 cm Länge in der Ruhelage) entgegenwirkt. Letztere ist von der Schraube aus, die am Schlitten befestigt ist und nach unten durch die Schienenbahn hindurchreicht, nach hinten gespannt und an dem senkrecht in  $s$  stehenden Stab festgehängt. Sie sucht also den Schlitten von der Scheibe mit großer Kraft wegzuziehen, bis er an einem an der Bahn festgeschraubten Laufgewicht angehalten wird. Der Schlitten läuft bei entsprechend leichter Einstellung und guter Schmierung der Bahn so leicht, dass er durch den Federzug sofort mit Freigabe des Hebels  $h$  in einem kurzen Ruck in die neue Lage bei  $l$  vorschnellt und damit eine plötzliche Einstellung des Scheibenpaares am Rotationsapparat bewirkt. Der Versuch gestaltet sich also jetzt im übrigen ganz ebenso wie vorhin, nur fällt die Zügelvorrichtung weg, und es wird dafür durch die Oeffnung von Contact 3 am Zeitsinnapparat die plötzliche Einstellung mechanisch bewirkt. Die Verbindung 1' zwischen 1 und 3 wird also entfernt und 3 dafür als Stromschließung in den neuen Kreis 3 eingefügt, der vom Acc. III aus zu dem Stromwender 3 und von hier aus zum Elektromagneten  $m_3$  bei jener Hebelvorrichtung führt.

2. Die Anwendung eines solchen Mechanismus gestattet natürlich abgesehen von der größeren Exactheit infolge der Kleinheit der Zeitfehler auch eine gewisse Größenbestimmung dieser Fehlerbestände und damit die Ausschaltung eines relativ großen controlirbaren Fehlers. Es ließ sich gleichzeitig feststellen, dass in der thatsächlich verwendeten Anordnung alle Fehler überhaupt auf ein sehr geringes Maß reducirt waren, so dass bei der zunächst in Frage kommenden Präcision von besonderen Umrechnungen abgesehen werden konnte, so weit es sich vor allem nur um eine constante Fixationszeit handelt. Wird einmal wieder die Abhängigkeit von der Variation der Fixationszeit genauer vorgenommen, so werden hier die folgenden Ueberlegungen auch noch weiterhin verrechnet werden müssen. Es handelt sich also vor allem um die Bestimmung der mittleren Variation in den Zeitangaben des Contactapparates und dann um die Zeitdauer der plötzlichen Einstellung (sammt ihrer mittleren Variation), d. h. also vom

Moment der Stromöffnung bei Contact 3, bzw. vom Beginn der Schlittenverschiebung bis zum Anschlag des Schlittens an dem Laufgewicht  $l$  bzw. der Erreichung seiner Endlage. Zu diesen Messungen wurde ein erprobtes Hipp'sches Chronoskop älterer Construction verwendet, dessen Zeiger beim Stromschluss in der Uhr festgehalten werden. Die Bestimmung des Zeitabstandes zweier Contactöffnungen erforderte natürlich dabei die Einschaltung eines Relais vor dem zweiten Contact, bei dessen Oeffnung ein Stromschluss im Relais die Zeiger wieder festhielt. Für  $\frac{1}{8}$  der gesammten Umlaufszeit im Betrag von  $1,8''$  betrug die mittlere Variation in 40 Einstellungen  $26^\sigma$ , wovon ein großer Theil auf die Contactleistungen entfällt und von der Zeitdauer unabhängig ist, wie sich aus einigen anderen Zeiten ergab. Die Variation des Chronoskops betrug bei dieser einfachsten Anordnung nur wenige  $\sigma$ . Noch einfacher gestaltet sich die Verwendung des Chronoskops zur Bestimmung der plötzlichen Einstellung. Hierzu braucht nur Stromkreis 3 auch noch durch das Chronoskop geführt zu werden. Dieser hält die Zeiger fest, so lange auch der Schlitten noch in seiner Ausgangslage gehalten wird. Ferner legt man durch die Uhr auch noch einen anderen, vom vorigen sonst unabhängigen Stromkreis, der durch das Anschlagen des Schlittens an  $l$  geschlossen wird. Dieser ist nicht besonders eingezeichnet. Man isolirt hierzu das Laufgewicht  $l$  von der Laufschiene, an der es festgeschraubt ist, durch Einschaltung von Pappstreifen, welche jedoch den sofortigen und unmittelbaren Contact des Schlittens mit dem Laufgewichte beim Vorschnellen zulassen. Der eine Pol des zweiten Stromkreises durch die Uhr kommt dann irgendwo an die metallene Apparatschiene, der andere an das isolirte Laufgewicht. Die Zeiger der Uhr werden also von der Freigabe des Schlittens bis zu seinem Anschlagen an  $l$  in Bewegung sein. Die mittlere Variation einer und der nämlichen Einstellungszeit ( $80^\sigma$ ,  $115^\sigma$  und  $180^\sigma$ ) betrug nur ca. 5% der Gesamtzeit. Diese ganze Zeit selbst wechselt natürlich bei gleicher Spannung der Feder  $f$  je nach dem Umfang der Einstellungsbewegung. Da jedoch die Differenz dieses Umfanges der Verdrehung für die verschiedenen Messungen in unserer Untersuchung höchstens  $30^\circ$  und meistens sehr viel weniger betrug, so kam diese von der Einstellungsweite abhängige Variation dieses Zeitfehlers gar nicht weiter in Betracht. Ihr Betrag ergibt sich aus Folgendem. Für eine



Verdrehung von  $150^\circ$  (= 15 cm Schlittenverschiebung) findet man nur  $178^\circ$  Einstellungszeit ( $8^\circ$  m. V.), für  $30^\circ$  (= 3 cm Schlittenverschiebung) aber immer noch  $83^\circ$  ( $4^\circ$  m. V.). Für genauere Messungen lässt sich natürlich leicht in dieser Weise eine ganze Curve für die verschiedenen Beträge der Verschiebungen aufnehmen, die einem sehr einfachen Bewegungsgesetze entspricht. Schließlich lässt sich auch durch passende Wahl der jeweiligen Federspannung diese Variation überhaupt compensiren. Ich brauche kaum noch besonders zu erwähnen, dass alle diese Messungen bei gleichzeitig rotirendem Apparat vorgenommen wurden, weil die Widerstände gegen die Verschiebung des Schlittens während der Rotation etwas andere sind als in der Ruhelage, ebenso wie die Festigkeit der Contacte und Magnete infolge der minimalen Erschütterungen, die bei so rascher Rotation einer benachbarten Scheibe nicht zu umgehen sind. Der ganze Mechanismus arbeitete nun mit großer Sicherheit und Ausdauer, und verdanke ich ihm eine bedeutende Erleichterung und wohl auch eine größere Präcision bei allen weiteren Versuchen.

3. Ebenso leicht ist nun die Construction der Scheiben verständlich, welche für die verschiedenen in Capitel I. näher bezeichneten Aufgaben nothwendig wurden. Die feststehende Episkotisterscheibe erfuhr bei diesen Versuchen zunächst insofern eine Verbesserung, als die farblose Gelatine in den durchsichtigen Theilen der Scheibe ganz wegfiel. An der Rückseite der Apparatscheibe wurden hierzu zwei flache Messingstreifen in symmetrischer Lage festgeschraubt, die etwas über die Peripherie der Scheibe hinausreichten. An ihnen konnten zwei sonst freistehende, unter sich unverbundene Ringsectoren aus undurchsichtigem Material angeschraubt werden, die ebenfalls symmetrisch zu einander lagen, wie es aus der kleinen schematischen Zeichnung Taf. II, Fig. 7 ersichtlich ist, wo jene Ringsectoren je  $90^\circ$  besitzen. Die große Fläche, welche in der Projection für die Ausdehnung des farbigen Contrastfeldes zur Verfügung stand, ließ zunächst die Variation der Ausdehnungsverhältnisse in noch viel weiterem Umfange durchführen, als dies bei der unmittelbaren Betrachtung der kleinen Scheibe in der Anordnung II möglich war. Innerhalb des kleinen Transparentfeldes von 3 cm Breite ließ sich ja allerdings auch dort die Verbreiterung und Verengerung des rothen Ringes gegenüber dem grünen vornehmen, und sind die hieraus erlangten

Resultate in Capitel IV zusammengestellt. Bei der jetzigen Anordnung lässt sich aber nun diese Vertauschung innerhalb eines sehr großen Theiles des gesammten Sehfeldes durchführen. Taf. II, Fig. 5 bringt ein einfaches Beispiel zur Illustration der Versuchstechnik, die bei der ganzen Gruppe von Capitel IV mit entsprechenden Variationen eingehalten wurde. Die Scheibe enthält nur Roth und Grün, das zu gleichen Theilen gemischt ein annähernd reines Grau ergibt. Je nach der Art ihrer Combination mit dem festen Episkotister aus zwei undurchsichtigen Quadranten (Taf. II, Fig. 7) kann dieselbe verwendet werden: 1. zur Fixation eines grauen Streifens auf rothem Grunde mit darauffolgender Projection a) auf Grau und b) auf Roth, und 2. zur Fixation eines grünen Streifens auf grauem Grunde ebenfalls mit folgender Messung a) auf Grau und b) auf Roth. Es ergibt sich nämlich 1 a, wenn man die in der Figur angedeutete Ausgangslage zu den festen Quadranten wählt. Denkt man sich aber die Scheibe umgekehrt am Apparat befestigt, so dass die Verdrehungsrichtung die entgegengesetzte wird und die Abbildung der beweglichen Scheibe einer Rückansicht entspricht, so hat man den Fall 1 b. Andererseits wird 2 a erreicht, wenn man die Scheibe um  $45^\circ$  gegen die festen Quadranten entgegen der Uhrzeigerrichtung verdreht befestigt, oder in der Figur die außen angesetzten Kreisstücke um gleich viel im Sinne des Uhrzeigers. 2 b ergibt sich dann hieraus ebenso, wie 1 b aus 1 a. Eine Vertauschung der gewählten Farben ließ die noch fehlenden Vertauschungen der Ausdehnungsverhältnisse beider Farben und ihrer Messung auf Roth, Grau und Grün vervollständigen.

Taf. II, Fig. 6 erläutert dann das noch größere Anwendungsgebiet einer einzelnen Scheibe bei Verwendung von undurchsichtigen Sektoren zu je  $120^\circ$ . Es kann hierbei Roth neben Grün, allerdings nur in geringerer Gesamtintensität fixirt und das Nachbild auf dem vollen Roth oder Grün der Ausgangslage gemessen werden, je nachdem man die Scheibe in der angedeuteten Weise oder umgekehrt am Apparat, bezw. dem drehbaren Hebel befestigt.

Nachdem der Einfluss der Ausdehnungsverhältnisse in einem gewissen Umfange für farbige Nachbilder untersucht worden war, wurde auch das Nachbild einer farblosen Helligkeitsdifferenz daraufhin untersucht und ist das Resultat im nämlichen Capitel IV behandelt. Hier-

bei kämen die beiden Scheiben aus Schwarzblech zur Verwendung, die Taf. III, Fig. 4 a u. b dargestellt sind<sup>1)</sup>. Ihre Verbindung mit zwei Episkotisterscheiben zu je  $120^\circ$  ließ in der dargestellten Ausgangslage bei 4 a einen weißen Streifen auf schwarzem Grunde fixiren, bei 4 b einen schwarzen Streifen auf weißem Grunde mit ganz den nämlichen Intensitätsverhältnissen wie bei 4 a. Die Verdrehung in Richtung des Pfeiles bewirkt eine Messung der Nachbilder auf einem sehr hellen Grau, bei umgekehrter Befestigung der Scheiben hingegen eine Messung auf Schwarz.

3 a. Was nun die anderen im 2. Capitel erwähnten Aufgaben anbelangt, so kann zunächst der unter I, 2 daselbst behandelten Forderung (Variation der reagirenden Intensität) wieder in der nämlichen Weise entsprochen werden, wie es bei den Helligkeitsnachbildern (Bd. XVI, S. 555) geschehen ist. In der Hauptsache erlaube ich mir also auf die dort ausführlich beschriebene Anordnung und die Abbildungen der Tafel zu verweisen. Da immer von der Entstehung eines constanten Farbenachbildes, z. B. von Roth neben Grün, auszugehen ist, so bildet eine Scheibe, wie Taf. II, Fig. 6 die Grundlage der Anordnung, ebenso wie seinerzeit bei den Helligkeitsnachbildern Fig. 4 der Tafel. Diese Scheibe wird nun in der seinerzeit bei Fig. 6, 7, 9 a—c der Tafel angegebenen Weise mit verschiedenen undurchsichtigen Doppelsectoren (Fig. 6 a) combinirt, was jeweils verschiedenen reagirenden Intensitätsstufen entspricht. Außerdem kann je nach Lage der Farbenscheibe (vergl. S. 344) eine Projection auf Intensitätsstufen des Roth oder des Grün vorgenommen werden. Die Resultate dieser Versuche sind Cap. VII angeführt.

3 b. Die Messungen zu Cap. 2, I, 3 (Projection des Nachbildes einer Farbe neben Grau auf eine beliebig andere Farbe) erfordern ganz ähnliche Scheiben wie Taf. III, Fig. 3 a; man braucht sich nur das Gelb durch Weiß ersetzt zu denken. Die Scheibe ist in drei

1) In den übrigen Versuchen hat sich jederzeit ein kräftiger schwarzer Carton als ein leichtes Material für die undurchsichtigen Flächen vollkommen bewährt, wie es durch zahlreiche Controlversuche mit Helligkeitsbestimmungen nachgewiesen wurde. Soll indessen ein ganz schmaler undurchsichtiger Streifen über eine größere Strecke ausgedehnt vorkommen, so würde der Carton natürlich zu wenig Halt bieten. Diese Blechscheiben sind aber dann wenigstens an allen größeren undurchsichtigen Flächen durchbrochen gearbeitet und mit undurchsichtigem Cartonpapier verklebt.

Sextantenpaare eingetheilt; das eine hiervon, das in der Ausgangslage vor den durchsichtigen Sextanten des festen Episkotisters liegt und die fixirte Farbenzusammenstellung bedingt, hat auf dem äußeren Kreisring die Farbe, z. B. Roth, der innere lässt sich durch Ausprobirung des durchbrochenen Sectors zur Mischung eines gleich hellen Grau einstellen. Das eine benachbarte Sextantenpaar enthält dann diejenige Farbe, auf welche projicirt werden soll, z. B. Blau. Eine rasche Verdrehung in Richtung des Pfeiles um  $60^\circ$  lässt also zunächst reines Blau auftreten, und die weitere Verdrehung wird zur subjectiven Compensation des Nachbildes von Roth neben Grau auf Blau führen, da das noch übrige Sextantenpaar neben dem Blau an Stelle des früheren Roth noch beliebig viel Roth einzuführen gestattet, was eben dem im 2. Capitel angeführten Grundsätze entspricht. Die Versuche sind im Capitel III behandelt. Sie erfordern nur noch die entsprechenden Vertauschungen der Farben in dem nämlichen Schema. Die gleichen Scheiben dienen natürlich auch wieder bei geeigneter Ausgangslage zur Messung des Nachbildes von Roth neben Blau auf Blau u. s. w., was an der nämlichen Stelle Vergleichs halber angeführt ist.

3c. Im 2. Capitel II, 3 ist ferner noch die Möglichkeit einer analogen Messung des Nachbildes einer beliebigen Farbencombination auf beliebigen Farben von gleicher Helligkeit besprochen. Hierzu diene z. B. die Scheibe Fig. 3a selbst. Das neben Roth fixirte Gelb ist durch Zusetzung von Schwarz auf die gleiche Helligkeit mit Roth reducirt. Die Projection erfolgt auf Blau mit subjectiver Ausgleichung des Nachbildes durch Roth. Fig. 3b zeigt dann die (unter 2. Cap. II, 3 angegebene) dreifache Möglichkeit, wie z. B. die Nachwirkung von Roth neben Blau, das vor dem durchsichtigen Sextantenpaare steht, auf Grün ausgeglichen werden kann. Zunächst einmal durch einen Rest von Roth an der Stelle des ursprünglichen Roth bei Anwendung der in Fig. 3b dargestellten Ausgangslage, sodann bei umgekehrter Aufsetzung durch einen Rest von Blau an Stelle des ursprünglichen Blau. Schließlich scheint nach Aufsetzung undurchsichtiger Sectors vor denjenigen Stellen der Scheibe, die Roth neben Grün oder Blau neben Grün enthalten, auch noch eine subjective Ausgleichung durch Beimischung eines bestimmten gleichen Quantums von Roth neben Blau zu Grün gefunden werden zu können, aller-

dings nur unter gleichzeitiger Herabsetzung der Gesamttintensität, falls jenes Quantum weniger als  $30^\circ$  beträgt. Die in diesem Absatze angeführten Versuche dienten jedoch nur zu der allgemeinen rein qualitativen Ermittlung, die bereits im 2. Capitel vorläufig abschließend behandelt wurde. Die Combinationen vom 2. Capitel III, 1—3 erfordern natürlich kein besonderes Scheibensystem; sie erfordern nur nicht mehr die Voraussetzung, dass Gelatine von möglichst gleicher Helligkeit zur Verwendung komme.

4. Für eine specielle Frage habe ich noch eine besondere Vorrichtung eingeführt, die zugleich die allgemeinste Erweiterung enthält, deren diese Methode vorläufig fähig erscheint. Es handelt sich dabei um eine Versuchsgruppe zur wichtigen Frage Cap. 2, I, 3 (am Schlusse), wie auf ein einfaches Farbennachbild (Farbe neben Grau fixirt) von verschiedenen Intensitätsstufen beliebig anderer Farben reagirt wird. Schon die Beibehaltung der nämlichen Intensitätsstufe, noch mehr aber ihre Variation, insbesondere ihre Steigerung erfordert hierbei, dass das relative Maß des Nachbildes ein möglichst großes sei. Damit die Fixationszeit nicht zu lange gewählt werden muss, ist also eine möglichst große Sättigung der Ausgangsfarben nothwendig; auch muss die Variation der Intensität der reagirenden Farben zur besseren Charakterisirung unserer Function in möglichst großem Umfange variirt werden können und ebenfalls hohe Stufen zulassen. Nach den bisherigen Ausführungen ist aber mindestens bereits eine Sextanteneintheilung erforderlich, wenn auf einer beliebig anderen Farbe an Stelle der Ausgangsfarben gemessen und die Einführung dieser neuen Farbe gleichzeitig mit der Maßeinstellung durch eine bloße Verstellung des Scheibenhebels bewirkt werden soll. Hierdurch ist natürlich die Sättigung und Helligkeit der fixirten und reagirenden Farben sehr beschränkt. Diese Schwierigkeit wird behoben, wenn man die beiden Scheibenregionen, die zur Entstehung des Nachbildes und zu seiner Projection und Messung dienen sollen, nicht durch eine Sectoreintheilung trennt, sondern auf verschiedene Kreisringe vertheilt, wie es aus Taf. III Fig. 5 ersichtlich ist. Allerdings liegt dann auch in der Projection auf dem Schirme diejenige Farbencombination, welche zur Entstehung der Farben fixirt werden muss, zunächst einfach neben denjenigen Farben, auf denen das Nachbild gemessen werden soll. Eine Augen-

bewegung von der fixirten Fläche auf die benachbarte Reactionsfläche hat aber bekanntlich ihre großen Nachtheile. Der Wechsel des Sehfeldes kann aber natürlich auch bei ruhendem Auge einfach durch Drehung eines hinreichend großen Spiegels vorgenommen werden, wenn man einen solchen von vornherein in die Lichtprojection einschaltet, das Projectionsbild mit demselben auffängt und auf einen seitlich stehenden Schirm entwirft, dessen Richtung in dem Grundriss (S. 338) unter  $Sch_2$  rechts von der ganzen Anordnung angegeben ist<sup>1)</sup>. Dortselbst ist auch der senkrecht zum Tische stehende Spiegel ( $Sp$ ) in seiner Grundlinie angegeben; seine Ebene ist zur ursprünglichen Projectionsrichtung ungefähr um  $45^\circ$  gedreht. Um eine genau senkrechte Achse an seiner linken Seite, deren Angeln an einem sicher fixirten Unterbau  $U$  befestigt sind, lässt er sich leicht hin und her drehen, wodurch das Projectionsbild auf dem Schirme  $Sch_2$  sich horizontal verschiebt. Da die Scheibe, wie schon früher genauer beschrieben wurde, zur Projectionslampe so rotirt, dass die Ausschnitte aus den concentrischen Kreisringen in der Projection senkrecht stehen, so werden also die Farbengrenzen dabei parallel mit sich selbst verschoben, und kann bei der geringen Differenz der an sich großen Radien auch oberhalb und unterhalb der fixirten Mitte das Nachbild der zuerst fixirten Grenze mit der neuen Grenze zur Deckung gebracht werden. Die kleine Drehung, welche nun zur Auswechslung der Sehfelder nothwendig ist, wird wieder mechanisch durch den Zug der kräftigen Feder  $f_1$  bewerkstelligt und vom Contactapparat  $Z$  wie bei der plötzlichen Einstellung ausgelöst. In der Ausgangslage ist der Spiegel durch den am Tische festgeschraubten Elektromagneten  $m'_3$  festgehalten, auf dessen Pol sich eine am Spiegelrahmen unten befestigte Eisenplatte glatt auflegen kann. Der Magnet  $m'_3$  ist bei diesen Versuchen an Stelle von  $m_3$  (der Magnet zur plötzlichen Einstellung am Hebel  $E$ ) in den Stromkreis 3 eingeschlossen, so dass er nach Oeffnung von Contact 3 am Schlusse der Fixationszeit zur Entstehung des Nachbildes den Spiegel loslässt. Der letztere wird dann von der Feder  $f_1$  rasch bis zum Widerhalt  $p$  zurückgerissen,

1) Die Ausschaltung eines zuerst vorhandenen Spiegels zur Vertauschung des ursprünglichen und des reagirenden Lichtes ist ja bereits von Helmholtz in der früher erwähnten Versuchsanordnung verwendet worden, allerdings in anderem Sinne.

an dem sein Rahmen mit einer Filzlage aufstößt. Am Rahmen ist auch noch eine Nase  $n$  befestigt, welche in dem Augenblicke, wo die Pressung des Filzes am stärksten ist, in ihr Federlager einschnappt, so dass der Spiegel trotz seiner raschen Bewegung ohne jeden Rückprall anhält. Die sehr feste Lage aller beteiligten Stücke vermeidet das Nachzittern, das bei der Vergrößerung aller Bewegungen im Projectionsbilde sehr schädlich wäre. Die Verschiebung des Projectionsbildes ist ohne besonderes Klingelzeichen natürlich für sich selbst schon das Signal zur Vornahme der Selbsteinstellung. Es braucht eigentlich nicht besonders gesagt zu werden, dass für diese Anordnung eine besondere Vorrichtung unnöthig geworden ist, falls man mit plötzlicher Einstellung arbeiten will, insofern ja das zweite, zunächst nicht fixirte Feld für die reagirende Farbe von vornherein eine ganz beliebige Farbencombination unabhängig vom ersten Felde erlangen kann, welche der subjectiven Ausgleichung dient. Die Verschiebung des Feldes entspricht eben dann zugleich der plötzlichen Einstellung. Sollte eine solche trotzdem aus rein technischen Gründen (z. B. zur Erleichterung der Scheibencombination) nothwendig werden, so braucht nur noch  $m_3$  mit  $m'_3$  in den nämlichen Stromkreis 3 wieder eingefügt zu werden.

Bei den in Cap. VII beschriebenen Versuchen soll nun Blau neben Grau fixirt und dann auf Roth gemessen werden. Die Farbenscheibe (Taf. III, Fig. 5), die bei diesen Versuchen an Stelle des festen Episkotisters mit den Messingstreifen an der Scheibe des Rotationsapparates angeschraubt ist, enthält für diesen Zweck in ihrem äußeren Kreisringe, der zur Entstehung des Nachbildes dient, nochmals eine Halbierung der ganzen Breite. Die innere Hälfte ist bis auf zwei schmale Sektoren, welche dem äußersten Ring einen Halt verleihen, durchsichtig und liefert ein gutgesättigtes Blau. Die äußere Hälfte mischt ein Grau von gleicher Helligkeit wie Blau aus Schwarz und Weiß. Ebenso breit wie dieser ganze äußere Kreisring ist nun der innere, der von jenem nur durch einen ganz schmalen Ring als Klebestreifen für die Gelatine getrennt ist. Er enthält die nämliche Untereintheilung wie der äußere Kreisring wenigstens in einem symmetrisch liegenden Sektorenpaar von je  $30^\circ$ . Letzteres trägt auf der inneren Hälfte, deren Lage dem Blau des äußeren Kreisringes in seiner inneren Hälfte nach dem Wechsel der

Felder entspricht, das nämliche Blau, um das Nachbild von Blau neben Grau nach dem nun schon öfter erwähnten Princip (Cap. 2, I, 3) auf Roth subjectiv ausgleichen zu lassen. Das ganze übrige Transparentfeld dieses inneren Ringes trägt außer diesen blauen Halbssectoren (und außer den undurchsichtigen Sectors als Haltestreifen) ein Roth von gleicher Helligkeit. Zur Messung des Nachbildes auf Roth (mit Selbsteinstellung) ist also nur noch ein mit dem Hebel beweglicher Doppelsector von mindestens  $2 \cdot 30^\circ$  nothwendig, der in der Ausgangslage (in der Figur gestrichelt) zunächst die Blau-Roth-Sectors verdeckt und durch Verdrehung des Hebels in Richtung des Pfeiles so viel Blau an Stelle des zuerst neben Grau fixirten Blau einführt, als zur subjectiven Ausgleicheung gehört. Werden dann weiterhin noch andere Doppelsectoren von verschiedener Sectorsbreite vor die Scheibe gesetzt, welche ebenfalls nur den inneren Kreisring verdecken, so kann die Projection auch auf verschiedene (geringere) Intensitätsstufen des Roth vorgenommen werden. In der Figur ist noch ein solcher von  $2 \cdot 60^\circ$  hinzugefügt. Selbstverständlich muss die Lage des Elektromagneten  $m'_3$  und des Widerhaltes  $p$  genau so eingestellt werden, dass die Grenze von Blau und Grau in der Ausgangslage möglichst genau in die Grenze von Roth und Blau in der Endlage hineinfällt, und der Fixationspunkt beide Male auf denselben zu liegen kommt. Eine Erschwerung der Nachbildmessung gegenüber den bisherigen Versuchen ist dann kaum zu bemerken. Natürlich darf auch von vornherein immer nur der eine Theil der Farbenfläche vom Beobachter gesehen werden können. Am einfachsten ist dies bei Transparentbeobachtung von der anderen Seite des Schirmes  $Sch_2$  her durch Einfügung eines Diaphragmas zu erreichen. Die unveränderliche Grenze des Gesichtsfeldes liegt dann als Schatten des Diaphragmas auf dem Transparentschirm selbst. Aber auch für directe Beobachtung von vorn lässt sich leicht ein großes Diaphragma passend so anbringen, dass es den Lichtkegel nicht hindert und doch nur die Aussicht auf jeweils einen Theil (bei unserer Bewegungsrichtung des Spiegels auf den rechten Theil in der Ausgangslage) frei lässt (gleichzeitig natürlich unter Anbringung eines seitlichen Schirmes zur Verdeckung der Versuchsanordnung).

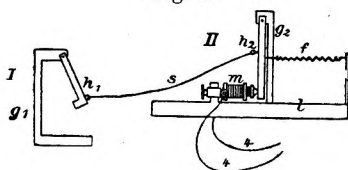
5. Für die Versuche über den Rückgang der farbigen Nachbildwirkung oder die Erholung auf Flächen von verschiedener Farben-



qualität, deren Resultate in Cap. V behandelt sind, kam im allgemeinen zunächst wieder die Selbsteinstellung zur Anwendung. Die Einstellung auf ein objectiv gleichfarbiges Feld, auf welches man das Nachbild nach seiner Entstehung eine Zeit lang projecirte, wurde hierbei ebenso wie bei einem Theile der Helligkeitsnachbilder durch ein rasches Anziehen bis zu einer festen Grenze vorgenommen. Dabei kamen Scheiben wie Taf. II, Fig. 6, also mit Sextanteneintheilung, zur Verwendung. Da der Verstellungsmechanismus des Marbeschen Apparates bei der freien Aufeinanderfolge der beiden Scheiben ohne Ineinanderschieben auch nach rückwärts besonders gut functionirt, so konnte durch passende Wahl der Ausgangslage der Farbenscheibe Fig. 6 z. B. das Nachbild von Roth neben Grün nach der gleichen Entstehungszeit entweder auf Roth oder auf Grün oder einer beliebigen Mischung beider, z. B. Grau, zur Erholung projecirt und dann wieder auf Roth oder auf Grün gemessen werden. Die verschiedenen Einzelfälle sind leicht abzuleiten und natürlich verschieden complicirt; z. B. wird für Messung auf Grün nach Erholung auf Roth am besten die Lage (bei der Anfangsstellung des Hebels) so gewählt, dass die fixirte Ausgangslage durch Verdrehung des Hebels um  $60^\circ$  gewonnen wird. Zur Erholung wird dann wieder um  $60^\circ$  bis zu einer Einstellungsmarke verdreht und endlich zur Messung auf Roth rasch so weit als möglich zurückgegangen und die Einstellung auf Roth vorgenommen. Doch ist dies nicht die einzige Möglichkeit. Im allgemeinen sind hier ja kleine Zeitfehler nicht so störend, da ja bekanntlich, wie sich weiterhin wieder bestätigen wird, die Abfallcurve später immer flacher verläuft. Auch sind diese Fehler leicht durch Anwendung von verschiedenen dieser Anordnungen zu compensiren. Zur Zeitbestimmung während des Versuches wird bei diesen Messungen der Erholung unter den verschiedenen Bedingungen auch noch der Contact 4 am Zeitsinnapparat beigezogen. Sein Hebel wird bei Selbsteinstellung ebenso wie derjenige von Contact 3 wieder zusammen mit 1 in den Klingelstrom eingeschaltet, so dass zur Erholungs- und zur Messungseinstellung ein Klingelzeichen erfolgt. Eine Gruppe von Versuchen wurde indessen auch hier mit plötzlicher mechanischer Einstellung vorgenommen. Hierzu musste ein Widerhalt den von der Feder gezogenen Schlitten nach Freigabe von seiten des Hebels *E* zunächst

eine Zeit lang für die Erholung des Nachbildes in der entsprechenden Lage festhalten und erst am Ende der Erholungszeit in die eigentliche Endlage zur Messung nach dem entsprechend gelegenen Laufgewicht  $l$  weiterziehen lassen. Alles musste hierzu natürlich für eine fortlaufende Bewegung nach einer einzigen Richtung ohne Rückwärtsdrehung eingerichtet sein. Bei den einfachen Versuchen: Erholung auf Grün und Messung auf Grün, sowie Erholung auf Roth und Messung auf Roth war dies ohne weiteres sogar mit der Quadranteneintheilung der Scheibe (nach Fig. 5, Taf. II) zu erreichen, welche intensivere Farben bietet. Die einfache Vorrichtung zum temporären Anhalten des Schlittens ist in der Nebenfigur 2 zur Textabbildung schematisch angedeutet und besteht aus zwei Stücken: I zeigt den Widerhalt für den Schlitten, der nach Oeffnung von Stromkreis 3 von der Feder mit einem kräftigen Ruck zurückgerissen

Fig. 2.



wird. Ein wagrecht verdrehbarer Hebel wie  $E$  erforderte natürlich eine viel zu große Gegenkraft, um nicht sofort durch den Anprall von seinem Magneten losgerissen zu werden. Der Hebel  $h_1$  des Widerhaltes ist daher in senkrechter Richtung um eine wag-

rechte Achse verdrehbar, welche in den Galgen  $g_1$  eingelassen ist. Das ganze Stück muss natürlich sehr solide gearbeitet sein, um eine Verbiegung von  $h_1$  in Richtung der Schlittenbahn völlig auszuschließen.  $g_1$  ist (wie das Laufgewicht  $l$ ) so an der Bahn festgeschraubt, dass die an  $h_1$  unten angebrachte Nase in der herabgedrehten Stellung des Hebels zu Beginn des Versuches dem Schlitten gerade die Bahn verstellt, ohne die kleine Rotationsachse im Schlitten natürlich irgendwie zu behindern. Das Stück II dient nur dazu, um den Hebel nach Ablauf der Erholungszeit plötzlich zurückzureißen, wozu bei dem kräftigen Gegendruck relativ ziemlich viel Kraft nothwendig ist. Allzu wenig darf ja die Nase des Hebels  $h$  auch nicht übergreifen, um noch sicher zu halten. Es ist nun einfach eine Schnur  $s$  von  $h_1$  an den Hebel  $h_2$  von II gezogen, der zunächst während des Schlusses von Stromkreis 4<sup>1)</sup> durch den Contact 4 am Zeitsinnapparat in der Nahestellung bei

1) Auf S. 338 nur durch den Stromwender  $w_4$  markirt.

seinem Magneten  $m$  festgehalten wird. Mit Oeffnung des durch  $m$  gehenden Stromkreises 4 wird jedoch der Hebel  $h_2$  von der starken Feder  $f$  zurückgerissen. Wegen der anfänglichen Schlaffheit der Verbindungsschnur  $s$  hat er dann bereits eine hinreichende Wucht erlangt, bis er mit einem kräftigen Ruck an  $h_1$  bei I angreift und den Schlitten sogleich bis zu seiner letzten Einstellung in  $l$  vorschnellen lässt.

6. Bei den bisher beschriebenen Scheibencombinationen war nun im allgemeinen für jede beliebige Farbenzusammenstellung zur Entstehung eines besonderen Nachbildes, mitunter auch für jede besondere Reactionsmessung eine vollständige Farbenscheibe neu herzustellen. Dieser bei vielen Versuchsgruppen völlig belanglose Umstand machte sich unangenehm bemerkbar, als es sich um eine möglichst zahlreiche Variation der Nachbilder selbst handelte u. z. um die Variation des Helligkeitsverhältnisses der fixirten Nachbarfarben, wie es im 2. Cap. am Schlusse in seiner Bedeutung vorläufig dargelegt wurde. Für diese in Cap. VI und VIII ausführlich behandelten Gruppen kam in der Hauptsache eine besondere Scheibenanordnung zur Verwendung, bei der ein festes, am Marbe'schen Apparat angebrachtes Gerüst beliebige Gelatinefarben (auch in mehreren Lagen über einander) leicht und schnell einsetzen und auswechseln ließ. Die Gelatine sind dabei über kleine, einfache Rähmchen gespannt, die leicht in großer Zahl herstellbar und in ihrer Belegung unschwer zu verändern sind, was bei Aufsuchung passender Helligkeiten ganz besonders gut zu statten kommt. Auch zur spectralen Bestimmung (s. S. 356) können dann die gleichen Rahmen leicht verwendet werden. Diese Versuchsanordnung hat noch dazu den Vortheil, dass ganz die nämliche Gelatine, welche zur Entstehung und Messung des Nachbildes diene, sogleich auch in dem nämlichen Gerüste und unter sonst gleichen Bedingungen hinsichtlich ihrer Helligkeit gemessen werden kann. Die einfache Vorrichtung ist Taf. III Fig. 1 dargestellt. Eine Scheibe aus kräftigem Carton trägt vier unter sich gleich entfernte Sectorenausschnitte zu je  $60^\circ$ . Um den Rand der letzteren sind kräftige, aber nicht zu breite Papprahmen aufgeklebt, in welche jene vorhin erwähnten kleineren Rahmen, die mit der Gelatine bezogen sind, gut hineinpassen und von zwei Seiten vollständig, von der dritten Seite ein Stück weit umschlossen sind, wie es aus der Nebenfigur 1a ersichtlich ist. Ueber den äußeren Rahmen

sind Cartonstreifen (in 1 a mit gestrichelter Grenze) zum Festhalten der eingeschobenen Rahmen festgeklebt. Das Transparent der kleinen Rahmen reicht indessen überall über dasjenige der Sectorenausschnitte in der Hauptscheibe hinaus, deren präzise Conturen also allein zur Geltung kommen. Damit der Luftdruck bei der raschen Rotation die kleinen Rahmen nicht umstülpt, muss der äußere Rahmen mit seinem radialen Theile in der Rotationsrichtung vorausliegen, die bei der einmal constant eingehaltenen Richtung der Drillung der Darmsaite jederzeit im Sinne des Uhrzeigers erfolgt. Die Nachbarschaft der beiden Farben in dem Projectionsbilde wird nun hier nicht mehr durch ein Nebeneinanderliegen der beiden Farben in der Scheibe bewirkt, was ja gerade bisher immer die sorgfältige Construction einzelner Scheiben nothwendig gemacht hatte. Vielmehr wird hier das Nämliche durch die Lage der undurchsichtigen Episkotistertheile bewirkt, wie es unmittelbar aus der Zeichnung zu ersehen ist. An der Hauptscheibe sind an zwei gegenüberliegenden Sektoren, welche die nämliche Farbe enthalten, zwei undurchsichtige Ringsectoren concentrisch zu befestigen (mit Strichpunkten gezeichnet). Dadurch wird z. B. in dem hier dargestellten Fall das Blau nur in der inneren Region zur Geltung kommen. Man setzt nun eine zweite undurchsichtige Cartonscheibe so auf den Apparat (in der Figur gestrichelt), dass sie mit zwei undurchsichtigen Quadranten gerade die innere Kreisfläche des anderen (rothen) Sextantenpaares verdeckt. Der äußere Rand dieser inneren Quadranten muss mit der inneren Grenzlinie der auf den anderen Sextanten aufgesetzten Sektoren genau in einer concentrischen Kreislinie liegen, was uns schwer zu erreichen ist. Alsdann wird natürlich in dieser Ausgangslage bei der Rotation wieder Roth neben Blau in der nämlichen Intensität wie bei der alten Sextantenanordnung erscheinen. Die Hauptscheibe mit den Farben ist nun als feste Scheibe an den Messingstreifen festgeschraubt, die früher die festen Episkotister trugen. Die kleine Quadrantenscheibe hingegen ist als bewegliche am Hebel befestigt. Eine Verdrehung der letzteren in Richtung des Pfeiles wird also ganz analog wie bisher eine Einstellung auf subjective Gleichheit in Roth herbeiführen. Da nämlich die eine radiale Grenze der Quadranten genau so viel von den rothen Sextanten freigibt, als sie von den blauen bei der Verdrehung zudeckt, so wird unter Bei-

behaltung der Gesammtintensität wie bei der alten Anordnung auf der einen Seite das reine Roth bleiben, auf der anderen Seite wird dem reinen Roth noch ein bestimmtes Quantum Blau beigemischt bleiben. Eine Auswechslung der rothen und blauen Rahmen lässt dann die Messung des nämlichen Nachbildes auf Blau bewerkstelligen. Allerdings ist hierbei gleichzeitig die Raumlage der fixirten Nachbarfarben gewechselt, was bei symmetrischer Lage der beiden Seiten zur Achse des Projectionslinsensystems nachgewiesermaßen keinen merklichen Einfluss besitzt. Die gleiche Raumlage wurde indessen dadurch beibehalten, dass gleichzeitig eine Vertauschung der äußeren undurchsichtigen Sektoren vorgenommen wurde, was bei geeigneter constanter Befestigungslage rasch und sicher bewerkstelligt werden kann; die bewegliche Scheibe wird dann natürlich um  $90^\circ$  verdreht und neu am Hebel befestigt.

6a. Mit dieser Vorrichtung war nun auch die Fixation der nämlichen Farbe neben Weiß oder Schwarz nach Cap. 2, III, 1 leicht vorzunehmen, da hierzu einfach ein Sextantenpaar ganz frei blieb oder ein ganz undurchsichtiger Carton in dasselbe geschoben wurde. Die Projection auf die Farbe erfordert für beide Fälle, dass die Farbe in den freien Sector der Hauptscheibe (in der Figur »roth«) geschoben wurde, die Projection auf Weiß, bzw. Schwarz erfolgte hingegen bei Einschiebung der Farbe in das andere Sextantenpaar. Auch konnte zum Vergleich an die Stelle der Farbe ein Grau von gleicher Helligkeit gesetzt werden. Für das Nachbild von Grau neben Weiß auf Weiß musste die blau gezeichnete Oeffnung verschlossen und der bewegliche Quadrant in der Ausgangslage so weit von der freien (roth gezeichneten) Sektorenöffnung weggedreht sein, dass sich im inneren Kreisring die nöthige Helligkeit für das Grau ergab, das bei der Verdrehung des Quadranten dann in Weiß übergehen konnte; und ganz analog gestaltete sich die Messung des Nachbildes von Grau neben Schwarz auf Schwarz. Für die Projection auf Grau mussten natürlich in beiden Fällen die an der Hauptscheibe vor dem äußeren Kreisring aufgesetzten Sektoren (vor Blau) einen entsprechenden Ausschnitt erhalten. Die Resultate dieser Versuche sind in Cap. VI behandelt. Die an gleicher Stelle angeführten Messungen des farblosen Helligkeitsnachbildes von Grau neben Grau wurden mit besonderen Cartonscheiben einfachster Construction nach dem früheren

Episkotistersystem ausgeführt, wie es vor dieser speciellen Anordnung zur Verwendung kam.

7. Für die Helligkeitsbestimmungen der Gelatinescheiben behielten die beweglichen Quadranten ihre Ausgangslage wie in Fig. 1 unverändert bei und die Rahmen der zu messenden Farben kamen in die dahinterliegenden Sextanten (roth) der Hauptscheibe. Vor dem anderen Sextantenpaar, das abgesehen von der äußeren Verdeckung leer blieb, wurde dann ein hinreichend großer Doppelsector der früher beschriebenen Art<sup>1)</sup> vorgesetzt, der bis zur richtigen Helligkeit des gemischten Grau nach der Methode der Minimaländerungen verstellt wurde. Mitunter kam die Methode der Selbsteinstellung mit Hülfe des Verstellhebels allerdings nur zur Controle zur Anwendung. Eine Vertauschung der Sextanten ließ wieder die Raumlage ändern. Zur Vergleichbarkeit der Resultate wurde auch die Gelatine der früher beschriebenen Scheiben zur Bestimmung ihrer Helligkeit nach ihrer Benutzung aus den Scheiben geschnitten, auf Rahmen gezogen und ein ähnliches Scheibengestell eingefügt, das nur zu Helligkeitsbestimmungen angefertigt war. Das Modell, das nach dem Bisherigen aus sich selbst verständlich ist, zeigt Taf. III Fig. 2.

8. Diese Rahmen mit den farbigen Gelatinen konnten dann ebenso wie zur Helligkeitsbestimmung sogleich auch zur Untersuchung ihres spectralen Charakters beigezogen werden. Die Verwendung von Gelatinefarben anstatt spectral reinen Lichtes wurde schon im einleitenden Capitel besprochen. Nach dem Bericht über die Versuche zur Frage Cap. 2, III, 1 (Messung der Nachbilder von Farben verschiedener Helligkeit) wird auch zu ersehen sein, warum vor allem auf die Helligkeitsverhältnisse Rücksicht genommen wurde, ein Gesichtspunkt, der natürlich die Auswahl relativ spectral reiner Gelatinecombinationen nach Art der Strahlenfilter durchkreuzt. Doch wurde die Herabsetzung der Helligkeit wenigstens zugleich immer in Richtung größerer spectraler Reinheit angestrebt. In den Arbeiten von Kirschmann<sup>2)</sup> und Hellpach<sup>3)</sup> sind bereits viele

1) Bd. XVI, S. 555.

2) Kirschmann, Ueber Herstellung monochromatischen Lichtes. Philos. Stud. VI, S. 543.

3) Hellpach, Das Farbenwahrnehmung im indirecten Sehen. Philos. Stud. XVI, S. 524.

fertige Gelatine mit ihrem Absorptionsspectrum angegeben, mit denen allerdings die von mir verwendeten nicht immer zusammenfallen, was schon abgesehen von verschiedenen Farben sich bis zu einem gewissen Grade aus den verschiedenen Stärken der Scheiben erklärt, mit deren Zunahme sich die Absorptionsstreifen bekanntlich verbreitern. Selbstverständlich wurde das Spectrum aus dem Bogenlichte der Projectionslampe nach Passirung des ganzen Linsensystems aufgenommen, welches die gefärbten Strahlen bis zum Projectionsschirm zu durchwandern haben. Die Aichung der Scala wurde mit der Natriumflamme und dem Wasserstoffspectrum vorgenommen und lagen die Linien

*C* bei 4,0

*D* bei 5,0

*F* bei 8,0

Das continuirliche Spectrum reicht dann von 3,0 bis 12,0. Die Absorptionsspectra der einfachen und combinirten Gelatinen, die zur Verwendung kamen, zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle I.

Bezeichnung der Farbe	Ausgelöscht	Geschwächt	Ganz durchgelassen
1. Roth (1—3 Lagen)	55 (57) bis Schluss	—	30 bis 55 (57)
2. Roth (mit Purpur)	47 bis Schluss	—	30 bis 47
1. Gelb (1—2 Lagen)	61 bis 71	71 bis 85	30 bis 61
2. Gelb (mit Lila)	60 bis 71	71 bis 85 dunkler als	30 bis 60 bei 1.
1. Grün (1 Lage)	40 bis 45	30 bis 40 und 45 bis 57	57 bis 90
2. Grün (mit moosgrün)	40 bis 45	30 bis 40, 45 bis 57, 77 bis 90	57 bis 77
1. Blau (1 Lage)	Absorptionsstreifen bei 42	30 bis 59 und 59 bis 74	74 b. Schluss
2. Blau (2 Lagen)	38 bis 58	30 bis 38	58 b. Schluss

Die rothe Gelatine zeigt also im allgemeinen einen verschiedenen großen Zusatz von Orange und Gelb, der sich allerdings bei der Combination mit Purpur fast vollständig zurückzieht. Alle übrige Gelatine besitzt aber mehr oder weniger Zusätze von allen anderen Farben, auch das dunkelste Blau neben dem Blau noch sehr viel Grün, und relativ am unreinsten sind die Mischungen, die Gelb und Grün darstellen. Dennoch war auch bei diesen Farben die Sättigung relativ noch sehr gut, so dass eine große Differenz der fixirten Farben und somit ein kräftiges Farbennachbild vorhanden waren.

9. Die auf S. 347 beschriebene Versuchsanordnung mit dem Spiegel ließ sich zugleich in einfacher Weise zur Helligkeitsbestimmung der Spectralfarben eines und des nämlichen Spectrums verwenden, worauf in Cap. VIII bei den Nachbildern von Farben verschiedener Helligkeit in einer Anm. Bezug genommen wird. Hierzu wurde eine Spaltvorrichtung mit zwei seitlich übereinander stehenden Spalten vor die Oeffnung der Projectionslampe gestellt. Das von einem Spalt kommende Lichtbündel entwarf durch ein Prisma ein ungefähr 14 cm breites Spectrum auf dem seitlich stehenden Schirm *Sch*<sub>2</sub>. Das Strahlenbündel des anderen Spaltes ging jedoch gerade noch unzerlegt an dem Prisma vorbei und wurde durch den Spiegel *s* ebenfalls auf dem Schirm *Sch*<sub>2</sub> als weißer Streifen von 2 cm Breite unter dem Spectrum projicirt und durch einen passend auf dem Spiegel angebrachten schwarzen Papierstreifen in seiner oberen Grenze genau an die untere Grenze des Spectrums angepasst. Durch ein verstellbares Diaphragma konnte nun aus dem Spectrum jeweils alles außer einem Farbenstreifen von 2 cm Breite herausgenommen und durch Drehung des Spiegels konnte der farblose Streifen immer gerade unter den farbigen geschoben werden. Durch einen vor dem Spiegel aufgestellten Episkotister wurde dann die Helligkeit des farblosen Streifens beliebig variirt und auf Gleichheit mit der Farbe eingestellt, was sich ebenfalls mit Sicherheit erreichen ließ.

Mit Ausnahme einer geringeren Anzahl aus den ersten Versuchsgruppen (darunter auch die Beobachtungen bei direct durchfallendem Lichte) wurden die Versuche bei mäßiger künstlicher Beleuchtung im Dunkelzimmer ausgeführt. Die Nachtheile, welche eine Beobachtung bei Dunkeladaptation unter den übrigen hier festgehaltenen Forderungen mit sich bringt, wurden schon früher erwähnt. Ebenso



unzuträglich erwies sich späterhin die plötzliche Abstellung der Beleuchtung bei Beginn des Versuches<sup>1)</sup>. Die hellen Farben üben dann auf dem ganz dunklen Grunde der äußersten Peripherie immer noch eine größere Blendungswirkung aus. (Dass jedoch die relativen Maße der Nachbilder nach dieser und nach der neuen Methode hinsichtlich der Beleuchtung kaum merklich verschieden sind, wird aus den Resultaten zu ersehen sein.) Am besten erschien es also, das Nachbild unter Beibehaltung der nämlichen Beleuchtung wie in der Erholungszeit zu produciren und zu messen. Vor Beginn der Versuche überhaupt wurde ebenfalls ein längerer Aufenthalt im Zimmer zur Adaptation an die Gesamtbeleuchtung eingeschoben. Ueber den Wechsel der Functionen bei verschiedener Gesamtheadaptation nach Helligkeit und Farbe wurden ebenfalls Vorversuche unternommen, ohne dass jedoch bereits sichere Ergebnisse über die Unterschiedsrichtung aufgefunden worden wären. Insbesondere die farbige Adaptation lässt sich nach Art der Erholungsversuche mit verschiedenen Farbenflächen sehr bequem als Versuchsbedingung in die ganze Anordnung einfügen.

Der Standpunkt des Beobachters befand sich bei einem großen Theil der Versuche hinter einem großen Schirm aus ganz farblosem und gut durchlässigem Transparentpapier, wie es schon früher zur Verwendung kam. Das Spectrum, welches durch das Papier hindurch gesehen wurde, konnte von einem auf weißem Papier direct von vorn entworfenen Spectrum hinsichtlich der Helligkeit nicht viel und hinsichtlich der Qualität überhaupt nicht unterschieden werden, wie aus unmittelbarer Vergleichung durch Spiegelprojection zu ersehen war. Bei vielen Versuchen (insbesondere bei der großen Gruppe Cap. VI bis VIII) wurden jedoch die Projectionsbilder auf einem Schirm aus rein weißem Aquarellpapier entworfen, der ebenso wie der Transparenzschirm stand, und direct von vorn beobachtet. Damit der Beobachter möglichst gerade von vorn beobachten konnte — die Stellung des Schirmes musste natürlich genau senkrecht zur Projectionsrichtung bleiben — war die Kinnstütze auf einem schmalen, aber festen Balken angebracht, der ohne Störung des Projectionskegels die Augen des

1) Die zeitliche Exactheit dieser Abstellung wurde durch Anschluss eines Relais für den Lampenhöchststrom der Zimmerbeleuchtung an den Contactapparat seinerzeit ebenfalls sehr gesteigert.

Beobachters so nahe als möglich neben dem Lichtkegel liegen und diesem entlang sehen ließ. Durch eine Blende war seitliches Eindringen des Lichtes ins Auge ausgeschlossen. Die Beobachtungen waren überall wieder binoculare. In den folgenden Capiteln ist nun ein Ueberblick über die Resultate der einzelnen Gruppen geboten, der nach den ausführlichen Darlegungen über die Methode ohne weiteres verständlich sein dürfte.

## Die Resultate.

### Drittes Capitel.

Fixation der Farbe neben Grau (oder der Complementärfarbe) von gleicher Helligkeit.

Variation der reagirenden Sättigung.

1. Diese erste Gruppe sollte vor allem dazu dienen, den allgemeinen Charakter der gesuchten Function hinsichtlich der Stetigkeit ihres Verlaufes etc. kennen zu lernen. Daher wurden hier zunächst immer mehrere Punkte innerhalb einer bestimmten Variationsrichtung untersucht. Der Farbenton war dabei beliebig gewählt. Bei der thatsächlichen Uebereinstimmung der gefundenen Curven hinsichtlich ihrer Form konnte von weiteren Variationen der Farben für diese einfachste Frage vorläufig abgesehen werden. Hingegen fordert die anscheinend gesetzmäßige Abhängigkeit des Steigens oder Fallens des Nachbildwerthes je nach dem reagirenden Farbenton eine allgemeinere Formulirung dieser Unterfrage, die mit Ausführlichkeit im VIII. Cap. behandelt wird.

1. Von den zahlreichen Vorversuchen mit farbigen Papierscheiben bei Tageslicht (Anordnung I, S. 333) soll hier wenigstens eine Reihe angeführt werden, die auch den früher erwähnten Anforderungen für die Lage des Fixationspunktes entsprach und trotz der sonstigen Verschiedenheiten in den Versuchsbedingungen den übrigen Resultaten sich gut einfügt. Gerade die allgemeine Curvenform überhaupt kam ja in jenen Vorversuchen durchweg gut zum Ausdruck. Es wurde also eine rothe Scheibe von 11 cm Durchmesser auf dem »normalgrauen« Grunde, der schon bei den Helligkeitsnachbildern

zur Verwendung kam, 8 Sec. fixirt und das Nachbild auf vier Mischungen von Roth und Grau gemessen. Das Roth war mit Anilinfarbe sehr gleichmäßig hergestellt und besaß fast vollständig die gleiche Helligkeit wie Grau. Die Messungen erfolgten durch die gewöhnliche Selbsteinstellung.

Tabelle II. Messung des Nachbildes von Roth neben Grau auf Sättigungsstufen des Roth.

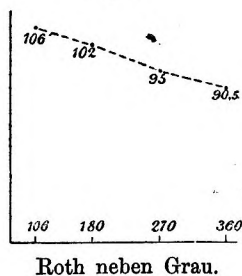
360° Roth in grauer Umgebung 8" fixirt (s. Fig. 3).

$$\left. \begin{array}{l} \text{Helligkeit des Grau} = 52,1 \\ \text{„ „ Roth} = 49,7 \end{array} \right\} 360^\circ \text{ Weiß} + 0^\circ \text{ Schwarz} = \frac{360 \cdot 41}{100} = 147,6.$$

Sättigung der ursprünglich rothen Scheibe bei subjectiver Ausgleichung	106° Roth + 254° Grau	180° Roth + 180° Grau	270° Roth + 90° Grau	360° Roth + 0° Grau
Sättigung der ursprünglich grauen Umgebung	0° Roth + 360° Grau	78° Roth + 282° Grau	175° Roth + 185° Grau	69,5° Roth + 290,5° Grau
Differenz der Sättigungen als Maß des Nachbildwerthes	<b>106°</b> (m. V. 2°)	<b>102°</b> (m. V. 1°)	<b>95°</b> (m. V. 7°)	<b>90,5°</b> (m. V. 5,5°)

2. Das Nachbild von Grün neben Grau wurde mit Versuchsanordnung III, 1 (S. 337) durch Farbenprojection auf dem Schirme in drei möglichst gleich weit entfernten Sättigungslagen gemessen. Dabei wurde von Grün über Grau nach Roth fortgeschritten, ein Umfang der Variation, der von nun ab überall eingehalten wird, da ja die Erzeugung von Grau durch Mischung complementärer Gelatine zugleich die vollgesättigte Complementärfarbe auf der Scheibe leicht anbringen lässt (Anordn. III, 3, S. 353). Auch die Helligkeitsgleichheit von Roth und Grün bezw. Grau war hier so gut als möglich erreicht, und die Mischung von 4 : 5 ergab ein annähernd indifferentes Grau. Die feststehenden Episko-

Fig. 3.



tisterscheiben betragen  $2 \cdot 90^\circ$ , also auch die Gesamttintensität der Mischung immer  $2 \cdot 90^\circ$ . Die undurchsichtigen Sectors sind wieder mit S bezeichnet, die durchsichtigen mit W. Bei dieser Reihe ist das Nachbild (wie bei einer Reihe der Helligkeitsnachbilder) im Dunkeln aufgenommen und gemessen worden, jedoch ohne Dunkeladaptation, da die mäßige constante Beleuchtung der Erholungszeit erst bei Beginn des Versuches abgestellt wurde. Die Fixationszeit währte 15 Sec.

Tabelle III.

Nachbild von Grün ( $180^\circ$  Grün +  $180^\circ$  S) neben Grau  
( $100^\circ$  Grün +  $80^\circ$  Roth +  $180^\circ$  S).

Transparent.

Helligkeit des Grün:  $180^\circ$  Gr. +  $180^\circ$  S =  $54^\circ$  W +  $306^\circ$  S (Spectrum: 1. Grün)  
> > Roth:  $180^\circ$  R. +  $180^\circ$  S =  $57^\circ$  W +  $303^\circ$  S ( > : 1. Roth)

(S. Fig. 4.)

Sättigung der ursprünglich grauen Hälfte des Sehfeldes bei der Ausgleichung.	137,2° Gr. + 42,8° R. + 180° S.	100° Gr. + 80° R. + 180° S.	180° R. + 180° S.
Sättigung der ursprünglich grünen Hälfte des Sehfeldes.	180° Gr. + 180° S.	132,6° Gr. + 47,4° R. + 180° S.	162,2° R. + 17,8° G. + 180° S.
Differenz als Maß des Nachbildes.	42,8° (m. V. 3,8°) [D. 45°]	32,6° (m. V. 1,7°) [D. 35°, Sc. 33°]	17,8° (m. V. 5,2°)

Ebenso kamen mit Anordnung II (S. 334) bei Fixation des direct durchfallenden Lichtes mehrere Punkte der Curve zur Untersuchung. Den Ausgangspunkt bildete hier allerdings nicht Grün oder Roth neben Grau, sondern Grün neben Roth von gleicher Helligkeit; dabei kamen die nämlichen Gelatine wie bei der vorigen Reihe zur Verwendung. Die Fixationszeit durfte bei dem intensiven Lichte natürlich nicht so hoch bemessen werden, zumal, ebenso wie bei der vorigen Reihe, das Nachbild im Dunkeln producirt wurde (ohne Dunkeladaptation). Die festen Episkotisterscheiben enthielten auch hier wieder  $2 \cdot 90^\circ$ .

Tabelle IV.

Nachbild von Roth neben Grün bei direct durchfallendem Lichte.

Rother Ring (1 cm Breite) innerhalb eines grünen Ringes 5" fixirt.

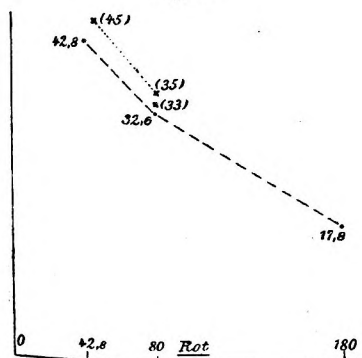
(180° Gr. + 180° S.) neben (180° R. + 180° S.). Alles übrige wie bei Tab. III.

(S. Fig. 5.)

Sättigung des ursprünglich grünen Ringes bei der Ausgleichung.	180° Gr. + 180° S.	120° Gr. + 60° R. + 180° S.	90° Gr. + 90° R. + 180° S.	53° Gr. + 127° R. + 180° S.
Sättigung des ursprünglich rothen Ringes.	114° Gr. + 66° R. + 180° S.	59,8° Gr. + 120,2° R. + 180° S.	34° Gr. + 146° R. + 180° S.	180° R. + 180° S.
Differenz als Maß des Nachbildes.	66° (m. V. 2,8°) [D. 66,8°]	60,2° (m. V. 6,8°)	56° (m. V. 4°) [D. 49,4°]	53° (m. V. 2,8°) [D. 47°]

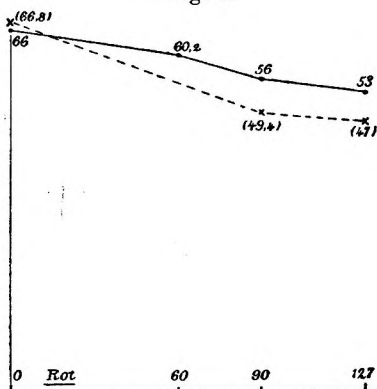
Alle Reihen zeigen also eine große Annäherung an die proportionale Aenderung des Nachbildwerthes, wie es aus der annähernden Geradlinigkeit der Curven hervorgeht. Es wäre

Fig. 4.



Grün neben Grau.

Fig. 5.



Roth neben Grün.

verfrüht, aus einer gewissen Uebereinstimmung hinsichtlich der Abweichung von der Geraden eine allgemeine Regel ableiten zu wollen. Geringe Verschiebungen der Werthe innerhalb der von der mittleren Variation eingeschlossenen Grenzen ließen ja eine vollständige Her-

stellung der Geraden bezw. sogar manchmal die entgegengesetzte Art der Abweichung von derselben erreichen. Dass sich hingegen bei einer noch größeren Häufung der Versuche eine gewisse constante Abweichung feststellen lasse, scheint gerade bei der Annahme einer Proportionalität zu den verschiedenen bei einer Mischung mitwirkenden Componenten wahrscheinlich, wie später noch deutlicher werden wird. (Vergl. Schluss.) Die Uebereinstimmung mit den fremden Controlzahlen erscheint ferner gut genug, um auch für die farbigen Nachbilder eine erhebliche persönliche Differenz der Werthe auszuschließen. Dass hingegen aus der Uebereinstimmung dieser Zahlenwerthe niemals ein gleichartiges, normales Farbsehen erschlossen werden kann, soll in Capitel VI wenigstens für einen einzigen, gerade leicht zugänglichen Fall gezeigt werden.

Gleichzeitig ergibt sich aber nun auch bei allen Versuchen, die (abgesehen vom gemeinsamen Ausschluss der Dunkeladaptation) den verschiedensten Versuchsbedingungen unterlagen, die genauere Bestimmung der im allgemeinen Umriss längst bekannten Thatsache<sup>1)</sup>, dass der Werth des Nachbildes keineswegs dem Grade der Sättigung überhaupt proportional geht, so dass z. B. bei Grau oder bei voller Farbe ein Minimum vorhanden wäre, wie es für das Helligkeitsnachbild bei Schwarz nachgewiesen ist. Der wesentliche Verlauf der Curve bei reinen Sättigungsvariationen ohne Helligkeitsänderung zeigt immer mehr oder weniger eine Annäherung an eine Parallele zur Abscissenachse, d. h. an eine Constanz des Werthes. Die Neigung der Geraden zur Abscisse oder die Aenderung des Nachbildwerthes, die allerdings auch proportional zur Sättigungsvariation erfolgt, ist erst ein secundäres Moment, das eine gewisse Complication mit anderen Factoren andeutet. Fällt diese Neigung irgendwo mit einem Sinken nach der geringeren Sättigung einer Farbe und nach Grau hin zusammen, so bedeutet dies kein Minimum im Grau, sondern jederzeit ein Sinken nach der Com-

1) Allerdings sind natürlich die secundären Bedingungen hinweg zu denken, die für das gewöhnliche Sehen beim bisherigen rein qualitativen Schätzen von Nachbildern in Folge mangelnder Ausgleichung durch den Simultancontrast noch hinzukommen. Diese wirken ja gerade bei Grau besonders stark, und somit könnte das Hinzutreten des Contrastes immer noch ein relatives Minimum Grau verdeckt haben. Erst die Messung in der subjectiven Ausgleichung scheidet auch hier das negative Nachbild rein für sich aus.

plementärfarbe hin. Für diese letztere, und zwar in ihrer vollsten Sättigung, ist dann thatsächlich der Nachbildwerth am geringsten. Dieses Verhältniss hängt nun offenbar regelmäßig von dem Farbentone ab, und zwar ist für Grün der Werth jederzeit der höhere, für Roth der geringere, so lange die subjective Helligkeit der beiden Farben die gleiche ist. Hierin besteht offenbar ein zweites wichtiges Ergebniss der bisherigen Reihen, das weiterhin sorgfältig zu verfolgen ist.

Um diese Abhängigkeit des Werthes vom Farbenton bei gleicher Helligkeit auch für ein beliebiges anderes complementäres Farbenpaar vorläufig festzustellen, wurde ein Nachbild von Gelb neben Blau wenigstens auf den beiden Extremen des relativ gesättigtsten Gelb und Blau gemessen. Nach den Vorversuchen mit farbigen Papierscheiben war die annähernde Geradlinigkeit der dazwischenliegenden Curvenstrecke auch für diese wie überhaupt für jede beliebige Variationsrichtung ebenso sichergestellt wie für Roth und Grün. Es handelt sich also weiterhin immer nur noch um die Feststellung, nach welcher Richtung der Nachbildwerth ansteigt oder fällt, und dies ist eben gerade aus der Bestimmung der beiden Endpunkte am deutlichsten zu ersehen. Die Reihe wurde wieder mit der Projections-Anordnung ausgeführt, und zwar mit der exactesten und für die Erzielung von Helligkeitsgleichheit günstigsten Anordnung III, 6 (S. 353). Die Episkotisterscheiben betrugten  $2 \cdot 120^\circ$ . Die Fixationszeit war hier, wie überall bei der exactesten Zeitbestimmung, auf 5" festgesetzt.

Tabelle V.

Nachbild von Gelb neben Blau.

( $120^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$ ) neben ( $120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$ ) 5" fixirt.

Helligkeit des Gelb ( $120^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$ ) = Helligkeit des Blau ( $120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$ )  
 =  $22^\circ \text{ W} + 338^\circ \text{ S}$ .

Spectrum des Gelb = 2. Gelb.

Spectrum des Blau = 1. Blau.

Sättigung der ursprünglich blauen Hälfte des Sehfeldes.	$120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$	$32,4^\circ \text{ B} + 87,6^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$
Sättigung der ursprünglich gelben Hälfte.	$76,6^\circ \text{ B} + 43,4^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$ .
Differenz als Maß des Nachbildes.	$43,4^\circ$ (m. V. $0,4^\circ$ ) [K. 44,2°]	$32,4^\circ$ (m. V. $1,8^\circ$ ) [K. 30°]

Dem Ansteigen des Nachbildwerthes nach Grün hin bei den früheren Reihen entspricht also hier ein ebenso deutliches Ansteigen nach Blau hin. Zahlreiche Versuche haben dabei gezeigt, dass es sich nicht um Zufälligkeiten handelt. Diese Abhängigkeit des Werthes vom Farbenton machte natürlich eine Variation der Entstehungsbedingungen nach einer ganz anderen Richtung des Farbencontinuums nothwendig, wenn man für ein bestimmtes Farbenpaar die Neigung der Curve zur Abscissenachse verändern wollte. Denn Fixation von Grau neben einer Farbe ergab ganz die nämliche Curvenrichtung wie die Zusammenstellung mit der vollgesättigten Complementärfarbe. Letztere ergab nur einen höheren absoluten Werth, ebenso wie die Erhöhung der Fixationszeit, ohne in jenem speciellen Punkte eine Aenderung herbeizuführen. Innerhalb ein und der nämlichen Helligkeitsstufe war zugleich für ganz beliebige Farbenzusammenstellungen eine Subsumtion unter die nämliche allgemeine Regel zu erwarten. Es ließ sich thatsächlich eine gewisse Reihenfolge der verschiedenen Farben auffinden, in welcher immer diejenige Farbe voransteht, die auf ein bestimmtes Farbenachbild bei ihrer Combination mit der folgenden Farbe mit einem höheren Werthe reagirt. Es sei hier nur die Combination von Roth mit Blau und Gelb mit Grün erwähnt, besonders bei dem ersteren Farbenpaar kommt das Ansteigen nach Blau hin besonders deutlich zum Ausdruck, während beim zweiten Paare das Ansteigen nach Grün hin immer noch deutlich genug zu ersehen ist. Da hier natürlich vor allem eine Variation des Farbentones in den verschiedenen Mischungen zum Ausdruck kommt, so seien diese Gruppen nur als Anhang zum dritten Capitel beigefügt. Die Anordnung war wieder nach Cap. 2, III, 6 mit den Episkotistern zu  $2 \cdot 120^\circ$ .

Tabelle VI. 1. Nachbild von Roth neben Blau.

Blau ( $120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$ ) neben Roth ( $120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$ )  $5''$  fixirt.Helligkeit des Blau = Helligkeit des Roth =  $22^\circ \text{ W} + 338^\circ \text{ S}$ .

Spectrum des Blau = 1. Blau.

Spectrum des Roth = 2. Roth.

Farbe der ursprünglich blauen Hälfte des Sehfeldes	$120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$	$29^\circ \text{ B} + 91^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$
Farbe der ursprünglich rothen Hälfte des Sehfeldes	$77,8^\circ \text{ B} + 42,2^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$
Differenz als Maß des Nachbildes	$42,2^\circ$ (m. V. $3,6^\circ$ )	$29^\circ$ (m. V. $1^\circ$ )



## 2. Nachbild von Gelb neben Grün.

Gelb ( $120^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$ ) neben Grün ( $120^\circ \text{ Gr} + 240^\circ \text{ S}$ ) 5'' fixirt.

Helligkeit des Ge = Helligkeit des Gr =  $22^\circ \text{ W} + 338^\circ \text{ S}$ .

Spectrum des Gelb = 2. Gelb.

Spectrum des Grün = 1. Grün.

Farbe der ursprünglich grünen Hälfte des Sehfeldes	$120^\circ \text{ Gr} + 240^\circ \text{ S}$	$41^\circ \text{ Gr} + 79^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$
Farbe der ursprünglich gelben Hälfte des Sehfeldes	$73,8^\circ \text{ Gr} + 46,2^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ Ge} + 240^\circ \text{ S}$
Differenz als Maß des Nachbildes	$46,2^\circ$ (m. V. $1^\circ$ )	$41^\circ$ (m. V. $3^\circ$ )

### Zusatz.

Die nämliche Thatsache wird schließlich auch noch von den Versuchen zur Frage von Cap. 2, I, 3, bestätigt, bei denen ein Nachbild auf andere Farben projicirt wurde, welche nicht dem complementären Farbenpaare angehören, deren Fixation das Nachbild entstammte. Es wurde Blau neben Grau fixirt und dann auf Roth (und Blau) gemessen, ferner das Nachbild von Roth neben Grau auf Blau (und Roth). Die Anordnung der Scheibe s. unter III, 3b (S. 345).

### Tabelle VII.

#### 1. Nachbild von Roth neben Grau auf Blau gemessen.

( $120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$ ) neben ( $23^\circ \text{ W} + 240^\circ \text{ S}$ ) 5'' fixirt.

Spectrum des Blau wie vorhin, Roth etwas weniger gesättigt.

Helligkeit =  $23^\circ \text{ W} + 240^\circ \text{ S}$ .

Farbe der ursprünglich rothen Hälfte	$120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$	$21^\circ \text{ Roth} + 99^\circ \text{ Blau} + 240^\circ \text{ S}$
Farbe der ursprünglich grauen Hälfte	$104,8^\circ \text{ R} + 15,2^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$
Differenz als Maß des Nachbildes	$15,2^\circ$ (m. V. $1^\circ$ )	$21^\circ$ (m. V. $2,6^\circ$ )

#### 2. Nachbild von Blau neben Grau auf Roth gemessen.

( $120^\circ \text{ B} + 240^\circ \text{ S}$ ) neben ( $23^\circ \text{ W} + 240^\circ \text{ S}$ ) 5'' fixirt. Alles übrige wie vorhin.

Farbe der ursprünglich blauen Hälfte	$120^\circ \text{ R} + 240^\circ \text{ S}$	$12^\circ \text{ R} + 108^\circ \text{ Bl} + 240^\circ \text{ S}$
Farbe der ursprünglich grauen Hälfte	$111^\circ \text{ R} + 9^\circ \text{ Bl} + 240^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ Bl} + 240^\circ \text{ S}$
Differenz als Maß des Nachbildes	$9^\circ$ (m. V. $4,8^\circ$ )	$12^\circ$ (m. V. $2,4^\circ$ )

Bei diesen beiden Gruppen musste natürlich die Messung des Nachbildes auf der neuen, bei der Entstehung des Nachbildes noch nicht beteiligten Farbe durch eine rasche Einstellung auf die vollgesättigte Farbe für beide Hälften des Sehfeldes eingeleitet werden. Eine zu langsame Verstellung hätte ja zunächst die neue Farbe nur auf der einen Seite in ihrem reinen Farbenton (wenn auch mit Grau vermischt) auftreten lassen, während auf der anderen noch längere Zeit die zuerst neben Grau fixirte Farbe beigemischt geblieben wäre. Es wäre also dann ein gewisser Grad des Nachbildes von Roth neben Blau entstanden, das nach dem einfachsten Princip mit einem bestimmten Rest von Roth bezw. Blau auf Grau bezw. Roth zu messen gewesen wäre, ohne dass eine besondere Nachwirkung des Nachbildes von Roth neben Grau bezw. von Blau neben Grau auf Blau oder Roth den ganzen gefundenen Werth auszumachen brauchte, ohne dass also eine besondere Thatsache in der Möglichkeit einer Messung überhaupt anzuerkennen wäre (vergl. Cap. 2, I, 3). Außerdem ist aber natürlich noch hinzuzufügen, dass die Messung des Nachbildes von Roth neben Grau auf Roth, sowie desjenigen von Blau neben Grau auf Blau bei Verwendung der nämlichen Scheiben nicht exact gemessen werden konnte. Die Ausgleichung des Nachbildes von Roth neben Grau auf Roth hat ja z. B. mit dem nicht complementären Blau gar nichts zu thun. Somit ist also die erste Verticalreihe bei I und die zweite bei II nur eine Quasi-Messung, die durch Blau anstatt Grün und durch Roth anstatt Gelb wenigstens die Sättigungsunterschiede unter Beibehaltung einer gewissen Verschiedenheit des Farbentones auszugleichen sucht, um völlig vergleichbare Resultate mit den nämlichen Scheiben zu erhalten. Dass dies mit hinreichender Sicherheit gelungen ist, zeigt die geringe mittlere Variation bei zwölf Einzelversuchen in den kritischen Werthen. Eine Zusammenstellung der Werthe für Blau und Roth in jeder der beiden Gruppen zeigt denn in der That wieder jene Steigung des Werthes nach Blau hin, wie sie für das Nachbild von Roth neben Blau auf Roth und Blau sich ergeben hatten. Zur Vergleichung der Werthe von Farbe neben Grau mit denjenigen von Farbe neben Farbe, die ja allerdings die allgemeinen, hier noch nicht behandelten Größenverhältnisse in Betracht zöge, sind noch die Werthe für das Nachbild von Roth neben Blau beigefügt, bei der geringeren Sättigung des Roth

etwas kleiner als die vorigen und dem absoluten Werth nach nicht mit ihnen vergleichbar.

## Tabelle VIIa. Nachbild des Roth neben Blau.

Roth und Blau wie bei Tab. VII.

Farbe der ursprünglich blauen Fläche	120° R + 240° S	28° R + 92° Bl + 240° S
Farbe der ursprünglich rothen Fläche	99° R + 21° B + 240° S	120° B + 240° S
Differenz als Maß des Nachbildes	21° (m. V. 1°)	28° (m. V. 2°)

Bemerkenswerth ist hierbei nur die große Annäherung der Summe der entsprechenden Werthe der Nachbilder von Blau bezw. Roth neben Grau an die Werthe bei Fixation von Roth neben Blau, wenn sie auch noch etwas dahinter zurückbleibt. Die Frage der Projection des Nachbildes auf eine andere Farbe wird bei Variation der reagirenden Intensität von einem noch allgemeineren Gesichtspunkte aus wieder aufzunehmen sein (vgl. Cap. VII). Wenn nun die Neigung der Curvenlinie, in welcher die Abhängigkeit des Werthes vom Farbenton bei gleicher Helligkeit zur Geltung kommt, verändert und zwar in die Parallele zur Abscisse verwandelt werden soll, so wird man offenbar auf eine Veränderung des Intensitätsverhältnisses der beiden Farben hingewiesen, deren Reactions-Werthe miteinander verglichen werden. Bei dieser einfachsten Anordnung betrifft dies im allgemeinen also zugleich das Intensitätsverhältniss der beiden Farben, die zur Entstehung des Nachbildes nebeneinander fixirt wurden. Denn bei der Steigerung der Intensität einer Farbe muss ja schon nach dem allgemeinen F.-H.'schen Satze eine Steigerung des entsprechenden Reactions-Werthes zu erwarten sein. Es müsste also ein passendes Intensitätsverhältniss aufzufinden sein, welches für zwei Farben die gleichen absoluten Werthe liefert. Doch ist zur Erledigung dieser ganzen Aufgabe natürlich noch die Frage von Cap. 2, III zu entscheiden, inwieweit überhaupt bei verschiedener Intensität bezw. Helligkeit der fixirten Farben eine Messung des Nachbildes möglich wird. Doch ist zunächst noch ein weiterer Nebenweg zu verfolgen, um über andersartige Combinationen zu entscheiden.

### Viertes Capitel.

#### Die Variation der Ausdehnungsverhältnisse.

Es wäre von vorne herein nicht undenkbar, dass die verschiedenen Abweichungen von der Constanz des Werthes bei Einhaltung der nämlichen Helligkeitsstufe als Resultat der speciellen Ausdehnungsverhältnisse zu betrachten seien, wobei zunächst die Lage innerhalb des Sehfeldes noch gar nicht einmal in Betracht gezogen wäre. Ueberhaupt muss jede Besonderheit der quantitativen Verhältnisse der Nachbilder in ihrer Unabhängigkeit von einem möglichen Ausdehnungsfactor dargestellt werden. Ein Hauptantheil des negativen Nachbildes wird ja bekanntlich von verschiedenen Theorien auf eine Wechselwirkung der verschieden erregten Bezirke des Sehfeldes während der Fixation zurückgeführt, wodurch im Enderfolge eine Angleichung an die Umgebung entsteht, so z. B. schon in Fechner's Theorie für die negativen (farbigen) Nachbilder<sup>1)</sup>, die allerdings schon von Helmholtz neben der Ermüdungstheorie nicht mehr berücksichtigt worden ist. Hiernach könnte z. B. ein schmaler grüner Streifen in weiter complementärfarbiger rother Umgebung eine intensivere Rothfärbung erhalten, als ein breiter Streifen, während sein wenigens Grün die Umgebung nicht wesentlich beeinflusst. Die subjective Verschiebung der Farbe des Streifens nach Roth hin würde also bei diesem Ausdehnungsverhältnisse den Hauptantheil des Nachbildes ausmachen, und man brauchte nur das Maß dieser Färbungen in einem bestimmten Tone von der reagirenden Farbe abhängig zu denken, um eine Neigung des Gesamtwertes des Nachbildes nach dieser oder jener Richtung der Farbenvariation bei gleicher Helligkeit erwarten zu lassen. Die bisher berichteten Versuche enthalten nun allerdings bereits die verschiedenartigsten Ausdehnungsverhältnisse in sich; doch ist eben nirgends noch für ein und die nämliche Farbendifferenz die Variation der Ausdehnungsverhältnisse durchgeführt, wie es im Folgenden geschildert wird. Die zahlreichen Versuche in dieser Frage bestehen zunächst aus mehreren Reihen der Anordnung II (Cap. 2) mit direct durch-

1) Fechner, Poggendorff's Annalen, L, 1840. Ueber subjective Complementärfarben, V. Abschnitt: Bemerkungen in Betreff einer Theorie der Farben durch den Contrast.

fallendem Lichte. Es wurde hierbei das Verhältniss der Breite des rothen und derjenigen des grünen Ringes, welche sich beide auf dem Transparentfeld umschließen, zwischen 5 und  $\frac{1}{5}$  variirt, d. h. die Fläche des Transparentringes von 3 cm Breite enthielt in vier verschiedenen Gruppen:

- 1) einen rothen Ring von 0,5 cm Br. neben einem grünen von 2,5 cm Br.
- 2) " " " " 1 " " " " " " " 2 " "
- 3) " " " " 2 " " " " " " " 1 " "
- 4) " " " " 2,5 " " " " " " " 0,5 " "

Der Fixationspunkt lag jedesmal wieder auf der Grenze der beiden Farben. Die Gelatine waren die nämlichen wie für Tab. III. Die folgenden Versuche sind also nur als eine Variation der Ausdehnungsverhältnisse für das bereits angeführte Nachbild zu betrachten. Die Zeit der Fixation war 5 und 8 Sec. Nachdem nun das Schema der Messung aus den bisherigen Tabellen hinreichend bekannt ist, wird weiterhin nur noch die Differenz der benachbarten Flächen als Maß der Nachbildwirkung neben dem reagirenden Farbenwerthe einer von beiden Flächen angegeben sein, der zugleich der Curve als Abscissenwerth zu Grunde liegt. Aus der Gesamtintensität, d. h. der von den feststehenden Episkotistern freigelassenen Sectorenbreite, ist denn sofort zu ersehen, ob die Farbenqualität der benachbarten Fläche durch Addition oder Subtraction der angegebenen Differenz abzuleiten ist. Die Episkotister haben überall  $2 \cdot 90^\circ$ , also beträgt die Gesamtintensität durchgehends  $180^\circ$ .

Tabelle VIII.

- 1) 0,5 cm Roth neben 2,5 cm Grün 8" fixirt (Curve 1 Fig. 6, gestrichelt).  
Helligkeit und Spectren wie Tab. IV.

Farbe d. ursprünglich grünen Ringes bei der Ausgleichung	$0^\circ \text{ R} + 180^\circ \text{ Ge} + 180^\circ \text{ S}$	$116,4^\circ \text{ R} + 63,6^\circ \text{ Gr} + 180^\circ \text{ S}$
Differenz vom ursprünglich rothen Ring als Maß	$82^\circ$ (m. V. $8,2^\circ$ )	$63,6^\circ$ (m. V. $6,4^\circ$ )

- Das Nämliche für D., mit 5" Fixationszeit (Curve 1a, Fig. 8, punktirt).

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	$0^\circ \text{ R} + 180^\circ \text{ Gr} + 180^\circ \text{ S}$	$128^\circ \text{ R} + 52^\circ \text{ Gr} + 180^\circ \text{ S}$
Differenz	$70^\circ$	$52^\circ$

2) 1 cm Roth neben 2 cm Grün 8" fixirt (Curve 2, Hauptlinie, Fig. 7).

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	54° R + 126° Gr + 180° S	90° R + 90° Gr + 180° S	115,4° R + 64,6° Gr + 180° S
Differenz	<b>82,4°</b> (m. V. 6,4°)	<b>76°</b> (m. V. <0,5°)	<b>67,2°</b> (m. V. 7,2°)	<b>64,6°</b> (m. V. 6,2°)

Das Nämliche, 5" fixirt (Curve 1 a, Fig. 8, Hauptlinie, für D gestrichelt).  
(Theilweise = Tabelle IV.)

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	60° R + 120° Gr + 180° S	90° R + 90° Gr + 180° S	127° R + 53° Gr + 180° S
Differenz	<b>66°</b> (m. V. 2,8°) [D. 66,8°]	<b>60,2°</b> (m. V. 6,8°)	<b>56°</b> (m. V. 4°) [D. 49,4°]	<b>53°</b> (m. V. 2,8°) [D 47]

3) 2 cm Roth neben 1 cm Grün 8" fixirt (Curve 1, Fig. 6, Hauptlinie).

Farbe d. ursprüngl. grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	90° R + 90° Gr + 180° S	115° R + 65° Gr + 180° S
Differenz	<b>74°</b>	<b>69°</b> (m. V. 2°)	<b>65°</b> (m. V. 6,6°)

Das Nämliche, 5" fixirt (Curve 2 a, Fig. 9, Hauptlinie, für Sc. gestrichelt).

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	125° R + 54,4° Gr + 180° S
Differenz	<b>64°</b> [Sc. 65°]	<b>54,4°</b> (m. V. 4°) [Sc. 46°]

4) 2,5 cm Roth neben 0,5 cm Grün, 8" fixirt (Curve 2, Fig. 7, gestrichelt).

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	114° R + 66° Gr + 180° S
Differenz	<b>82°</b> (m. V. 0,5°)	<b>66°</b> (m. V. 1°)

Das Nämliche für D., 5'' fixirt (Curve 2a, Fig. 9, punctirt).

Farbe des ursprünglich grünen Ringes	0° R + 180° Gr + 180° S	124° R + 56° Gr + 180° S
Differenz	73°	56°

Fig. 6.

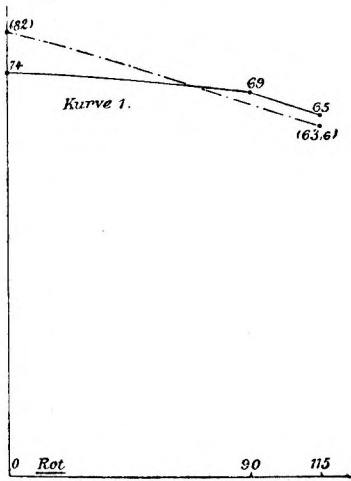


Fig. 7.

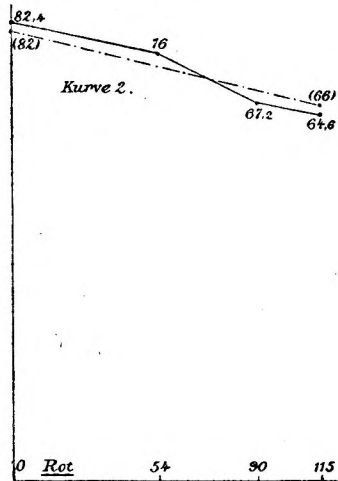


Fig. 8.

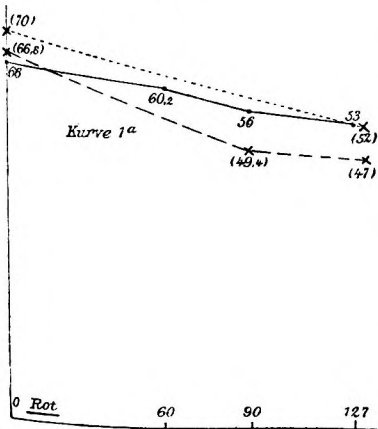
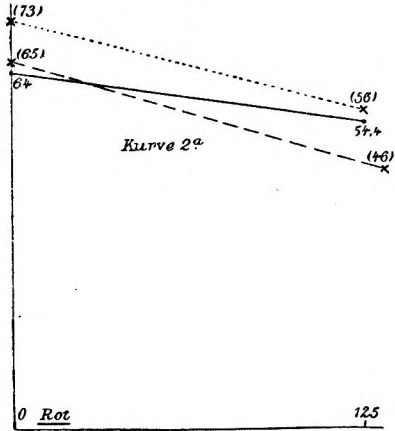


Fig. 9.



Die beste Uebersicht ist natürlich aus den beigegeführten Curven zu gewinnen, in denen verschiedene Werthe für reciproke Ausdehnungs-

verhältnisse (Curve 1 und 2) bezw. eigene und fremde Werthe für ein bestimmtes Verhältniss (1 a und 2 a) zusammengestellt sind. Eigentlich gehören ja die Curven für die gleiche Fixationszeit auf ein Bild, was nur um der Deutlichkeit der Zahlen willen vermieden wurde. Die weitgehende Uebereinstimmung entsprechender Werthe ist ohnehin deutlich genug zu ersehen. Offenbar ist die Variation der Ausdehnungsverhältnisse innerhalb dieses Umfanges ohne sichtbaren Einfluss auf die wesentliche Form der früher gefundenen Abhängigkeitsbeziehung. Ueberall findet man den Grünwerth um ein annähernd constantes Maß höher als den Rothwerth. Die Curven zeigen alle die nämliche Neigung zur Abscissenachse. Aber auch die absoluten Werthe bleiben überall die nämlichen. Doch könnte man vielleicht immer noch meinen, dass eine thatsächliche Wirkung der Ausdehnungsveränderung dadurch nicht zur Geltung käme, dass nicht Grau, sondern die vollgesättigte Complementärfarbe neben der Farbe fixirt worden sei. Es könne also durch die Steigerung der subjectiven Verschiebung in der einen Richtung die Herabsetzung der Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung auf der benachbarten Fläche compensirt werden. Außerdem ist natürlich das Ausdehnungsverhältniss hier immer noch in beschränktem Umfange variirt worden. Die Hauptfläche bildete das Schwarz der Umgebung des ganzen Transparentringes, der in seiner Gesamtausdehnung dem Schwarz gegenüber niemals verändert wurde, während doch die eine Farbe zur höchsten Steigerung ihres Einflusses selbst die ganze Umgebung ausfüllen müsste. Letztere Forderung war natürlich nur mit der Projectionsanordnung zu erfüllen, wobei dann zugleich die Combination der Farbe mit Grau hinzugenommen wurde. Dabei kam die exacteste Art der Messung mit plötzlicher mechanischer Einstellung (III, 2, S. 341) zur Anwendung, um allen Einwänden rein empirisch zu begegnen, die auf die Uncontrolirbarkeiten im Rückgang der Nachbildwirkung (vergl. Cap. IV) in der Selbsteinstellung verweisen könnten und später ausführlich zu behandeln sind. Ueberall wurden für jede Zahl 8 bis 14 plötzliche Einzel-Einstellungen mit fortschreitender Aenderung vorgenommen, um den Messungen die hinreichende Sicherheit zu verleihen.

Es wurden die Nachbilder entwickelt durch die Bilder:



- I. 1) Grauer Streifen auf rothem Grund,  
 2) Rother Streifen auf grauem Grund,  
 3) Roth neben Grau je zur Hälfte des Sehfeldes.
- II. 1) Grauer Streifen auf grünem Grund,  
 2) Grüner Streifen auf grauem Grund,  
 3) Grün neben Grau je zur Hälfte des Sehfeldes.
- III. 1) Grüner Streifen auf rothem Grund,  
 2) Grün neben Roth je zur Hälfte des Sehfeldes.

Die Intensität der beiden Farben war hier nicht so übereinstimmend, wie bei den bisherigen Versuchen. Wie schon erwähnt, war ja eine markantere Steigung des Nachbildwerthes nach der einen oder der anderen Farbe hin, ebenso wie die Herabsetzung derselben durch eine Intensitätsvariation der fixirten Farben zu erwarten. Ohne den späteren Ausführungen über die Complication des Helligkeits- mit dem Farbennachbilde vorzugreifen, sei nur hier betont, dass bei dem hier verwendeten Verhältniss der Helligkeiten des Grün und des Roth wie 9 : 7 eine Einstellung auf vollständige subjective Gleichheit in den verschiedenen Reactionsstufen möglich war. Die größere Differenz der Werthe bei Roth und Grün hätte um so mehr Anhaltspunkte zur Beobachtung eines etwaigen Einflusses der Ausdehnungsverhältnisse gegeben. Es wurden überall nur die beiden Endpunkte der Curve untersucht. Eine Mischung beider Gelatine zu gleichen Theilen ergab ein ziemlich indifferentes Grau, das Spektrum von Grün war = 1. Grün, dasjenige des Roth zwischen 1. Roth und 2. Roth. Die von den festen Episkotistern übrig gelassene Gesamtintensität betrug wieder überall 180°. Roth und Grün neben Grau je zur Hälfte des Sehfeldes (I, 3 und II, 3) kamen als Zwischenstufe der extremen Ausdehnungsverhältnisse nur zur Controle so weit in Betracht, als die Messung mit den nämlichen Scheiben wie für die anderen Nachbilder und Reactionsstufen durch verschiedene Anfangslagen der Scheiben auf dem Apparat ausgeführt werden konnte. Der andersfarbige bzw. graue Streifen besaß auf der Scheibe selbst eine Breite von nur 0,4 cm, die in der Projection bei sorgfältiger Centrirung der Scheiben einen Streifen von ca. 10 cm Breite ergab. Das übrige Feld umschloss diesen senkrechten Streifen als ein Kreis von ca. 1,75 m Durchmesser. Der Fixationspunkt lag jederzeit auf der Farbengrenze.

## Tabelle IX. I. Nachbild von Roth neben Grau.

Helligkeit des Grün = 120° Grün + 240° S = 36° W + 324° S. Helligkeit des Roth = 120° Roth + 240° S = 28° W + 332° S.  
 Fixationszeit 5". Plötzliche mechanische Einstellung.

Bezeichnung des Ausdehnungsverhältnisses	1) Grauer Streifen auf rothem Grunde		2) Rother Streifen auf grauem Grunde		3) Rothneb. Grau jez. Hälfted. Feldes
	Farbe d. ursprüngl. grauen Fläche b. Gleichheitseinstellung	0° R + 180° Grün + 180° S	136° R + 44° Grün + 180° S	0° R + 180° Grün + 180° S	
Differenz von der ursprüngl. rothen Fläche als Maß	ca. 58°	ca. 44°	ca. 56°	ca. 46°	ca. 36°

## II. Nachbild von Grün neben Grau.

Fixationszeit 5". Plötzliche mechanische Einstellung.

Bezeichnung des Ausdehnungsverhältnisses	1) Grauer Streifen auf grünem Grunde		2) Grüner Streifen auf grauem Grunde		3) Grün neben Grau jez. Hälfted. Feldes
	Farbe d. ursprüngl. grauen Fläche b. Gleichheitseinstellung	56° R + 124° Grün + 180° S	180° R + 0° Grün + 180° S	59° R + 121° Grün + 180° S	
Differenz von der ursprüngl. grünen Fläche als Maß	ca. 56°	ca. 36°	ca. 59°	ca. 34°	ca. 58°

## III. Nachbild von Grün neben Roth.

Fixationszeit 5". Plötzliche mechanische Einstellung.

Bezeichnung des Ausdehnungsverhältnisses	1) Grüner Streifen auf rothem Grunde		2) Grün neben Roth je zur Hälfte des Feldes	
	Farbe der ursprünglich grünen Fläche	100° R + 80° Grün + 180° S	180° R + 0° Grün + 180° S	98° R + 82° Grün + 180° S
Differenz von der ursprüngl. rothen Fläche als Maß	ca. 100°	ca. 60°	ca. 98°	ca. 60°

Auch hier, bei der exactesten Anordnung, ist also ein Einfluss der Vertauschung der Nachbarfarben hinsichtlich ihrer Ausdehnungsverhältnisse nicht zu erkennen. Eine graphische Darstellung der Resultate ist bei der Uebersichtlichkeit dieser Tabellen, in denen ja immer nur 2 Punkte einander gegenüberstehen, wohl überflüssig. Ein Versuch, die geringen Abweichungen von der Constanz bei gleicher Reactionsfarbe zu deuten, wäre vorläufig ziemlich haltlos. Auffällig ist höchstens der geringere Werth, der sich in I, 3 ergeben hat. Bei Beziehung auf die nämlichen reagirenden Farben wie in I, 1 und 2 nimmt jedoch diese Differenz von 8 bis 10° noch um etwas ab. Außerdem stehen aber die völlig mit den anderen Werthen ihrer Gruppe übereinstimmenden Werthe von II, 3 und III, 2, in denen das nämliche Ausdehnungsverhältniss wie bei I, 3 vorlag, einer allgemeinen Verwerthung jener Abweichung für Schlüsse auf den Einfluss der Ausdehnungsverhältnisse direct entgegen. Beiläufig zeigt ein Vergleich der Summe der Werthe von Grün neben Grau und von Grau neben Roth mit dem Werthe von Grün neben Roth eine gute Uebereinstimmung; allerdings fällt die Summe, insbesondere bei Berücksichtigung der Reduction auf entsprechende Reactionsstufen, etwas zu groß aus, eine Thatsache, die aber bereits aus der Addition von Helligkeitsnachbildern, die aus einer oberen und unteren Helligkeitsdifferenz gewonnen wurden, hinreichend bekannt ist.

Anmerkung. In den bisherigen Versuchen war nur das Ausdehnungsverhältniss der Farben, nicht die Lage der Farbengrenze innerhalb des Sehfeldes variirt worden, da der Fixationspunkt immer auf der Grenze lag. Wie schon erwähnt, wurde in mehreren Vorversuchen mit farbigen Papierscheiben (bei Tageslicht) der Mittelpunkt der Scheibe als Fixationspunkt gewählt, also das Centrum der einen von beiden Contrastfarben, während die andere auf einem Kreisringe in der Peripherie, bezw. in der ganzen Umgebung lag. Dadurch wird natürlich nicht nur der Farbenton der einen Farbe ein anderer, was bei der Continuität der Aenderung nach außen hin in einer Gleichheitseinstellung nicht so sehr ins Gewicht fiel, sondern es ist auch die ganze Ablaufsweise der Erregbarkeitsveränderung in den beiden Bezirken verschieden. Die auch sonst bekannte Thatsache, dass das Nachbild in der Peripherie schneller entsteht und auch wieder vergeht<sup>1)</sup>, wird bei den an sich schon schneller verlaufenden Farbennachbildern in der Messung durch Selbsteinstellung eine viel größere Bedeutung gewinnen als bei Helligkeitsnachbildern. Hierauf dürfte vielleicht die thatsächlich beobachtete Regel zurückzuführen sein, dass unter den angegebenen

1) Vergl. auch A. Walther, Beobachtungen über den Verlauf centraler und extramacularer Nachbilder. Pflüger's Archiv LXXVII, S. 53. 1899.

Bedingungen die in der Peripherie fixirte Farbe auch als reagirende Farbe den größten Nachbildwerth liefert. Lag z. B. Roth in der Peripherie, Grau im Centrum, so wird während der Einstellung auf Roth die periphere Nachbildwirkung noch etwas zunehmen können, während sie im Centrum nicht so schnell als Compensation nachkommt. Bei der Projection auf Grau hingegen wird die periphere Wirkung schnell herabsinken, während natürlich im Centrum keine neue Wirkung entsteht. Umgekehrt wird, nach Fixation von Roth im Centrum, bei der Projection auf Roth sehr schnell eine gleichgerichtete Nachbildwirkung in der Peripherie beginnen, welche die Differenz zwischen den Nachbarflächen herabsetzt. Im übrigen sieht man aber bei Vergleichung entsprechender Lageverhältnisse immer wieder den Reactionswerth von Blau gegenüber von Roth bevorzugt<sup>1)</sup>, z. B. bei Vergleichung von I und III, II und IV, vor allem aber von V und VI.

### Tabelle X.

Fig. 10, I. 180° Roth + 180° Grau im Centrum 8" fixirt.  
Helligkeit des Roth: 47,6. Helligkeit des Grau: 52,1.

Farbe d. ursprüngl. grauen Peripherie	0° R + 360° G	90° R + 270° G	210° R + 150° G	335° R + 25° G
Differenz vom Centrum als Maß	<b>66°</b> (m. V. 4,6°)	<b>38°</b> (m. V. 1,3°)	<b>18,5°</b> (m. V. 5,5°)	<b>5,4°</b> (m. V. 2,2°)

Fig. 10, II. 180° R + 180° G in der Peripherie 8" fixirt.

Farbe der Peripherie	45° R + Grau	60° R	94° R	180° R	270° R	360° R
Differenz	<b>43,5°</b> (m.V.0,5°)	<b>44,4°</b> (m.V.2,2°)	<b>50,3°</b> (m.V.1,4°)	<b>57,8°</b> (m.V.4,9°)	<b>64°</b> (m.V.7,1°)	<b>75,4°</b> (m.V.4,3°)

Fig. 11, I. 180° Blau + 180° Grau im Centrum 8" fixirt.  
Helligkeit des Blau = 50. Helligkeit des Grau = 52,1.

Farbe d. Peripherie	0° B + 360° G	180° B	270° B
Differenz	<b>77,5°</b> (m. V. 6,8°)	<b>53,8°</b> (m. V. 5,6°)	<b>32°</b> (m. V. 5°)

Fig. 11, II. 180° Blau + 180° Grau in der Peripherie 8" fixirt.  
Helligkeit des Blau = 40.

Farbe der Peripherie	60° B + 300° G	125° B	180° B	270° B	360° B
Differenz	<b>29,4°</b> (m. V. 2,4°)	<b>34°</b> (m.V.5,2°)	<b>50,3°</b> (m.V.4,7°)	<b>69°</b> (m.V.7,2°)	<b>73°</b> (m. V. 3°)

1) Indessen kann die allgemeine Adaptation (Tageslicht) gegenüber der Adaptation der bisherigen Versuche (mittelhelles künstliches Licht) unter Umständen eine unmittelbare Angleichung an diese speciellen Ergebnisse erschweren.

Fig. 12, I. 315° Blau + 45° Roth (Himmelblau u. Fuchsinroth) im Centrum bei grauer Umgebung 8'' fixirt.

Helligkeit des Blau = des Roth = 47,6. Helligkeit des Grau = 52.

Farbe der Peripherie	0° B + 360° R	90° B + 270° R	180° B + 180° R	270° B + 90° R
Differenz	53° (m. V. 2,6°)	45° (m. V. 3,3°)	35° (m. V. 0,5°)	22° (m. V. 2°)

Fig. 12, II. 325° Roth + 35° Blau im Centrum in grauer Umgebung 8'' fixirt. Alles übrige wie bei 12, II.

Farbe der Peripherie	+ 30° B + 330° R	+ 90° B + 270° R	+ 180° B + 180° R	+ 270° B + 90° R	360° B
Differenz	15,3° (m.V.0,5°)	25° (m.V.∠0,5°)	36,7° (m. V. 0,3°)	67° (m. V. 2,6°)	94° (m.V.3,5°)

Im allgemeinen stehen natürlich alle diese Versuche als Vergleichen von Centrum und Peripherie mit gleichzeitiger Selbsteinstellung unter Voraussetzung einer gleichen Versuchszahl nicht auf der nämlichen Höhe der Genauigkeit wie die übrigen Versuche. Unter Umständen machen sich auch sekundäre Ausgleichsvorgänge (vgl. Cap. 1, S. 326) noch schädlicher geltend wie sonst bei den Selbsteinstellungen.

Zum Schlusse dieses Abschnittes sei noch die Versuchsreihe erwähnt, die zur Nachholung der

Fig. 10.

Bei I liegt die Farbe ursprüngl. im Centrum, das Grau in der Peripherie.

Bei II liegt die Farbe ursprüngl. in der Peripherie, das Grau im Centrum.

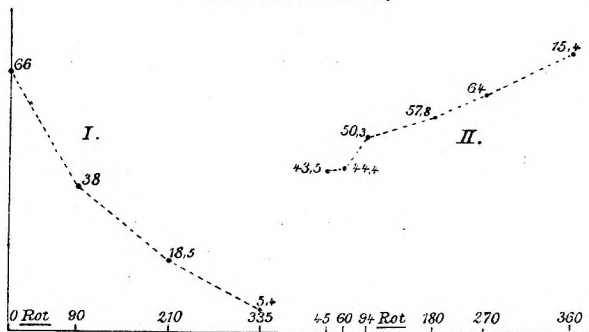
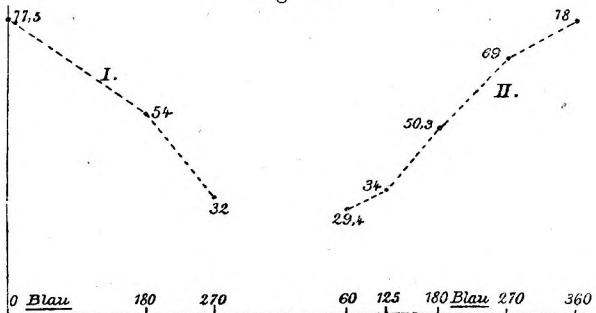
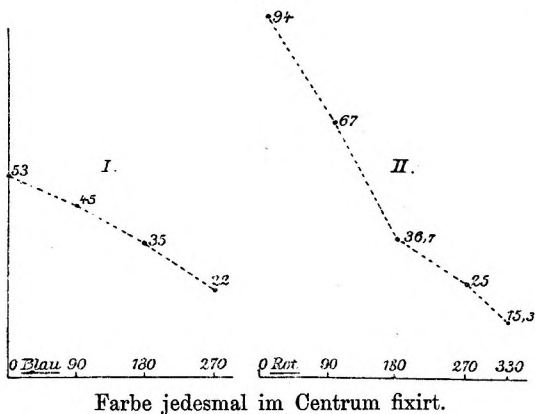


Fig. 11.



gleichen Untersuchungen über den Einfluss der Ausdehnungsverhältnisse auf die Helligkeitsnachbilder gewonnen wurde. Gerade bei den Helligkeitsnachbildern ist ja in der bekannten Thatsache

Fig. 12.



des »Lichthofes« ein Einfluss der Ausdehnungsverhältnisse wenigstens auf die absolute Größe bei reagirender geringerer Helligkeit anscheinend unmittelbar zu sehen, wenn auch ohne Ausgleich immer noch die simultanen Contrasteeinflüsse mit ihrer Abhängigkeit von der Ausdehnung der Fläche

hinzutreten. Der Nachweis einer Unabhängigkeit der Werthe des reinen Farbenachbildes würde ja über die Verhältnisse des Nachbildes auf Grund von Intensitätsdifferenzen noch nichts entscheiden. Mit der Scheibenanordnung III, 3, S. 344 f. (Abbildung Taf. III, 4a und b) wurde das Nachbild eines ca. 6 cm breiten weißen Streifens auf schwarzem Grunde, auf 1 m Distanz fixirt, mit einem solchen eines ebenso breiten schwarzen Streifens auf weißem Grunde bei zwei reagirenden Helligkeitsstufen verglichen.

Tabelle XI.

Bezeichnung des Ausdehnungsverhältnisses	Weißer Streifen auf schwarzem Grunde 5" fix.		Schwarzer Streifen auf weißem Grunde 5" fixirt	
	Helligkeit der urspr. weißen Fläche	1° W + 359° S	100° W + 260° S	2,7° W + 357,3° S
Differenz v. d. Nachbarfläche a. Ma ß d. Nachb.	1° (m. V. < 0,5°)	35° (m. V. 1,8°)	2,7° (m. V. < 0,5°)	41° (m. V. 1,2°)

Thatsächlich scheint also hier bei der zweiten Anordnung mit dem schwarzen Strich auf weißem Grunde eine Vergrößerung des absoluten Nachbildwerthes vorhanden zu sein. Allerdings wird die

Neigung der Curve dadurch nicht sehr verändert, es scheint vielmehr ein wenig variabler Werth in allen Reactionslagen hinzuaddirt. Auch das positive Nachbild wird ja besonders bei der ersten Reihe compensirend auftreten können. Im übrigen ist Aehnliches ja auch schon bei dem reinen Helligkeitsnachbild gefunden worden (vergl. Bd. XVI, S. 526), wo die beiden Hauptreihen mit schwarzer Scheibe auf grauem Grunde und weißer Scheibe auf grauem Grunde eine ähnliche Variation der Ausdehnungsverhältnisse der helleren und dunkleren Fläche bedeuteten. Eine Veränderung der Richtung des Ansteigens der Nachbildwerthe ist aber natürlich hier noch viel weniger als bei den Farbennachbildern von den Veränderungen der Ausdehnungsverhältnisse zu erwarten, und gerade auf diese Neigungsrichtung bezog sich ja die Frage, deren Beantwortung hier nach zum mindesten von solchen Factoren unabhängig erscheinen dürfte.

### Fünftes Capitel.

#### Der Rückgang des Farbennachbildes auf verschiedenen Farbenflächen.

Die bisherigen Resultate sind nicht durchweg bloß nach der Methode der Selbsteinstellung gewonnen, sondern mitunter (Tab. XI) auch bereits mit plötzlichen, exact ausgelösten Einstellungen sogleich nach Schluss der festgesetzten Entstehungszeit. Insbesondere kann also die vom reagirenden Farbenton abhängige Größe der bisher gefundenen Werthe nicht mehr dadurch zu erklären versucht werden, dass ein verschiedener Verlauf der Nachbildwirkung auf den verschiedenen Reactionsflächen während der unvermeidlichen Dauer einer Selbsteinstellung dafür verantwortlich gemacht wird. Auch bei der plötzlichen Einstellung hat sich ja mit Sicherheit der Vorzug des Grün gegenüber dem Roth ergeben. Indessen ist die Brauchbarkeit der Werthe nach der Selbsteinstellung für unsere Frage ganz im allgemeinen erst dann erwiesen, wenn der thatsächliche und unvermeidliche Rückgang des Farbennachbildes die nämliche Abhängigkeit von der reagirenden Farbe besitzt, wie sie früher beim Helligkeitsnachbilde als Bedingung für die ungefähre Proportionalität der Werthe nach der Selbsteinstellung mit den ursprünglichen Werthen

gefordert und thatsächlich aufgefunden wurde<sup>1)</sup>. Es ergab sich nämlich, dass der Verlust der Wirkung bei längerer Projection auf einer bestimmten Helligkeitsstufe dem Nachbildwerthe dieser Stufe ungefähr direct proportional ist. Da aber nun bei der Selbsteinstellung auf den verschiedenen Reactionsstufen eine entsprechend große objective Differenz fortgesetzt noch dem Rückgange entgegenwirkt, so wird diese verschieden starke Gegenwirkung durch die entsprechenden Unterschiede in der Schnelligkeit des Rückganges jeweils ungefähr ausgeglichen, und es ist schließlich so, als ob in der annähernd constanten Zeit der Selbsteinstellung immer die nämliche Reactionsstufe mit einem constanten Reductionsfactor bis zur Vollendung vorhanden gewesen wäre. Nur das Experiment kann natürlich wieder entscheiden, ob für das Farbnachbild, bei dem diese Frage wegen seines rascheren Verlaufes um so größere Wichtigkeit besitzt, die nämliche Beziehung zwischen Reductionsfactor und reagirender Fläche obwaltet. Abgesehen von der speciellen Frage für die Methode der Selbsteinstellung besitzt ja diese Untersuchung über die Erholung von Nachbildwirkungen unter verschiedenen Bedingungen auch an sich Interesse genug.

So wurde denn zunächst die ungefähre Form der Curve für verschiedene Reactionsfarben während der Erholungszeit nach der genauesten Methode mit mechanischen Auslösungsvorrichtungen (Cap. 2, Anordnung III, 5, S. 350) geprüft. Dabei wurde das Nachbild von Roth neben Grün von Tab. IX, III, 1, S. 376 auch weiterhin verworther, für welches dort schon die beiden Werthe für Roth und für Grün mit der plötzlichen mechanischen Einstellung, also für den ersten Moment nach Entstehung des Nachbildes, gewonnen wurden. Die Erholungszeit betrug in dieser Gruppe ein Drittel, zwei Drittel und das Ganze der Entstehungszeit  $T = 5$  Sec. Da die beiden verwendbaren Scheiben für die Projectionen auf Roth und auf Grün bei der Gesamtintensität von  $180^\circ$  keinen Platz für die Ausführung der Erholung auf der einen Farbe mit darauffolgender Messung auf der anderen Farbe übrig hatten, so kommt in dieser Gruppe immer nur die Erholungsfarbe zugleich als reagirende Farbe zur Anwendung.

---

1) Bd. XVI, S. 528 ff.



Tabelle XII. Rückgang des Nachbildes von Roth neben Grün je nach seiner Projection auf Roth oder Grün (Fig. 13).

Mechanische, plötzliche Einstellung nach Anordnung III, 5, S. 350.

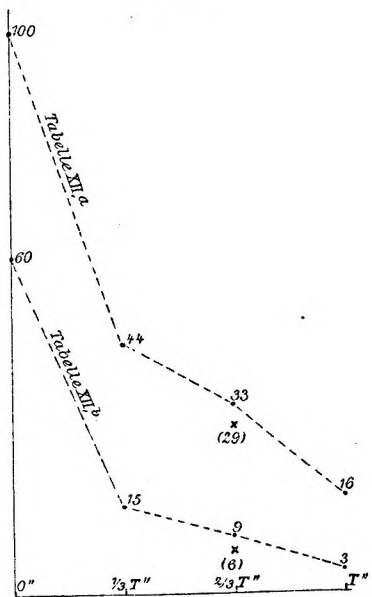
Alles übrige (Helligkeit und Spectrum) wie bei Tabelle IX.

180° Roth + 180° S neben 180° Grün + 180° S 5 Sec. fixirt, darauf plötzliche Einstellung auf objectiv gleiches Grün oder Roth. Nach der Erholungszeit Messung auf Grün bezw. Roth.

Zeit der Erholung	0" (Pl.Einst.)	5/3" = 1/3 T	10/3" = 2/3 T	5" = T
Maß d. Nachbildwerthes nach Erholung auf Grün (XII, a)	auf Grün = ca. 100°	auf Grün = ca. 44°	auf Grün = ca. 33° [K. ca. 29°]	auf Grün = ca. 16°
Maß d. Nachbildes nach der Erholung auf Roth (XII, b)	auf Roth = ca. 60°	auf Roth = ca. 15°	auf Roth = ca. 9° [D. ca. 6°]	auf Roth = ca. 3°

In den beigefügten Curven entspricht also der Ast XIIa der Erholung auf Grün mit darauffolgender Messung auf Grün, während XII b die Erholung auf Roth mit darauffolgender Messung auf Roth zeigt. Beide Curvenzüge bestätigen die schon für die Helligkeitsnachbilder bekannte Thatsache auch für die Farbnachbilder, dass nämlich auf einen anfangs steileren Abfall späterhin ein immer langsamerer folgt. Außerdem scheint das relative Maß für die niedrigeren Werthe (auf Roth, XIIb) viel schneller zu sinken als die höheren (auf Grün, XIIa), insofern die absolute Differenz zwischen beiden Curvenästen fast überall constant bleibt und der Werth für Roth schon auf 1/20 gesunken ist, wo derjenige für Grün noch 1/6 beträgt. Doch würde der Schluss voreilig sein, der hieraus einen schnelleren Rückgang auf Roth ableiten wollte, da hierzu erst die Messung auf Roth nach Erholung auf Grün bezw. die Messung auf Grün nach

Fig 13.



Erholung auf Roth zum Vergleich vorliegen müsste, die erst später abgeleitet werden. Wie sich aus den späteren Versuchen ergeben wird, entsprechen vielmehr die Curven für den Rückgang verschiedener Anfangswerthe unter gleichen Erholungsbedingungen keineswegs einem proportionalen Abstrich der verschiedenen Werthe, es ergibt sich viel eher eine Annäherung an mehrere in verschiedenen Höhen und in bestimmter Neigung zur Abscissenachse parallel laufende Linien. Daher ist die größere Annäherung von Curve *a* und *b* in den späteren Stadien thatsächlich eher ein Ausdruck für einen relativ rascheren Rückgang der Wirkung bei Erholung auf Grün.

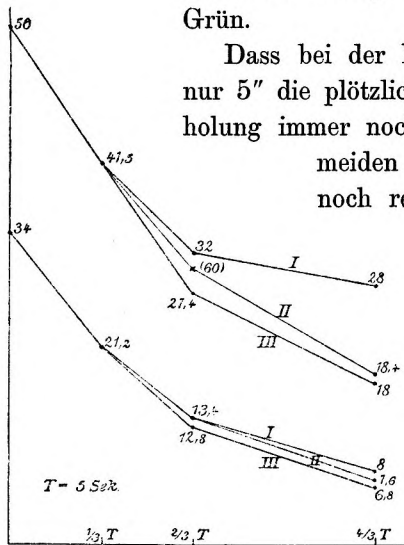


Fig. 14.

$T = 5$  Sec. war Fixationszeit zur Entstehung des Nachbildes.

Dass bei der hier verwendeten Erholungszeit bis nur 5" die plötzliche Einstellung auch nach der Erholung immer noch bedeutende Reductionsfehler vermeiden lässt, ist aus dem in allen Punkten noch relativ steilen Abfall der Curve ersichtlich.

Je länger aber die Erholungszeit währt, um so weniger geht nach derselben noch durch den Zeitfehler der Selbsteinstellung verloren. In den folgenden Versuchen ist daher bei entsprechend längeren Erholungszeiten wieder diese letztere Methode angewendet, um dafür nicht nur die reagirende Farbe für die Erholung, sondern auch die Reactionsstufe für die Messung nach der Erholung beliebig auszuwählen.

Diese beliebige Wahl der schließlich reagirenden Farbe war ja bei den Scheiben mit Sextanteneintheilung in der früher (S. 351 f.) beschriebenen Weise leicht möglich. Dabei konnte auch jede beliebige Mischung von Roth und Grün bzw. Blau und Gelb, z. B. ein Grau zu je gleichen Theilen, als Erholungsfarbe dienen. Alles Weitere ist unmittelbar aus Tab. XIII und der zugehörigen Curve (zu XIII, 1) zu ersehen.

Aus Tabelle und Curve XIII, 1 ergibt sich also, dass thatsächlich dem geringeren Werthe auf einer Reactionsstufe auch eine

Tabelle XIII.

1) 120° Roth + 240° S neben 120° Grün + 240° S 5" fixirt.

Helligkeit des Roth: 120° Roth = 30° W. Spectrum = 1. Roth.

» » Grün: 120° Grün = 36° W. » = 1. Grün.

Hierzu die Curve S. 384.

Plötzliche Einstellung sofort n. d. Entstehung	Messung auf Roth		Messung auf Grün			
	ca. 34° [D. ca. 34°]		ca. 56° [D. ca. 52°]			
Gewöhnliche Selbsteinstellung s. n. d. Entstehung	21,2° (m. V. 1°)		41° (m. V. 1°)			
Bezeichnung d. Erholungsfarbe	Erholung auf Roth		Erholung auf Grau		Erholung auf Grün	
	Roth	Grün	Roth	Grün	Roth	Grün
Reagirende Farbe zur Messung nach der Erholung						
Selbsteinstellung n. 2/3 T = 10/3 Sec.	12,8° (m.V.2,4°)	32° (m.V.1,0°)	13,4° (m.V.0,6°) [K. 14]	22°? [K. 30°]	12,8°	27,4° (m.V.1,4°)
Selbsteinstellung n. 4/3 T = 20/3 Sec.	8° (m.V.1,2°)	28° (m. V. 2°)	7,6° (m. V. 2°)	18,4° (m.V.1,4°)	6,8° (m.V.0,6°)	18° (m. V. 1°)

2) 120° Gelb + 240° S neben 120° Blau + 240° S 5" fixirt.

Helligkeit des Blau: 120° Blau = 20,5° W. Spectrum = 2. Blau.

» » Gelb: 120° Gelb = 60,5° W. » = 1. Gelb.

Gewöhnliche Selbsteinstellung n. d. Entstehung	Messung auf Gelb		Messung auf Blau			
	49° (m. V. 1°)		20,2° (m. V. 1°)			
Bezeichnung d. Erholungsfarbe und der Farbe bei der Messung	Erholung auf Gelb		Erholung auf Grau		Erholung auf Blau	
	Gelb	Blau	Gelb	Blau	Gelb	Blau
Selbsteinstellung n. 4/3 T = 20/3 Sec.	19,2° (m. V. 1°)	9,6° (m.V.1,8°) [K. 12,8°]	24,6° (m.V.1,4°)	8,2° (m. V. 1°) [K. 7,6°]	32,2° (m. V. 1°)	8° (m.V.0,8°) [K. 9°]

3) 120° Roth + 240° S neben 120° Blau + 240° S 5'' fixirt.  
 Helligkeit des Roth: 120° R = 22° W. Spectrum = 2. Roth.  
 » » Blau: 120° B = 27° W. » = 1. Blau.

Gewöhnliche Selbsteinstellung nach der Entstehung	Messung auf Roth <b>20,6°</b> (m. V. 2,6°)		Messung auf Blau <b>28,4°</b> (m. V. 2,4°)	
Bezeichnung d. Erholungs- farbe u. d. Farbe d. Messung	Erholung auf Roth		Erholung auf Blau	
	Roth	Blau	Roth	Blau
Selbsteinstellung nach $\frac{2}{3} T = \frac{10}{3} \text{Sec.}$	<b>15,8°</b> (m. V. 1,2°)	<b>19,6°</b> (m. V. 1°)	<b>16,2°</b> (m. V. 2,4°)	<b>18,6°</b> (m. V. 1°)

größere conservirende Wirkung für den Process überhaupt entspricht. Gleichzeitig zeigt sich hier der annähernd parallele Verlauf mit einer geringen allmählichen Annäherung der Zweige, die den nämlichen Erholungsfarben entsprechen, wie in Tab. XII, nämlich III aus dem oberen Bündel und I aus dem unteren. Die günstigste Bedingung ist für die Erholung auf Roth und darauffolgende Projection auf Grün gegeben, die ungünstigste bei Vertauschung der beiden Farben hinsichtlich ihrer Rollen.

Bei Tab. XIII, 2 ist bereits eine Combination von Helligkeits- und Farbennachbild verwendet, wie sie in ihrem allgemeinen Charakter erst im nächsten Abschnitt zu besprechen ist. Eine hier, sowie in Tab. XIII, 3 beobachtete Abweichung von der oben erwähnten Regel, dass die Projection auf die niedrigere Reactionsstufe conservirender wirke, lässt sich allerdings nicht recht unterbringen. Sie zeigt sich ja ohnehin nur bei den niedrigeren Werthen, die eine Differenz überhaupt nicht so ausgesprochen zur Geltung kommen lassen und durch zufällige Variationen in der einen oder anderen Richtung leicht das Gegentheil der thatsächlichen Gesetzmäßigkeiten vortäuschen können. Ich würde auf sie allein zunächst keine Ausnahme von jener Regel gründen. Zum mindesten würde eine solche mit dem hier vor allem in Frage stehenden Gegensatz der Werthunterschiede für Grün und Blau einerseits, Roth und Gelb andererseits nichts zu thun haben, da in 2) Blau, in 3) hingegen Roth die niedrigere Reactionsstufe ausmacht, die beide Male jene Regel nicht zum Ausdruck kommen lässt. Da jedoch bei der früheren Ableitung der entsprechenden Regel für die Helligkeitsnachbilder immer nur eine relativ hohe Reactionsstufe zur schließlichen Messung verwendet

worden war, so wollte ich doch nachprüfen, ob sich etwa auch hier eine solche Abweichung bei der schließlichen Messung auf einer niedrigeren Reactionsstufe ergebe. Es wurde also ein Nachbild von Weiß neben Schwarz nach Erholung auf verschiedenen Helligkeitsstufen auf einem dunkleren Grau gemessen.

Tabelle XIIIa.

120° Weiß + 240° S neben Schwarz 5" fixirt.

Messung auf Grau = 30° W + 330° S.

Selbsteinstellung ohne Erholung	Erholung auf Schwarz in $T = 5''$	Erholung auf Weiß in $T = 5''$
18,2° (m. V. 0,8°)	18° (m. V. 1°)	3° (m. V. 0,8°)

Hieraus ist also mit aller Deutlichkeit zu ersehen, dass auch die Messung auf Dunkelgrau die schon früher abgeleitete Regel bestätigen lässt. Somit dürften auch bei den Farbennachbildern die Messungen von Tab. XIII, 1 und die sonstigen Reactionen der höheren Stufe in 2) und 3) als der Ausdruck des thatsächlichen Verhältnisses zu betrachten sein.

### Sechstes Capitel.

#### Die Combination von Helligkeits- und Farbennachbild.

Nach dieser Sicherstellung der bisherigen Methode und Resultate in verschiedener Hinsicht sollen hier noch kurz die Untersuchungen über die schon mehrfach erwähnte Frage mitgetheilt werden, inwieweit eine Combination von Helligkeits- und Farbennachbild mit diesen einfachen Mitteln noch zu messen sein wird (Cap. 1, III, 1, S. 325). Nach den ehemaligen Ergebnissen über den Vergleich farbiger und farbloser Helligkeitsnachbilder ist nach der Fixation jeder farbigen oder farblosen Helligkeitsdifferenz immer eine ganz bestimmte objective Helligkeitsdifferenz (die einer und der nämlichen farblosen Helligkeitsdifferenz äquivalent sein muss), zur Herstellung subjectiver Gleichheit nothwendig. Diese Versuche werden hier also eine Erweiterung erfahren, insofern die Ausgleichung des Nachbildes von Farben verschiedener Intensität mit den entsprechenden

Ausgleichungen farbloser Helligkeitsnachbilder verglichen werden sollen, um eine etwaige Scheidung von Helligkeits- und Farbnachbild zu controliren. Nur liegt eben hier überall der Schwerpunkt darauf, ob eine thatsächliche Erreichung völliger subjectiver Gleichheit, also auch Farbgleichheit, beim combinirten Farben- und Helligkeitsnachbild diesen farblosen Werthen des reinen Helligkeitsnachbildes hinsichtlich des Helligkeitwerthes entspreche.

Wenn man nun bloß auf solche farbigen Intensitätsdifferenzen Rücksicht nimmt, bei denen die beiden Farben trotz ihrer extremeren Helligkeitsstufen noch eine hinreichende Sättigung besitzen und ein kräftiges Farbnachbild liefern, so ergibt sich thatsächlich eine ganz bestimmte Einstellung bei vollständiger subjectiver Gleichheit hinsichtlich der Farbe und Helligkeit, bei der zugleich die nämliche objective Helligkeitsdifferenz wie zur Ausgleichung eines entsprechenden farblosen Helligkeitsnachbildes vorhanden ist. Dies zeigen die folgenden Beispiele.

Tabelle XIV.

## 1) Nachbild von Hellroth neben Dunkelgrün.

a) 120° Hellroth + 240° S neben 120° Dunkelgrün + 240° S 5" fixirt.

Helligkeit des Roth: 120° R = 42° W. Spectrum = 1. Roth.

, , Grün: 120° G = 10° W. , = 2. Grün.

Farbe der ursprünglich rothen Fläche	19,4° R + 100,6° Gr + 240° S	120° R + 240° S
Differenz v. d. ursprüngl. grauen Fläche als Maß	19,4° (m. V. 0,6°)	48,4° (m. V. 1°)

b) Hellgrau (42° Weiß + 318° S) neben Dunkelgrau (10° Weiß + 350° S) 5" fixirt.  
(Messung des farblosen Helligkeitsnachbildes.)

Helligkeit der ursprüngl. hellgrauen Fläche	14,7° W + 345,3° S	55° W + 305° S
Differenz v. d. Nachbarfläche als Maß des Nachbildes	4,7° (m. V. 0,6°)	13° (m. V. 1,8°)
Die Differenz von 1a in ihrem Helligkeitwerth berechnet	5°	13,2°

2. Nachbild von Hellgelb neben Dunkelblau.

- a) 120° Hellgelb + 240° S neben 120° Dunkelblau + 240° S 5'' fixirt.  
 Helligkeit des Gelb: 120° Ge = 69° W. Spectrum: 1. Gelb.  
 > > Blau: 120° B = 12° W. > : 2. Blau.

Farbe der ursprünglich gelben Fläche	12,8° Ge + 107,2° B + 240° S	120° Ge + 240° S
Differenz von der Nachbarfläche als Maß d. Nachbildes	12,8° (m. V. 1,6°)	44° (m. V. 2°)

- b) Hellgrau (69° W + 291° S) neben Dunkelgrau (12° W + 348° S) 5'' fixirt.

Helligkeit der ursprüngl. hellgrauen Fläche	18,6° W + 341,4° S	89,6° W + 270,4° S
Differenz als Maß des Nachbildes	6,6° (m. V. 0,6°)	20,6 (m. V. 0,8°)
Die Differenz von 2a in ihrem Helligkeitswerth berechnet	6,2°	20,8°

Die Uebereinstimmung der berechneten und der thatsächlich gemessenen Werthe mit ihren geringen mittleren Variationen könnte nicht besser gedacht werden. Es wäre aber eine falsche Verallgemeinerung, von hier aus auf ein durchgängiges Zusammenfallen der Ausgleichung des Farben- und des Helligkeitsnachbildes zu schließen. Eine Gegeninstanz ergab sich schon bei den Vorversuchen mit farbigen Papierscheiben, als eine rothe Scheibe auf weißem Grunde fixirt und dann auf subjective Helligkeitsgleichheit mit dem Weiß der Umgebung durch Beibehaltung eines rothen Restbestandes in Weiß einzustellen versucht wurde. Als eine Helligkeitsgleichheit in diesem Sinne thatsächlich sicher erzielt war, war die ursprünglich rothe Fläche längst bereits deutlich complementär grün gefärbt. Das nämliche fand sich nach einigen Fehlversuchen auch mit der Hauptanordnung wieder, als nicht mehr gleich gut gesättigte, in ihrer Helligkeit verschiedene Farben, sondern ebenso wie damals eine gut gesättigte Farbe neben Weiß zur Entstehung des Nachbildes diente. Jetzt ergab sich mit voller Sicherheit bei Erreichung der Helligkeitsgleichheit in der Projection auf Weiß bereits eine deutliche

complementäre Färbung an Stelle der ursprünglichen Farbe im Contrast zu der Umgebung. Die Einstellung auf die Gleichheit hinsichtlich des Farbtones war also bereits durch zu große Herabminderung des Gehaltes an ursprünglich fixirter Farbe im Weiß überschritten. Dies ergab sich am klarsten, als thatsächlich auch die Einstellung auf Farbgleichheit bezw. hier auf Farblosigkeit bei noch vorhandener Helligkeitsdifferenz (im ursprünglichen Sinne) in einem dunkleren Grau erreicht wurde. Die Probe hierauf ergab sich dann wieder durch eine Messung des entsprechenden farblosen Helligkeitsnachbildes von Grau neben Weiß.

### Tabelle XV. Nachbild von Blaugrün neben Weiß.

a)  $120^\circ$  Blaugrün +  $240^\circ$  S neben  $120^\circ$  W +  $240^\circ$  S 5" fixirt.

Einstellung auf subjective Gleichheit der Helligkeit ohne Farbgleichheit.  
Helligkeit des Blaugrün:  $120^\circ$  Blaugrün =  $10^\circ$  Weiß.

b) Dunkelgrau ( $10^\circ$  Weiß +  $350^\circ$  S) neben Weiß ( $120^\circ$  W +  $240^\circ$  S) 5" fixirt.  
(Messung des entsprechenden farblosen Helligkeitsnachbildes.)

	a) Farbiges Nachbild	b) Farbloses Nachbild
Differenz als Maß des Nachbildes bei Messung auf Weiß = $120^\circ$ W + $240^\circ$ S a. d. ursprüngl. weißen Stelle	$47^\circ$ Bl-Gr + $173^\circ$ W + $240^\circ$ S	$43,2^\circ$ W + $176,8^\circ$ S
Helligkeitswerth der Differenz in W.	berechnet: $43^\circ$	gemessen: $43,2^\circ$

Bei  $68^\circ$  Beimischung von Blaugrün zu Weiß ergab sich hingegen die subjective Ausgleichung hinsichtlich des Farbtones, d. h. an Stelle des Grünblau befand sich ein dunkleres Grau von der nämlichen Nuance wie in der Umgebung. Es konnte nicht behauptet werden, dass diese Ausgleichung in einem grünlich gefärbten Grau erfolgt wäre, wie es nach der Regel der gleichfarbigen Induction zu erwarten wäre. Man glaubte ein indifferentes Grau zu sehen, ohne dass deshalb natürlich ein Entgehen der Farbennuance bei deren Ausdehnung über das ganze Feld völlig ausgeschlossen wäre. Eigenthümlicher Weise kam jedoch auch hier dieser Zerfall der beiden Einstellungen nur für die Projection auf Weiß zur Geltung, wo sich also gemäß dem F.-H.'schen Satze die reagirenden Werthe



besonders hoch belaufen. Bei der Projection auf Blaugrün selbst fiel hingegen die Einstellung auf Farbgleichheit wieder vollständig mit der Helligkeitsgleichheit zusammen. Um diese Verhältnisse im Zusammenhang bei mehreren Farben zu betrachten, kamen die für das Zerfallen der Einstellung am günstigsten befundenen Combinationen von Farbe neben Weiß und Farbe neben Schwarz in vierfacher Weise (Roth, Gelb, Grün und Blau) zur Untersuchung, wobei Weiß und Schwarz constant und die vier Farben unter sich völlig hellkeitsgleich waren, wie es bei der hier verwendeten Anordnung der auswechselbaren Scheiben (Cap. 2, III, Anordn. 6 und 6a, S. 353) leicht zu erreichen war. Die nämliche Anordnung lässt auch, wie ebenfalls dort erwähnt ist, die entsprechenden farblosen Helligkeitsnachbilder rasch zum Vergleich beiziehen; bei der Gleichheit der Farbenhelligkeiten war hierzu nur eine einzige farblose Differenz nothwendig. Die folgende Tabelle enthält die Uebersicht über alle Ergebnisse dieser Gruppe. Ueberall, wo ein Zerfall der Helligkeits- und Farbeinstellung sich ergab, enthält sie zunächst nur die Einstellung auf Helligkeitsgleichheit. Die Angleichung an die farblosen Helligkeitsnachbilder durch die einschlägigen Berechnungen ist nicht für jede Farbe einzeln, sondern nur im Mittel ausgeführt, da die Abweichungen nicht unmittelbar zu einer bestimmten Regel verwerthbar erschienen. Sollte man doch dergleichen darin zu sehen glauben, so sind sie ja für jede Farbe schnell einzeln abgeleitet.

Tabelle XVI. Nachbild der 4 Farben und Grau neben Weiß und Schwarz (5 Sec.).

Helligkeit des Roth = Grün = Gelb = Blau: 120° Farbe = 22° Weiß.  
Einstellung auf subjective Gleichheit der Helligkeit.

		Roth Sp. = 2. R. (i.F.-Werth.)	Grün Sp. = 2. Gr. (i.F.-Werth.)	Gelb Sp. = 2. Ge.	Blau Sp. = 1. Bl.	Grau (i.W.-Werth.)	Berechnet im Mittel
Nachbild v. Farbe neb. Weiß	Projection a. die Farbe	17°	20° (m. V. 1°)	20°	21° (m. V. 1°)	14° (m. V. 2°)	15,8°
	Projection a. Weiß	49,6° (m.V.0,3°)	43,4° (m.V.2,4°)	52,4° (m.V.1,4°)	58° (m. V. 2°)	45,6° (m.V.0,4°)	42,6°
Nachbild v. Farbe neb. Schwarz	Projection a. die Farbe	47,6° (m.V.1,8°)	41,6° (m.V.2,6°)	44° (m.V.0,4°)	44,6° (m.V.0,6°)	9° (m.V.1,2°)	8,2°
	Projection a. Schwarz	18° (m.V.0,6°)	15,4° (m.V.0,4°)	17,4° (m.V.1,4°)	10° (m. V. 1°)	5° (m. V. 1°)	6,2°

Die Uebereinstimmung der gefundenen und berechneten Werthe ist eine hinreichend große, um auch überall, wo kein Zerfall von Helligkeits- und Farbengleichheit zu ermitteln war, der Einstellung auf vollständige subjective Gleichheit den Werth einer richtigen Ausgleichung des Helligkeitsnachbildes zuzugestehen. Mit voller Sicherheit ist eigentlich auch hier wiederum ein Zerfall der beiden Einstellungen nur für das Nachbild von Farbe neben Weiß mit Projection auf Weiß zu erkennen gewesen. Die Farbengleichheit, d. h. Gleichheit in Grau (von verschiedener Helligkeit), ergab sich dabei

für Roth	neben Weiß	bei	<b>73,4°</b>	Roth	+	46,6°	Weiß,
„ Gelb	„	„	<b>79,4°</b>	Gelb	+	40,6°	Weiß,
„ Grün	„	„	<b>80°</b>	Grün	+	40°	Weiß,
„ Blau	„	„	<b>72°</b>	Blau	+	48°	Weiß.

Im Mittel ergibt sich also **76,2°** Farbe + 43,8° Weiß, das nach einer Fixation der Farbe neben Weiß von 5 Sec. neben dem benachbarten Weiß als ein dunkleres, gleichfalls indifferentes Grau erscheint. Die Ausgleichung des Helligkeitsnachbildes betrug im Mittel **53,2°**, also ergibt sich hieraus ein Verhältniss beider Einstellungen von 1,43 : 1 oder: Das Helligkeitsnachbild von Farbe neben Weiß wird durch etwas mehr als  $\frac{2}{3}$  der objectiven Differenz ausgeglichen, die zur Ausgleichung des Farbennachbildes nothwendig ist. Natürlich lässt sich hieraus kein unmittelbarer Schluss auf ein thatsächliches Größenverhältniss des Helligkeits- zum Farbennachbilde ziehen, da eben keine Beziehung zwischen dem absoluten Farbenwerthe, der in 76,2° Farbe enthalten ist, und dem entsprechenden Helligkeitswerthe bekannt ist. Man kann nur sagen, dass das Helligkeitsnachbild einer beliebigen Farbe neben Weiß durch ein Quantum der objectiven Farbe ausgeglichen wird, das zu dem unbekanntem, zur Ausgleichung des Farbennachbildes nothwendigen absoluten Farbenwerthe in einem constanten von der Farbe unabhängigen Verhältniss steht. Aus den Abweichungen der verschiedenen Farben von dem Mittel 76,2 auf eine verschiedene Größe des Farbenwerthes zu schließen, ist deshalb nicht leicht möglich, weil die Größenfolge der Werthe nicht mit der Sättigungsreihe zusammenzufallen scheint. Hier müssten erst zahl-

reichere Versuche mit Uebungen im Schätzen von Sättigungen zu einem endgültigen Ergebniss zusammenwirken.

Abgesehen von der Projection des Nachbildes von Farbe neben Weiß auf Weiß ist höchstens noch bei der Projection des Nachbildes von Farbe neben Schwarz auf die Farbe (also dritte Horizontalreihe) ein Auseinanderfallen der Helligkeits- und Farben- bzw. Sättigungsgleichheit mit einiger Sicherheit zu beobachten. Es ist also wiederum für dieses Nachbild die höhere Reactionsstufe mit dem größeren absoluten Werthe, an der diese Differenz allein deutlich genug wird. Es ist hier für diese Unterscheidung auf der höheren Stufe allerdings wiederum auch nachtheilig, dass diese Stufe nicht die Farbenindifferenz des Weiß besitzt, auf welcher auch sehr geringe Farbenabweichungen sofort erkannt werden; es kann das Ueberschreiten der Farbengleichheit bzw. das Zurückbleiben hinter derselben auf der relativ gesättigten Farbe nur in einem höheren bzw. geringeren Sättigungsgrad bei gleicher Helligkeit zu Tage treten. Jedenfalls erscheint aber die aus der Tabelle ersichtliche Menge von  $41,6^\circ$  Farbenintensität in Grün, welche nach Einstellung auf Helligkeitsgleichheit in Grün an Stelle des ursprünglichen Grün hinzukommen muss, bereits zu gering, um nicht doch diese Stelle hinsichtlich der Sättigung gegenüber der ursprünglich schwarzen Stelle zurückstehen zu lassen.  $76^\circ$  Farbe müssen (für die Gesamtintensität =  $120^\circ$ ) an der ursprünglich grünen Stelle mehr vorhanden sein, damit  $44^\circ$  Farbe im Ganzen an Stelle des ursprünglichen Schwarz nicht gesättigter erscheinen sollen, wenn freilich auch die Helligkeit dann noch viel zu groß ist. Bei der Fixation dieser letzteren Zusammenstellung nach Entstehung des Nachbildes ist es so, als ob man die nämliche Sättigungsstufe des Grün auf der einen Seite unmittelbar, auf der anderen Seite durch ein verdunkelndes Medium hindurchsähe. Der in dieses Bild gefasste Eindruck, der jene Einstellung als einen Punkt relativer Farbengleichheit oder größter Aehnlichkeit aus den benachbarten Einstellungen mit einiger Sicherheit herausgreifen lässt, könnte allerdings bei Berücksichtigung des objectiven Thatbestandes, bei dem sonst eine Farbe durch ein Medium hindurchgesehen wird, auf eine gleichzeitige Herabsetzung von Helligkeit und Sättigung schließen lassen. Doch ist ja hier nicht von einer bestimmten objectiven Herabsetzung der Intensität ausgegangen,

sondern von dem Eindruck einer größten Aehnlichkeit, die nur in jenem Bilde während der Beobachtung selbst ihren Ausdruck erhalten hat, gleichgültig, ob das nämliche Bild einer thatsächlichen einseitigen Bedeckung einer objectiven Fläche entsprechen könne oder nicht. Ganz Aehnliches ergibt sich für Blau bei  $70^\circ$  und für Gelb ebenfalls bei  $70^\circ$ , eine Uebereinstimmung der Werthe, die jenem Eindrucke größter Aehnlichkeit noch mehr Rückhalt verleihen kann. Bei Helligkeitsgleichheit ist hingegen sowohl das Blau als auch das Gelb bereits zu gesättigt, letzteres auch etwas nach Grüngelb verschoben. Wichtig ist zugleich die Thatsache, dass das Verhältniss des Maßes für das Farbennachbild zum Maße des Helligkeitsnachbildes demjenigen ähnlich ist, das für die Farbe neben Weiß gefunden wurde, nämlich ca.  $1,6 : 1$ . Alle Messungen dieser Nachbilder auf anderen Reactionsflächen lassen hingegen keinerlei Zerfall der Einstellung auf Helligkeits- und Farbengleichheit erkennen, und verhält es sich demnach bei ihnen ebenso wie bei der Combination von relativ gesättigten Farben verschiedener Intensität. (Vergl. Tab. XIV.)

Man könnte nun zunächst annehmen, dass in all' diesen Fällen mit einer einheitlichen Einstellung die thatsächliche Differenz nur wegen ihrer Geringfügigkeit übersehen werde, dass also hier überall nur eine Art Compromisseinstellung vorliege. Allerdings dürfte man kaum an ein Uebersehen von thatsächlichen Helligkeitsdifferenzen denken, da gerade diese letzteren bei gleichen oder auch nur ähnlichen Farbentönen besonders deutlich hervortreten. Man müsste also annehmen, dass vor allem auf Helligkeitsgleichheit eingestellt wird und dass das größere, aber besonders rasch verlaufende Farbennachbild schnell bis auf dieses Niveau der Helligkeitsgleichheit, d. h. auf vollständige subjective Gleichheit herabsinke. Obgleich nun allerdings ein thatsächlicher Verlauf einer Selbsteinstellung in diesem Sinne bei hinreichend langsamem Vollzug nicht in Abrede gestellt werden kann, so sind doch zunächst schon die Ergebnisse der plötzlichen Einstellung dagegen anzuführen, welche ebenfalls bei gesättigten Farben verschiedener Intensität auf eine Einstellung mit voller Gleichheit hinführen. Außerdem wäre aber auch die thatsächliche Differenz zwischen der vollen Farbengleichheit und der Helligkeitsgleichheit viel zu groß, um selbst bei einer normal verlaufenden Selbsteinstellung

übersehen werden zu können, falls thatsächlich der nämliche Abstand von Helligkeits- und Farbengleichheit vorhanden wäre, wie bei Farbe neben Weiß oder Schwarz. Dies gilt vor allem, wenn man die Verdoppelung der wirksamen Farbdifferenz betrachtet, die bei der Combination z. B. mit der gesättigten Complementärfarbe anstatt mit Weiß oder Schwarz besteht. Es darf also zur Erklärung dieses Zusammenfallens nicht bloß auf Täuschungsvorgänge und secundäre Ausgleichungsprocesse verwiesen werden<sup>1)</sup>; vielmehr muss das ganze Verhältniss von Farben- und Helligkeitsnachbild hier ein ganz anderes sein, wie in jenen Fällen mit nachweisbarer Trennung der Einstellungen. Für die Fälle von Tab. XVI, in denen ein und das nämliche Nachbild auf der höheren Stufe jene Trennung zeigt, auf der niedrigen aber nicht, wäre auf den relativen Vorzug der niedrigeren Reactionsstufe gegenüber der höheren zu verweisen, welche für die Helligkeitsnachbilder seiner Zeit nachgewiesen werden konnte (in dem anfangs steileren, später flacheren Verlauf der Curve zum F.-H.'schen Satze). Doch könnte man hier vielleicht eher noch glauben, dass dieser relativen Steigerung des Werthes für das Helligkeitsnachbild eine entsprechende für das Farbnachbild nebenhergeht. Bei der Combination gesättigter Farben von verschiedener Intensität, also Tab. XIV, ist aber doch eine große Farbdifferenz mit einer relativ geringen Helligkeitsdifferenz combinirt, und so kann man hier auf die verschiedenen Bedingungen für die Entstehung des Nachbildes überhaupt verweisen, die den kleineren Differenzen einen relativen Vorzug vor den größeren Differenzen geben. Der relative Vorsprung des Farbnachbildes wäre durch diesen relativen Vorzug des Helligkeitsnachbildes wieder ausgeglichen. Schließlich könnte man annehmen, dass überhaupt das Helligkeits- und Farbnachbild im allgemeinen thatsächlich durch das nämliche Restquantum Farbe gleichzeitig ausgeglichen werden, insofern die beiden Nachbilder proportionale Theile der ursprünglichen Helligkeits- und Farbdifferenz aufheben. Das Auseinanderfallen der Einstellungen in jenen Fällen, das eigentlich nur bei Projection auf Weiß nach Fixation von Farbe neben Weiß mit voller Sicherheit nachgewiesen ist, entspräche nur gewissen

1) In welchem Sinne weiterhin noch von einem Compromiss bei diesen Messungen gleichzeitiger Helligkeits- und Farbnachbilder gesprochen werden muss vergl. Cap. VIII.

Grenzfällen, in denen eine Abweichung von der gleichmäßigen Proportionalität einträte. Jedenfalls bilden diese Grenzfälle aber immerhin wichtige Beispiele für die Unterscheidung zweier verschiedener Prozesse für die Farben- und Helligkeitsqualität überhaupt, und ist dies als eines der interessantesten Ergebnisse derartiger Nachbildmessungen zu betrachten. Mit dieser Feststellung der Anwendbarkeit dieser einfachsten Methode auf die Messung von gleichzeitigen Farben- und Helligkeitsnachbildern ist also die weitere Verfolgung der Frage vorbereitet, wie sich die bisherigen Ergebnisse über die Abhängigkeit des Farbnachbildes von der reagirenden Farbe bei gleicher Helligkeit nun unter allgemeinere Regeln subsumiren lasse.

Als Anhang zu diesen Voraussetzungen allgemeinerer Art möchte ich gleich das einfache Ergebniss von ein paar Nachbildmessungen bei Farbenblindheit erwähnen. Herr cand. med. R., der an Grünblindheit mit herabgesetzter Empfindlichkeit für Roth (?) leidet, war nach gefälliger Vermittlung meines Herrn Collegen Dr. Müller so freundlich, ein paar Messungen des Nachbildes von Grün neben Roth auszuführen. Es war eine Farbencombination, die neben der Farbdifferenz zugleich eine ziemliche Verschiedenheit der Helligkeit aufwies, so dass irgend welche Abweichungen besonders gut zu Tage treten konnten.

Tabelle XVII. Nachbild von Hellroth neben Dunkelgrün für grünblinde und normale Augen.

120° R + 240° S neben 120° Gr + 240° S 5" fixirt.

Helligkeit des Roth: 120° R = 32° W. Spectrum = 1. Roth.

» » Grün: 120° Gr = 14° W. » = 2. Grün.

Farbe der ursprünglich rothen Fläche	120° R + 240° S	26° R + 94° Gr + 240° S
Maß des Nachbildes bei Herrn R., grünblind	39,2° (m. V. 0,6°)	26° (m. V. 2°)
Maß des Nachbildes für normale Augen	42,4° (m. V. 1°)	28° (m. V. 1°)

Es ergibt sich also unmittelbar eine große Uebereinstimmung der abnormen und der normalen Werthe. Die kleine negative Differenz bei Herrn R. gegenüber meinen eigenen Werthen lässt sich vollständig auf die verschiedene Eingübtheit zurückführen, obgleich

Herr R. sich sehr schnell in die Ausführung der Selbsteinstellung hineinfand. Das nämliche Resultat hatte ich bei gelegentlichen Versuchen mit anderen farbenblinden Herren, von denen ich allerdings keine abgeschlossenen Versuchsreihen erhalten konnte. Jedenfalls würde diese Thatsache, die natürlich erst einmal mit umfangreichem Material in Angriff genommen werden müsste, eine Illustration zu der guten Proportionalität der Nachbildwirkung mit den thatsächlich gesehenen Farben- und Helligkeitsdifferenzen bilden, mögen nun die nämlichen objectiven Farben von der Stimmung des Auges ganz beliebig aufgefasst werden.

Anmerkung. Da sehr wenig Zeit zur Verfügung war, ließ ich nach allgemeinsten Prüfung mit Hilfe der Stilling'schen Tafeln eine Beschreibung des Spectrums für beide Augen bei subjectiver Beobachtung liefern, die mir bei der augenscheinlichen Objectivität und dem Bildungsgrade des Herrn den raschesten und vollständigsten Ueberblick über den Fall garantirten. Das Spectrum war wie oben eingestellt.

Linkes Auge:	Rechtes Auge.
0,3 bis 4,4: Roth (offenbar also das Roth zu schwach gesehen, da sonst Verwechslung mit der schwachen Ausstrahlung links von 3,0 nicht möglich gewesen wäre; eine Verwechslung von 3 und 0,3 lag nicht vor).	0,3 bis 4,2 Roth.
4,4 bis 5 Zwischenfarbe.	4,2 bis 5,1 Zwischenfarbe.
5 bis 7,3 reines Gelb.	5,1 bis 7,8 reines Gelb.
7,3 bis 8,2 eigenthümliche Zwischenfarbe (undefinirbar). (7,9 trennt dabei Gelbliches vom Bläulichen.)	7,8 bis 8,6 zwischen Gelb u. Blau. (7,8 ist die Grenze).
8,2 bis 10,5 Blau.	8,6 bis 9,9 Hellblau.
10,5 bis 14 dunkles Blau.	9,9 bis 14 Dunkelblau.

### Siebentes Capitel.

Variation der reagirenden Helligkeit für annähernd reine Farbennachbilder.

Wie schon im 1. Cap. I, 2 (S. 324) erwähnt worden ist, lässt sich die Messung eines Farbennachbildes auf verschiedenen Intensitätsstufen einer Farbe am einfachsten dadurch messen, dass man ein annähernd reines Farbennachbild auf verschiedenen Farbenintensitäten untersucht, d. h. also von annähernd gleichen Helligkeiten für

beide Contrastfarben ausgeht und dann die Intensität im Ganzen erhöht oder erniedrigt. Dann kommen zunächst noch alle Schwierigkeiten hinsichtlich einer einheitlichen Gleichheitseinstellung in Wegfall. Die einfache Anordnung hierzu wurde im 2. Cap., III, 3a, S. 345 beschrieben. Es wurde hiermit ein Nachbild von Roth neben Grün, wie es schon bei den Erholungsversuchen (Tab. XIII, S. 385) vorkam, sowie ein solches von Gelb neben Blau auf sieben verschiedene

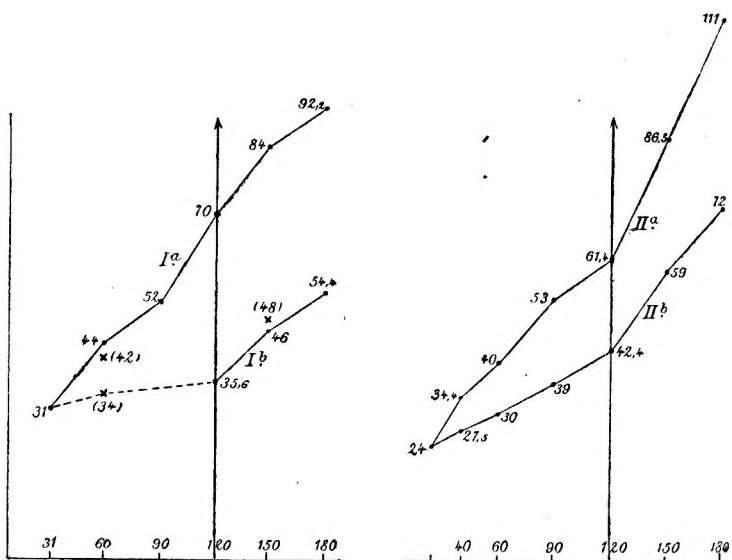


Fig. 15.

I. Roth neben Grün 15'' fixirt.  
(Intensität = 120° F. + 240° S)  
Messung auf verschiedenen Intensitätsstufen.

II. Blau neben Gelb 15'' fixirt.  
(Intensität = 120° F. + 240° S)  
Messung auf verschiedenen Intensitätsstufen.

denen Intensitätsstufen gemessen. Um die Intensitätsvariation bei dieser Anordnung möglichst unabhängig von einem constanten Summanden hervortreten zu lassen, wurde hier das Nachbild wieder im Dunkeln producirt und gemessen, während die Erholungszeit wieder bei der gewöhnlichen mäßigen Beleuchtung des Raumes verbracht wurde. Auch wurde der Transparenzschirm angewendet. Die Hauptergebnisse sind wieder unmittelbar aus Tab. XVIII und Curve Fig. 15 zu ersehen:



Tabelle XVIII. 1. Nachbild von Grün neben Roth auf sechs Intensitätsstufen.  
 120° Grün + 240° S neben 120° Roth + 240° S 15 Sec. fixirt.

Helligkeit des Grün: 120° G = 36° W. Helligkeit des Roth: 120° R = 30° W.  
 Spectrum > = I. Grün. Spectrum > = I. Roth.

Bezeichnung d. reagirenden Intensitätsstufe	31°	60°	90°	120°	150°	180°
Farbe der ursprüngl. grünen Fläche	31° G + 329° S	60° G + 300° S	90° G + 270° S	120° G + 240° S	150° G + 210° S	180° G + 180° S
Farbe der ursprüngl. rothen Fläche	31° R + 329° S	16° G + 44° R + 300° S	38° B + 52° Ge + 270° S	50° B + 70° Ge + 240° S	66° G + 84° R + 210° S	87,8° G + 100,2° R + 180° S
Differenz als Maß des Nachbildes	31° (m. V. 1°)	44° [Sc. 42°]	52°	70° (m. V. 2,5°)	84°	92,2° (m. V. 1,7°)
Farbe der ursprüngl. grünen Fläche		34° G + 26° R + 300° S	—	35,6° G + 84,8° R + 240° S	46° G + 104° R + 210° S	54,4° G + 125,6° R + 180° S
Farbe der ursprüngl. rothen Fläche	wie oben	60° R + 300° S	—	120° R + 240° S	150° R + 210° S	180° R + 180° S
Differenz als Maß des Nachbildes		[Sc. 34°]	—	35,6° (m. V. 4,6°)	46° [D. 48°]	54,4° (m. V. 3,6°)

Curve Ia: Messung auf Grün.  
 > Ib: > Roth.

## Tabelle XVIII. 2. Nachbild von Gelb neben Blau auf sieben Intensitätsstufen.

120° Gelb + 240° S neben 120° Blau + 240° S 15 Sec. fixirt.

Helligkeit des Gelb: 120° Ge = 26,6 W.

Helligkeit des Blau: 120° B = 31,4° W.

Spectrum &gt; &gt; : 2. Gelb.

Spectrum &gt; &gt; : 1. Blau.

Bezeichnung der reagirenden Intensitätsstufe	24°	40°	60°	90°	120°	150°	180°
Farbe der ursprünglich blauen Fläche	24° Bl + 336° S	40° Bl + 320° S	60° Bl + 300° S	90° Bl + 270° S	120° Bl + 240° S	150° Bl + 210° S	180° Bl + 180° S
	24° Ge + 336° S	5,6° Bl + 34,4° Ge + 320° S	20° Bl + 40° Ge + 300° S	37° Bl + 53° Ge + 270° S	58,6° Bl + 61,4° Ge + 240° S	63,5° B + 86,5° Ge + 210° S	69° Bl + 111° Ge + 180° S
	Differenz als Maß des Nachbildes	24°	34,4° (m. V. 2,4°)	40° (m. V. 4°)	53°	61,4°	86,5° [D. 88°]
Farbe der ursprünglich blauen Fläche		27,5° Bl + 12,5° Ge + 320° S	30° Bl + 30° Ge + 300° S	39° Bl + 51° Ge + 270° S	43,4° Bl + 76,6° Ge + 240° S	59° Bl + 91° Ge + 210° S	72° Bl + 108° Ge + 180° S
	Farbe der ursprünglich gelben Fläche	wie oben	40° Ge + 320° S	60° Ge + 300° S	90° Ge + 270° S	120° Ge + 240° S	150° Ge + 210° S
	Differenz als Maß des Nachbildes		27,5°	30°	39°	43,4° (m. V. 4,6°)	59° (m. V. 5°)

Curve II a: Messung auf Blau.

&gt; II b: &gt; Gelb.

Diese Messungen beziehen sich also auf die reinste Anwendung des F.-H.'schen Satzes auf ein Farbnachbild, insofern in den verschiedenen Werthen ausschließlich die Variation der reagirenden Intensität für ein annähernd reines Farbnachbild zum Ausdruck kommt. Die beiden Werthe einer jeden Stufe gehören zu der nämlichen Gesamtintensität. Ueberall bildet ein und die nämliche objective Einheit das Mittel zur Ausgleichung bezw. das gesuchte Maß. Auch hier findet man wieder die große Annäherung an die gerade Linie, die bei einer Häufung der Versuche wohl noch besser hervortreten würde. Dabei scheint oberhalb und unterhalb der Ausgangsintensität =  $120^\circ$  wenigstens in Ib, IIa und b eine etwas verschiedene Steigung dieser Geraden vorhanden zu sein; oben ist sie etwas steiler als in der mittleren Region. Es zeigt sich also die nämliche Abweichung von der seiner Zeit mit Pigmentpapier gefundenen Curve für den F.-H.'schen Satz bei farblosen Helligkeitsnachbildern, wie sie schon bei den Projectionsversuchen zu den farblosen Nachbildern (Tab. IVa und b)<sup>1)</sup> festgestellt wurde, d. h. es ist eben so wenig jenes Zurückbleiben hinter der Proportionalität in der mittleren Region zu beobachten; dies beruht wahrscheinlich darauf, dass die höheren Intensitätsstufen hier im Verhältniss zu der Gesamtdaptation einen viel größeren Zuwachs bedeuten, als beim Fortschreiten zum Pigmentweiß bei Tageslicht.

Wenn man nun für jede Intensitätsstufe im Einzelnen die Curven ebenso wie bisher ableiten wollte, so dass für Roth bis Grün oder für Gelb bis Blau einer und der nämlichen Helligkeit die Werthe aufeinanderfolgten, so würde man für diese Nebencurven überall innerhalb I und II ungefähr die nämliche Neigung zur Abscissenachse erhalten. Damit ist natürlich keine neue Thatsache gegeben; es wäre vielmehr nur die Annäherung der vier Hauptcurven an die Gerade, sowie die Annäherung des Convergenzpunktes der zusammengehörigen Curven an den Nullpunkt der Intensität auf einen anderen analytischen Ausdruck gebracht. Dies lässt sich am einfachsten durch eine geometrische Construction dieser Nebencurven aus den entsprechenden Bestimmungsstärken der Hauptcurven übersehen.

Die geringe Differenz der ursprünglich nebeneinander fixirten

1) Bd. XVI, S. 558 f.

Farben hinsichtlich ihrer Helligkeit bewirkt offenbar zugleich, dass das Purkinje'sche Phänomen oder die Verschiebung der Helligkeitsverhältnisse beim Intensitätswechsel sich nicht sehr störend geltend machte. Denn die Steigerung der Intensität nach oben hin, welche die thatsächlich vorhandene Helligkeitsdifferenz nach dem F.-H.'schen Satze selbst schädlicher hätte bemerkbar werden lassen, bewirkt bei dem hier vorhandenen Helligkeitsverhältniss beider Farben eher eine Minderung der Differenz. Nach unten hin ist aber die Variationsmöglichkeit verhältnissmäßig überhaupt nicht so bedeutend. Relativ am meisten tritt hier die Helligkeitsverschiebung natürlich noch bei der untersten Stufe hervor, nämlich der Ausgleichung beider Contrastfarben durch bloße Herabsetzung der Intensität ohne Hinzumischung der Nachbarfarbe. Diese Ausgleichungsmöglichkeit, die eine derartige Messung nach unten hin von selbst abschließen lässt, ist ja schon längst als besonderer Specialfall quantitativer Bestimmungen negativer Nachbilder bekannt gewesen und insbesondere zur Illustrirung der Thatsache benutzt worden, dass das negative Farbenachbild eine complementäre Erregung enthalte<sup>1)</sup>. Sie ordnet sich hier ungezwungen dem übrigen Verlauf der Curve ein<sup>2)</sup>. Natürlich könnte man, abgesehen von der hier verwendeten Methode, noch viel

1) E. Hering, Zur Lehre vom Lichtsinn, S. 132 f.

2) Interessant ist auch die Frage, in welcher Farbe die subjective Ausgleichung durch bloße Herabsetzung der Gesamtintensität erfolgt. Es zeigt sich, dass Roth und Gelb als Ausgleichsfarben bevorzugt sind, besonders wenn Roth oder Gelb selbst in den höheren Intensitätsstufen die hellere der beiden Farbenpaare Roth-Grün oder Blau-Gelb ausmachten und gemäß dem Purkinje'schen Phänomen auf der untersten Stufe mehr und mehr Helligkeitsgleichheit eintritt. Insofern nun die Rothfärbung des minimalen Grün bei noch erhaltener Röthlichkeit des Roth, sowie die Gelbfärbung des Blau bei noch erhaltener Gelblichkeit des Gelb auf eine stärkere Nachbildwirkung bei reagirendem Grün und Blau hinweist, ordnet sich diese Thatsache vielleicht ungezwungen mit der speciellen Abhängigkeit des Nachbildwerthes vom Farbenton zusammen, die als Steigerung des Werthes für Grün und Blau gegenüber Roth und Gelb bereits festgestellt worden ist. Die Ausgleichungsfarbe wurde nicht nur für die unterste Intensitätsstufe der beiden Nachbilder aus Tab. XVIII, sondern für sehr viele andere Farbencombinationen (mit der Gesamtintensität 120° zur Entstehung des Nachbildes) untersucht und überall der soeben bezeichneten Regel unterworfen gefunden. Bei 5 Sec. Fixation lag sie meist bei 14—16°. Wichtig ist ferner, dass sich für Farbe (Roth und Blau) neben Weiß auch wieder (wie in Cap. V) eine Trennung der Ausgleichung für Farbe und Helligkeit feststellen ließ; erstere lag bei ca. 14°, letztere bei ca. 8—10°.

tiefer liegende Werthe der Curve ermitteln, wenn an Stelle der wenig gesättigten Farben, die in Folge der Complementärfarbe und gleichfarbigen Induction bereits ihrer Nachbarfarbe gleich geworden sind, viel gesättigtere Farben von gleicher Helligkeit zur Verfügung ständen. Wenn man von Beimischungen der Nachbarfarbe bei Production des Nachbildes ausginge, würden auch nach dieser Methode leicht noch tiefere Punkte durch Entfernung der Beimischung und Steigerung der Sättigung zu messen sein.

Wenn nun kein reines Farbennachbild, sondern eine Combination mit einem Helligkeitsnachbilde vorhanden wäre, wie es z. B. nach der Fixation einer Farbe auf schwarzem Grunde der Fall ist, so würde ebenso wie beim sog. »Lichthof« für farblose Nachbilder ein endlicher Werth des farbigen negativen Nachbildes für die reagirende Intensität = 0 auf der ursprünglich dunklen Fläche gefunden werden. Ob aber auch für ein völlig reines Farbennachbild von Farben gleicher Intensität innerhalb des ganzen Sehfeldes ein »Farbenhof« im absoluten objectiven Dunkel zu sehen sein wird, der nicht aus dem Eigenlicht erklärt werden könnte, ist bisher noch nicht ermittelt. Natürlich müsste hierbei wieder von Blendungsnachbildern mit ihrer kräftigen positiven Nachbildwirkung complementärer Färbung abgesehen werden. Ueberhaupt compliciren sich alle diese Functionen bei dem Uebergang zu den unteren Grenzwerten ganz bedeutend, so dass sie eigentlich den Gegenstand einer Specialuntersuchung mit besonderer Berücksichtigung der positiven Nachwirkungen bilden müssten.

Auf alle Fälle nimmt also das relative Maß der negativen Nachbilder im Verhältniss zur reagirenden Intensität nach unten hin ganz bedeutend zu, und der jedenfalls nur geringe absolute Werth einer eventuellen Analogie zum »Lichthof« der Helligkeitsnachbilder wäre zur Erklärung dieses relativen Zuwachses zu klein. Man wird nun jeder Zeit verschiedene Momente für den oberen und den unteren Theil unserer ganzen Function mit in Betracht ziehen dürfen, insofern doch die Abweichungen von der ursprünglichen Adaptationslage nach oben und unten verschiedene Nebenprocesse einleiten können. So könnte man also auch z. B. im oberen Theile, wo die Proportionalität zur reagirenden Intensität am besten eingehalten ist, an eine Herabsetzung der Erregbarkeit für die fixirte Farbe denken, während man im unteren Theile eine complementäre Erregung sich positiv

hinzuaddiren lässt. Doch würde eben für diese untere Region keineswegs die einfache Formel angewendet werden können, die man sonst zum Ausdruck positiv hinzutretender Erregungen verwerthet, nämlich die rein additive Constante, wie z. B. bei den sog. »positiven Nachbildern« als einer Nachempfindung. Dies ginge nicht an, weil die absoluten Nachbildwerthe, wie sie in jenen Curven zu Tab. XVIII in ihrem Verlaufe zusammengefasst sind, nicht einfach durch die Addition einer Constanten wiedergegeben werden, die an dem geradlinigen Verlauf nichts zu ändern vermöchte, sondern einer allmählichen Ausbiegung zu relativ immer größeren Werthen entsprechen, wie es besonders gut in Ib zu sehen ist. Man müsste vielmehr jene Ausbiegung von der geraden Linie (als Ausdruck der einfachen »Ermüdung«) ziemlich complicirt, z. B. durch die Annahme einer umgekehrten Proportionalität jener complementären Erregung erklären, die zum bloßen Ermüdungseffecte noch hinzutritt, als ob dieser additiven Größe also die Farberregung auf Grund des Reizes selbst sozusagen im Wege stehe.

Niemals aber dürfte eine solche additive und indirect proportionale Complementärerregung ausschließlich zur Erklärung der negativen farbigen Nachbildwirkung beigezogen werden, soweit es sich zunächst um die Wirkung auf diejenigen reagirenden Farbentöne handelt, die zur Entstehung des Nachbildes selbst fixirt wurden. (Ueber die Reaction anderer, bei der Entstehung des Nachbildes unbetheiligter Farben wird weiter unten ausführlich zu sprechen sein). Denn der relativen Zunahme des Werthes nach unten entspricht doch eine **fortschreitende absolute Abnahme**, die also höchstens durch die proportionale Verkleinerung nach unten (als Ermüdungswirkung) zusammen addirt mit irgend welchen complementären Erregungen bewirkt werden könnte. Es dürfte aber nun doch keineswegs ausgeschlossen erscheinen, den ganzen Verlauf in den verschiedenen reagirenden Intensitätsstufen als eine verschieden procentuale Wirkung einer und der nämlichen Ursache zu denken, die man kurz als eine Verschiebung der Farberregung nach der Complementärfarbe hin zu betrachten hätte. Man braucht dann nicht jene Zerlegung in proportional ausfallende Ermüdungswirkung und in positive, aber quantitativ complicirt bestimmte Complementärerwirkung, die beide je nach der reagirenden Intensitätsstufe in ver-

schiedenem Maße beigezogen werden müssten. Dass man aber mit einem von beiden Factoren allein auf allen Reactionsstufen nicht auskommen kann, erscheint ebenfalls gewiss.

Diese Vereinfachung der Auffassung könnte aber natürlich ebenfalls nicht ohne besondere Gründe vorgenommen werden. Was hierüber entscheiden könnte, wäre u. A. die Projection der Nachbilder auf andere Farben, die an den ursprünglich nebeneinander fixirten Farben nicht theilhaftig sind. C. Hess hat in der schon früher citirten Arbeit<sup>1)</sup> Stellung zu dieser speciellen Frage genommen. Ein Nachbild einer Spectralfarbe auf schwarzem Grunde wurde auf beliebige andere Spectralfarben projicirt und die entstehende Abweichung des Farbentones beobachtet. Dadurch ergab sich zunächst die Unmöglichkeit, mit der Annahme einer Herabsetzung der Erregbarkeit für die ursprünglich fixirten Farben alle Reactionen auf negative Nachbilder zu umfassen, selbst unter ergibiger Beziehung des »Eigenlichtes«. Die anderen Farben zeigten eine Abweichung des Farbentones nach der Complementärfarbe hin, und zwar eine um so größere, je schwächer das reagirende Licht war. In diesem letzteren Zusatze kommt also wieder nur jener untere Theil der Curve für die Variation der reagirenden Intensität zum Ausdruck, der eine relative Steigerung des Nachbildwerthes bedeutet. Fasst man diese letztere Thatsache immer nur als »Beimischung« einer complementären Erregung auf, so ist immer nur die analytische Form der »positiven Nachbilder« nach Helmholtz zulässig, insofern zu der Erregung  $a$  auf Grund des äußeren Reizes oder zu der im Sinne der Ermüdung modificirten Erregung  $aa$  ein complementäres  $h$  hinzutritt, welches seinerseits wieder entweder als Constante  $h$  oder mit  $h\beta$  einzuführen wäre.  $\beta$  wäre dem  $\frac{1}{a}$  proportional, um jene relative Steigerung nach unten hin in dieser Weise durch eine gesteigerte Beimischung der Complementärwirkung zu erklären. Dies ist der einzige Ausweg für die Erklärung der complementären Verschiebung bei der Annahme einer verschiedenen Einzelvalenz für die Complementärfarbe, die ihren eigenen Erregbarkeitsfactor besitzt.

1) C. Hess, Ueber die Tonänderung der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte. Arch. f. Ophth. XXXVI, 1, 1890, S. 1 ff.

Man kann in diesem Falle die negative Nachbildwirkung, soweit sie als Verschiebung nach der Complementärfarbe hin zugestanden werden muss, keineswegs etwa als Proportionalitätsfactor an der Intensität  $\alpha$  des objectiven Reizes zum Ausdruck bringen, wie den Ermüdungs-factor  $\alpha$ . Doch würde diese ganze Darstellung besonders gezwungen, wenn nicht ganz unmöglich, falls sich herausstellen sollte, dass ein Hinzuaddiren des  $h\beta$  ( $\beta = C \cdot \frac{1}{a}$ ) die Erscheinung des Nachbildes auf anderen Farben (als den bei der Entstehung beteiligten) ebenfalls noch nicht hinreichend beschreibt. Es handelt sich eben hierbei nicht nur um die Feststellung des Grades der augenfälligen Sichtbarkeit einer Verschiebung nach der Complementärfarbe hin, wie sie bei einer größeren Herabsetzung der reagirenden Intensität sich steigert und C. Hess zur Annahme einer relativen Zunahme der complementären Verschiebung berechtigt. Vielmehr kann ja neben dieser relativen Abnahme nach oben hin doch eine absolute Zunahme des Werthes der complementären Verschiebung vorhanden sein, ebenso wie es für die bei Entstehung des Nachbildes beteiligten Farben nach den soeben abgeleiteten Curven (Tab. XVIII) stattfindet.

Im Folgenden soll ein Fall behandelt sein, der diese Fragestellung so gut untersuchen ließ, als es mit Gelatinefarben möglich war. Es sollte wieder vor allem ein möglichst reines Farbenachbild entwickelt und dann auf eine andere Farbe projicirt werden, damit nicht subjective Differenzen der Helligkeit auf der neuen reagirenden Farbe mit Sättigungsdifferenzen oder gar Abweichungen des Farbtones verwechselt werden könnten. So war also die Herstellung der Helligkeitsgleichheit zwischen der fixirten Farbe, ihrer Umgebung und der neuen Reactionsfarbe die wichtigere Aufgabe gegenüber der Herstellung einer homogenen Fixationsfarbe. Die letztere wäre ja unter Anwendung der Strahlenfiltration im Farbenton keineswegs so beliebig auszuwählen, während es sich hier darum handelt, zwei von einander und von den Complementen möglichst entfernte Farben auszusuchen. Nur die neue reagirende Farbe musste freilich möglichst homogen sein, da ja sonst der gefundene Gesamtwert des Nachbildes überall hätte herkommen können. Die »Ermüdungswirkung« selbst konnte hingegen auch



bei Gemischtheit der ursprünglich fixirten Farbe immer nur für diejenige Farbe bezw. deren Complement Geltung erhalten, welche den Farbenunterschied von der Umgebung ausmacht, und dies ist eben der resultirende Farbenton, gleichgültig, welche anderen Farbtöne sich in der Mischung hinsichtlich ihrer Farbenqualität aufgehoben haben. Diese Beimischung kann dann nur noch die Sättigung des von der Umgebung unterscheidenden Farbentones bezw. also den absoluten Werth des Nachbildes, nicht seinen wesentlichen Charakter bestimmen. Um den Ausgangspunkt für das Farbenachbild möglichst auf die thatsächlich fixirte Farbe und ihr Complement einzuschränken, wurde als Umgebung der Fixationsfarbe ein indifferentes Grau gewählt, das aus Schwarz und Weiß am Episkotister gemischt wurde und die Helligkeitsgleichheit beliebig genau erreichen ließ. Damit ferner auch die reagirende Farbe rein für sich wirke, wurde diese ganze Gruppe im verdunkelten Zimmer aufgenommen, jedoch ohne Dunkeladaptation, d. h. bei Erhellung des Raumes in den Pausen, wie bisher. Die fixirte Farbe war Blau (Spectrum = 2. Blau); als reagirende Farbe wurde ein dunkles Roth ausgewählt, das sich durch Combination von Roth und Purpur besonders rein herstellen lässt. Bei der Gleichheit der Helligkeiten von Roth und Blau konnte also auch mit dem nämlichen Blau das Nachbild von Blau neben Grau auf Roth ausgeglichen werden, wie es unter Beibehaltung der nämlichen Intensitätsstufe schon in Tab. VII, S. 367 als möglich festgestellt worden war. Hier war aber nun, der ganzen Fragestellung entsprechend, vor allem die Intensitätsstufe des reagirenden Roth in möglichst großem Umfange zu variiren, und hierzu diente die Scheibe für die Spiegelanordnung, die in Cap. 2, III, 4, S. 347 ebenso wie die Scheibe (Taf. III, Fig. 5) ausführlich beschrieben worden ist. Das Nachbild wurde dabei der obersten Intensitätsstufe entnommen, und außer in dieser Stufe selbst noch auf drei anderen Intensitätsstufen gemessen. Da hier die unterste Stufe von der ursprünglichen ziemlich weit entfernt lag, machte sich auch der Einfluss des Purkinje'schen Phänomens stärker bemerklich. Das mit etwas Roth vermischte Blau (an Stelle des ursprünglichen Blau), das auf dieser untersten Stufe gegenüber dem reinen Roth längst zu gelbröthlich aussah, übertraf das Roth schon bedeutend an Helligkeit und erschwerte damit diese Ein-

stellung, so dass der Werth von  $4^\circ$  nur als Angabe des sicher nicht überschrittenen Maximums zu betrachten ist.

**Tabelle XIX.** Nachbild von Blau neben Grau auf Roth von verschiedener Intensität gemessen. (Vergl. Fig. 16.)

$330^\circ \text{ Bl} + 30^\circ \text{ S}$  neben  $20^\circ \text{ W} + 340^\circ \text{ S}$   $\frac{20}{3}$  Sec.<sup>1)</sup> fixirt.

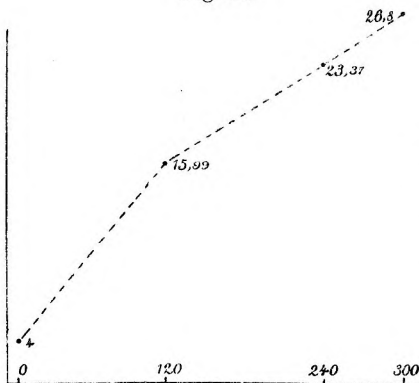
Helligkeit des Blau = Helligkeit des Roth =  $120^\circ$  Farbe =  $10^\circ \text{ W}$ .

Spectrum des Blau = 2. Blau. Spectrum des Roth = 2. Roth.

Intensitätsstufen	$< 4^\circ$	$120^\circ$	$240^\circ$	$300^\circ$
Farbe des ursprünglich blauen Feldes	$< 4^\circ \text{ Bl}$ + $> 356^\circ \text{ S}$	$15,9^\circ \text{ Bl}$ + $104,1^\circ \text{ R}$ + $240^\circ \text{ S}$	$23,4^\circ \text{ Bl}$ + $216,6^\circ \text{ R}$ + $120^\circ \text{ S}$	$26,8^\circ \text{ Bl}$ + $274,2^\circ \text{ R}$ + $60^\circ \text{ S}$
Farbe des ursprünglich grauen Feldes	$< 4^\circ \text{ R}$ + $356^\circ \text{ S}$	$120^\circ \text{ R}$ + $240^\circ \text{ S}$	$240^\circ \text{ R}$ + $120^\circ \text{ S}$	$300^\circ \text{ R}$ + $60^\circ \text{ S}$
Differenz als Maß des Nachbildes	$< 4^\circ$	$15,9^\circ$ (m. V. $2,5^\circ$ )	$23,4^\circ$ (m. V. $3,1^\circ$ )	$26,8^\circ$ (m. V. $5,1^\circ$ )

Ebenso wie oben, bei der Messung des Nachbildes auf verschiedenen Intensitätsstufen der Farben, die bei seiner Entstehung theiligt waren, nimmt auch hier bei der Projection auf eine andere Farbe der Nachbildwerth zwar relativ nach oben hin ab, der absolute Werth nimmt jedoch ebenfalls nach oben hin zu.

Fig. 16.



Blau neben Grau fixirt.

Messung des Nachbildes auf verschiedenen Intensitätsstufen des Roth.

Der äußere Eindruck, dass die Farbe bei abnehmender Intensität immer mehr nach der Complementärfarbe verschoben erscheint, ist also nicht der Ausdruck dafür, dass eine constante oder gar zunehmende complementäre Erregung hinzuaddirt wird;

die »beigemischte« Complementärwirkung wird vielmehr in ihrem absoluten Werthe nach unten hin kleiner, wenn auch nicht vollständig

1)  $160^\circ$  am Zeitsinnapparat =  $\frac{4}{3} T$  ( $T = 5''$ ).

proportional, so dass das gesammte »Mischungsergebniss«, wenn man überhaupt von einem solchen hier sprechen dürfte, immer mehr nach der Complementärfarbe zu gelegen ist. Auch für die ursprünglich fixirten Farben gilt ja die Thatsache, dass sie als reagirende Farben mit zunehmender Intensität immer weniger an Sättigung zu verlieren scheinen.

Wenn nun die Resultate eines idealen Experimentes für diese Fragestellung die nämlichen bleiben würden, so wäre die Zurückführung der Nachbildwirkung auf einen constanten (oder nach unten hin gar zunehmenden) complementären Process, der zu den im Sinne der »Ermüdung« modificirten Erregungen durch die äußeren Reize noch hinzutritt, nicht mehr ausreichend. Man könnte nicht mehr für das absolute Sinken des Nachbildwerthes nach unten hin die Ermüdung im Sinne des F.-H.'schen Satzes, hingegen für die relative Zunahme des Werthes nach unten hin, d. h. bei schwächer werdenden Reizen beliebiger Reactionsfarben, eine positive complementäre Erregung verantwortlich machen. Denn gerade dasjenige Moment, das die positive Complementärwirkung besonders stützte, nämlich das Nachbild auf anderen Farben, die bei Entstehung des Nachbildes nicht betheiligte waren, folgt selbst in gewissem Sinne dem F.-H.'schen Satze, d. h. es nimmt mit zunehmender Intensität der fremden Farbe zu, wenn auch diese Zunahme keiner reinen directen Proportionalität nach oben hin entspricht.

Nicht die Annahme einer positiv hinzutretenden complementären Erregung, die sich bei Entfernung anderer Hindernisse immer freier auswirkt, sondern die weitere Verwerthung des Erregbarkeitsbegriffes, wie er schon für die Reaction der bei Entstehung des Nachbildes betheiligten Farben angewendet worden war, könnte also dann die Wirkung des Nachbildes auch auf den anderen Farben mit umfassen. Es müsste im Wesen des negativen Farbenachbildes liegen, in allen thatsächlichen Farbenerregungen als Erregbarkeitsfactor zur Geltung zu kommen, wenn auch nur im Maße der Verwandtschaft dieser Erregung zu den ursprünglich betheiligten Farbenpaaren, wie aus den geringeren absoluten Werthen der Nachbilder zu ersehen ist. Auch würde der Proportionalitätsfactor dieser Analogien zum F.-H.'schen Satze bei den anderen Farben (unter Voraussetzung des reinen Farbenachbildes) ebenfalls nur eine

Verschiebung nach der Complementärfarbe der ursprünglich fixirten Farbe bedeuten. Ebenso wie die Verschiebung des Farben-Intensitäts-Nachbildes (d. h. also des Nachbildes der Farbe neben Schwarz) im Sinne der Ermüdung einer proportionalen Verschiebung auf der Linie nach dem Intensitätsnullpunkte zu entspricht, würde das reine Farbennachbild für alle beliebigen Farben eine proportionale Verschiebung innerhalb derjenigen Linie des Farbencontinuum bedeuten, die alle möglichen Farbentöne gemäß ihrer phänomenalen Verwandtschaft mit einander verbindet und zu einem in sich kreisförmig geschlossenen Continuum umschließt. Die Veränderung der bei der Entstehung des Nachbildes selbst beteiligten Farbe wäre nur ein Specialfall dieser das ganze Farbensystem proportional ergreifenden Verschiebung nach dem Complemente der ursprünglich fixirten Farbe hin.

Ohne dass aus einer Widerlegung dieser Auffassung der quantitativen Verhältnisse negativer Farbennachbilder ein Schluss gegen eine Theorie gezogen werden könnte, welche jene innere Abgeschlossenheit des Farbensystemes besonders betont, würde ich doch bei fernerer Bestätigung dieser Versuche einen neuen Beweis für die Annahme einer in sich geschlossenen, einheitlichen physiologischen Grundlage für das ganze System der Farbenempfindungen erblicken, wie sie bisher nur in den Grundgedanken der Wundt'schen Periodicitäts- oder Stufen-theorie vorausgesetzt ist<sup>1)</sup>.

---

1) Vom rein phänomenalen Standpunkte aus wäre natürlich auch gegen die Annahme eines proportionalen Anwachsens der complementären, positiv beimischten Erregung nichts einzuwenden, abgesehen von der Erhaltung der Gesamtintensität, die doch nicht so ganz unabhängig vom absoluten Maß der tatsächlichen Farbenwerthe gelassen werden kann. Nur wäre jedenfalls die Erklärung eine viel weniger einheitliche, wie es eben bei jeder Zerreißung der Einheit des Farbensystems in seiner physiologischen Grundlage gegeben ist. Die Erklärung des negativen Nachbildes, das eine phänomenale Verschiebung nach der Complementärfarbe bedeutet, aus einer complementären positiven »Beimischung« wäre als ein Ueberrest derjenigen Auffassung zu betrachten, welche der physikalischen Mischung der Reizqualitäten, die bestimmten subjectiven Ergebnissen entsprechen, eine »Mischung« der subjectiven Momente analog setzt, wie z. B. die »Mischung« der »Weißerregung« aus drei Grunderregungen. Nur würden eben hier der Mischung der Reizqualitäten behufs subjectiver Ausgleichung des Nachbildeffectes solche »subjective Mischungen« parallel gesetzt sein. Vielleicht handelt

Was aber einer so allgemeinen Deutung der bisherigen Versuche noch im Wege steht, sind alle Einwände dagegen, dass die reagirende Farbe an dem Complemente der ursprünglich fixirten Farbe wirklich hinreichend unbetheiligt sei. Auch die Young-Helmholtz'sche und die Hering'sche Farbentheorie nehmen ja für die meisten Farben eine Betheiligung aller Grundfarben oder Urfarben an, so dass, abgesehen von der positiven complementären Wirkung, auch hier noch Erregbarkeitsveränderungen gegenüber neuen Reizen im Sinne der Ermüdung und Erholung vorkommen müssten. Der absolute Werth der hierbei auf anderen Farben gefundenen Nachbildwirkung, die dem F.-H.'schen Satze folgt, ist indessen trotz einer unverkennbaren Abnahme immer noch viel zu groß, um bei solcher Entfernung der reagirenden Farbe von der ursprünglich fixirten Farbe und von ihrem Complemente in der Nähe einen Nullpunkt dieses Werthes erwarten zu lassen, wie es thatsächlich der Fall sein müsste. Ein relatives Minimum hingegen wäre sehr leicht denkbar. Doch können hier nur Versuche mit Spectralfarben die Entscheidung bringen, in denen man uneingeschränkt variirbares homogenes Licht verwerthet.

Dies wäre also der erste Punkt, für welchen ich eine Ergänzung in einer folgenden Arbeit in Aussicht stelle, nachdem sich wenigstens gewisse wahrscheinliche Gesichtspunkte einstweilen mit diesen einfacheren Hilfsmitteln ergeben haben. Die hinreichend exacte Fest-

---

es sich aber auch hier eben nicht um »Beimischungen von positiven Erregungen«, sondern um proportionale Abänderungen der entsprechenden Prozesse nach Richtungen hin, die in der physiologischen Grundlage eben wegen ihrer Vielseitigkeit von vornherein ebenfalls gegeben sind. Um ein Beispiel aus einem ganz anderen Gebiet zu erwähnen, sind z. B. alle mit normaler Vielseitigkeit der Unterscheidungsmöglichkeiten verbundenen persönlichen Abweichungen des Farbensehens, die subjectiv verschiedenen Qualitäten der Complementärfarben u. dergl. solche Verschiebungen nach anderen benachbarten Farbentönen hin, wie sie einer einheitlichen, verschieden procentualen Verschiebung innerhalb der Farbenkreislinie entsprechen, ohne dass hieraus irgend welche näheren Rückschlüsse auf eine Verwandtschaft des Wesens der Prozesse gezogen sein sollen. Die Annahme einer Einheitlichkeit des ganzen Farbensystems in seiner Reaction auf eine bestimmte Nachbildwirkung würde insbesondere mit der Thatsache übereinstimmen, dass ein Nachbild einer Farbe neben Grau bezw. neben ihrer Complementärfarbe überhaupt durch Zumischung der ursprünglich dort fixirten Farbe vollständig compensirt werden kann, so dass nicht nur Gleichheit des Farbentones, sondern auch der Sättigung erreicht wird, also mit der Erscheinung, die schon in Cap. 1, I, 3, S. 325 ff. als eine besondere Thatsache hervorgehoben wurde.

stellung für die Variation der reagirenden Intensität der fixirten Farbe bezw. ihres Complementes gibt doch bereits die Möglichkeit, zu der auf S. 317 angeführten Frage Stellung zu nehmen, ob die Einfachheit der Function in Abhängigkeit von der einfachsten Variation der Reize eine peripherere Localisation des ganzen Processes nahe lege. Die große Annäherung an die gerade Linie in den mittleren Regionen scheint eine Bejahung dieser Frage zu befürworten.

**Achtes Capitel.**

**Variation des Helligkeitsverhältnisses der fixirten Farben.**

Im VI. Capitel hatte sich die Möglichkeit ergeben, Nachbilder aus der Fixation verschieden intensiver Nachbarfarben nach der bisherigen Methode zu messen, und das vorige Capitel hat gezeigt, dass die höhere reagirende Intensitätsstufe im allgemeinen immer den höheren Nachbildwerth ergibt. Aus beiden Thatsachen lässt sich also nun

mit Bestimmtheit voraussagen, dass sich das frühere Verhältniss der Werthe,

das bei gleicher Helligkeit der fixirten und späterhin reagirenden Farben eine Steigung nach Blau und Grün hin gezeigt hatte, in ganz beliebiger Weise verändern und z. B. in eine Gleichheit der

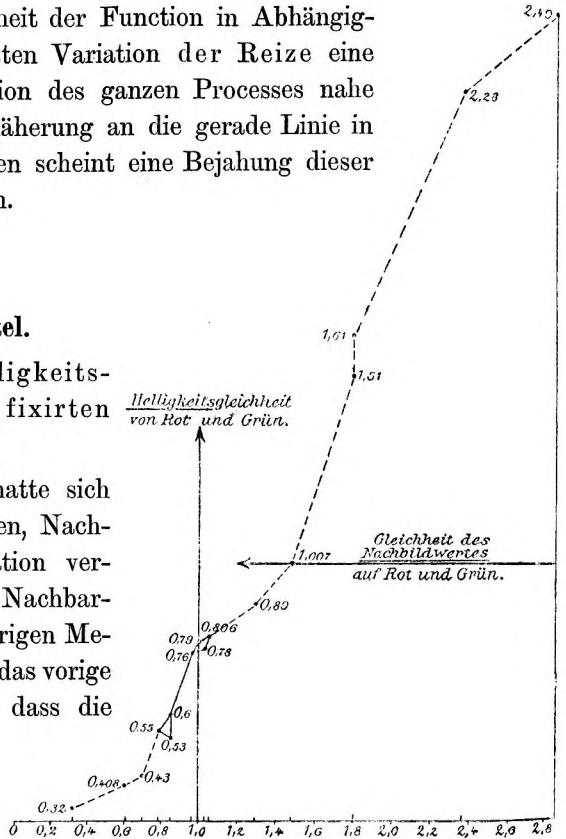


Fig. 17.

Curve zur Darstellung der Abhängigkeit des Werthes

$$\frac{N_{\text{Roth}}}{N_{\text{Grün}}} \text{ vom Helligkeitsverhältniss } \frac{H_{\text{Roth}}}{H_{\text{Grün}}}$$

Werthe der Ordinate { Verhältniss der beiden Werthe des Nachbildes von Roth neben Grün verschiedener Helligkeit je auf Roth u. auf Grün gemessen.  
 Werthe der Abscissen { Verhältniss der Helligkeit des jeweils combinirten Roth und Grün.

Tabelle XX.

Nachbilder bei verschiedenen Intensitätsverhältnissen der fixirten Farben.

1. Nachbilder von Roth neben Grün (Fig. 17).  
(Ueberall halbe absolute Werthe.)

Nummer	Helligkeit d.		Fixationszeit	Intensitätsstufe	Messung auf Roth	Messung auf Grün	Helligkeitsverhältniss (umgerechnet)	Steigung d. Curve f. das Nachbild Cotangente
	Roth $60^\circ R = x^\circ W$	Grün $60^\circ G = x^\circ W$			Ueberschuss für reines reagirendes Roth (d. h. für $60^\circ$ , bezw. $90^\circ$ )	$x^\circ$ Ueberschuss f. reines reagirendes Grün (d. h. f. $60^\circ$ , bezw. $90^\circ G$ )		
1	5	21	5"	60°	6,7° (m. V. 0,3)	20° (m. V. 1°)	0,32	0,34
2	11,5	21	5"	60°	9,5° (m. V. 0,5)	23,2° (m. V. 2,2°)	0,618	0,408
3	11,25	18	15"	60°	15,2° (m. V. 0,3°)	35,3° (m. V. 0,9°)	0,71	0,43
4	14	18	5"	90°	16,6° (m. V. $\angle 0,5^\circ$ )	29,5° (m. V. 1,5°)	0,808	0,55
5	14	18	5"	90°	30° (Plötzliche Einstellung) 50°		0,84	0,60
6	15	18	5"	60°	10,6° (m. V. 0,2°)	20,5° (m. V. $\angle 0,5^\circ$ )	0,85	0,53
7	11,5	12,5	5"	60°	14,2° (m. V. 0,8°)	18,5° (m. V. 0,5°)	0,97	0,76
8	11,5	11,5	5"	60°	15,6° (m. V. 0,3°)	20° (m. V. 1,6°)	1,00	0,78
9	19	18	5"	90°	27° (m. V. 2,8°)	33° (m. V. 2,8°)	1,01	0,79
10	19	18	8"	90°	Direct durchfallendes Licht 32° (m. V. 1°)   41° (m. V. 0,5°)		1,017	0,78
11	19	18	15"	90°	33,5° (m. V. 3,5°)   42,7° (m. V. 2,9°) Transparent		1,017	0,784
12	19	18	5"	60°	15,5° (m. V. 2°)	19,2° (m. V. 2,3°)	1,04	0,806
13	11,5	6,75	5"	60°	25° (Plötzliche Einstellung) 28°		1,31	0,89
14	11,5	6,75	5"	60°	19° (m. V. 1,5°)	18,7° (m. V. 0,3°)	1,5	1,007
15	11,5	5	5"	60°	21° (m. V. 1,3°)	13° (m. V. 1°)	1,82	1,61
16	16	7	5"	60°	21,2° (m. V. 0,5°)	14° (m. V. $\angle 0,5^\circ$ )	1,82	1,51
17	21	5	5"	60°	32° (Plötzliche Einstellung) 14°		2,42	2,28
18	21	5	5"	60°	24,2° (m. V. 0,5°)	9,7° (m. V. 0,2°)	2,92	2,49

2. Nachbilder von Gelb neben Blau (Fig. 18).

Nummer	Helligkeit d.		Fixationszeit	Intensitätsstufe	Messung auf Gelb	Messung auf Blau	Helligkeitsverhältniss (umgerechnet)	Steigung der Curve für das Nachbild Cotangente
	Gelb 60° Ge = x° W	Blau 60° Bl = x° W			Ueberschuss für reines reagirendes Gelb (d. h. f. 60° bzw. 90° Ge)	Ueberschuss für reines reagirendes Blau (d. h. f. 60° bzw. 90° Bl.)		
1	10	13,5	5''	60°	12,9° (m. V. 0,8°)	22,3° (m. V. 2°)	0,74	0,578
2	10	13,5	5''	60°	28° (Plötzliche Einstellung)	34°	0,858	0,82
3	13,3	15,7	15''	60°	21,2° (m. V. 2,3°)	30,7° (m. V. 0,25°)	0,888	0,689
4	11	11	5''	60°	16,2° (m. V. 0,9°)	21,7° (m. V. 0,2)	1,00	0,745
5	11	7,75	5''	60°	19,5° (m. V. 3,2°)	17,3° (m. V. 0,4°)	1,23	1,13
6	30	10,2	5''	60°	24,5° (m. V. 0,5°)	10,1° (m. V. 0,5°)	2,19	2,42
7	34,5	6	5''	60°	22° (m. V. 1°)	6,4° (m. V. 0,8°)	4,0	3,43

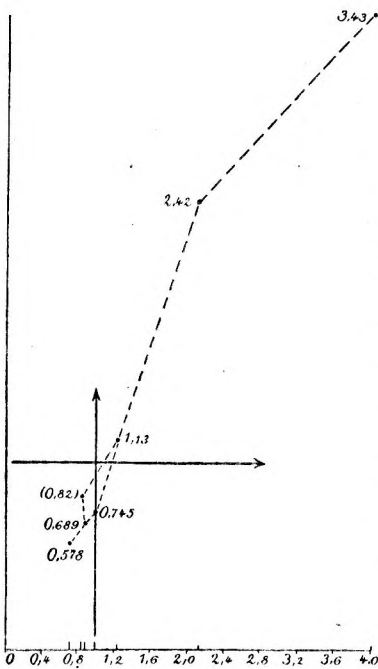


Fig. 18. II. Gelb-Blau.

Abhängigkeit des Werthes  $\frac{N_{\text{Gelb}}}{N_{\text{Blau}}}$  vom Helligkeitsverhältniss  $\frac{H_{\text{Gelb}}}{H_{\text{Blau}}}$ .

entsprechenden Werthe überführen lässt, wenn das Intensitätsverhältniss dieser beiden Farben entsprechend verändert wird. Es lässt sich geradezu für jedes beliebige Werthverhältniss das zugehörige Intensitätsverhältniss aufsuchen, wenn einmal für mehrere, möglichst gleichmäßig vertheilte Intensitätsverhältnisse das zugehörige Verhältniss der beiderseitigen Nachbildwerthe gefunden und das Ganze in einer Abhängigkeitscurve dargestellt worden ist, welche die wahrscheinlichen Werthe der zwischenliegenden Punkte ergibt. Im Folgenden ist nun thatsächlich für die vier Zusammenstellungen Roth und Grün, Gelb und Blau, Orange und Blau, Roth und Blau diese Curve aus zahlreichen Einzelgruppen abgeleitet worden, um vor allem das Intensitätsverhältniss dieser Farben für das Nachbildwerthverhältniss = 1 ausfindig zu machen.

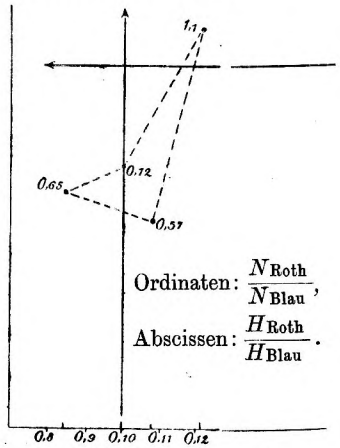
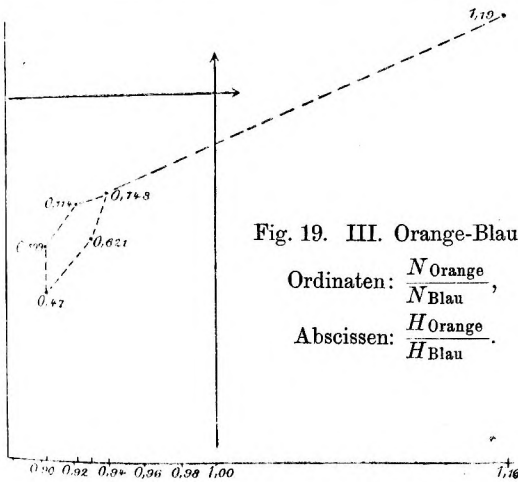
Bedeutung von Ordinaten und Abscissen wie bei I, wenn Gelb statt Roth u. Blau st. Grün gesetzt wird.



**3. Nachbilder von Orange neben Blau (Fig. 19).**

Nummer	Helligkeit d.		Fixationszeit	Intensitätsstufe	Messung auf Orange	Messung auf Blau	Helligkeitsverhältniss (umgerechnet)	Steigung der Curve für das Nachbild (Cotangente)
	Orange 60° Or = x° W	Blau 60° Bl = x° W			Ueberschuss für reines reagirendes Orange (d. h. f. 60° bezw. 90° Or)	Ueberschuss für reines reagirendes Blau (d. h. f. 60° bezw. 90° Bl)		
1	14	15,7	5''	60°	10,1° (m. V. 0,4°)	21,3° (m. V. 0,4°)	0,905	0,47
2	14	15,7	5''	90°	19,1° (m. V. 0,6°)	31,8° (m. V. 1,8°)	0,905	0,599
3	14	15,8	5''	90°	30° (Plötzliche Einstellung) 42°		0,924	0,714
4	10	11	5''	60°	13,5°	21,5°	0,93	0,62
5	11	12	5''	60°	17° (m. V. 0,8°)	22,5° (m. V. 0,5°)	0,94	0,748
6	11	8,7	5''	60°	20,3° (m. V. < 0,5°)	17° (m. V. 0,3°)	1,16	1,19

Fig. 20. IV. Roth-Blau.



**4. Nachbilder von Roth neben Blau (Fig. 20).**

Nummer	Helligkeit d.		Fixationszeit	Intensitätsstufe	Messung auf Roth	Messung auf Blau	Helligkeitsverhältniss (umgerechnet)	Steigung der Curve für das Nachbild (Cotangente)
	Roth 60° R = x° W	Blau 60° Bl = x° W			Ueberschuss für reines reagirendes Roth (d. h. f. 60°, bezw. 90° R)	Ueberschuss für reines reagirendes Blau (d. h. f. 60°, bezw. 90° Bl)		
1	11	13,5	5''	60°	10,3° (m. V. 1,3°)	14,1° (m. V. 1,2°)	0,84	0,65
2	11,5	11,5	5''	60°	14,5° (m. V. 0,5°)	21,1° (m. V. 1,8°)	1,00	0,72
3	11,5	10,5	5''	60°	9° (m. V. 0,4°)	15,6° (m. V. 0,6°)	1,08	0,57
4	13	10,2	5''	60°	14,2° (m. V. 2°)	12,9° (m. V. 0,6°)	1,21	1,10

Für einige andere Farbencombinationen sind wenigstens für ein oder zwei Helligkeitsverhältnisse die entsprechenden Nachbildverhältnisse zusammengestellt.

### 5. Die übrigen Farbencombinationen.

Farbencombination	Mittlere Intensitätsstufe	Verhältniss der Helligkeiten (berechnet wie oben)	Verhältniss d. Nachbildwerthe
1. Blau neben Grün	12° W	$\frac{H_{Gr}}{H_B} = 0,87$	$\frac{N_{Gr}}{N_B} = 0,606$
	11° W	$\frac{H_{Gr}}{H_B} = 1,00$	$\frac{N_{Gr}}{N_B} = 0,629$
2. Grün neben Gelb	10,25° W	$\frac{H_{Ge}}{H_{Gr}} = 0,95$	$\frac{N_{Ge}}{N_{Gr}} = 0,81$
	11° W	$\frac{H_{Ge}}{H_{Gr}} = 1,00$	$\frac{N_{Ge}}{N_{Gr}} = 0,88$
3. Roth neben Gelb	10,5° W	$\frac{H_{Ge}}{H_R} = 0,92$	$\frac{N_{Ge}}{N_R} = 0,67$
	11° W	$\frac{H_{Ge}}{H_R} = 1,00$	$\frac{N_{Ge}}{N_R} = 0,81$
4. Purpur (R + Bl) neben Grüngelb (Gr + Ge)	11° W	$\frac{H_{Gg}}{H_P} = 0,86$	$\frac{N_{Gg}}{N_P} = 0,86$
5. Hellgelb neben Violett	Gelb: 30° W Violett: 1,5° W	$\frac{H_{Ge}}{H_V} = 12,7$	$\frac{N_{Ge}}{N_V} = 4,75$

Alle bisher aufgefundenen Größenverhältnisse sind dabei mit vielen anderen, ausdrücklich zu diesem Zwecke unternommenen Versuchen combinirt worden, gleichgültig, welche specielle Versuchsanordnung, Einstellungsmethode, Fixationszeit oder mittlere Intensitätsstufe dabei vorhanden gewesen war. Der Einfluss dieser gleichzeitig mit angegebenen Factors auf unsere Frage kann dabei unmittelbar gesehen werden. Die Hauptrubriken der Tabelle sind die beiden letzten Verticalreihen, in welchen neben dem Intensitäts-

verhältniss der beiden, in den vorangehenden Verticalreihen enthaltenen Reactionsfarben  $\left(\frac{\text{Helligkeit des Roth}}{\text{Helligkeit des Grün}} \text{ etc.}\right)$  das Verhältniss der zugehörigen Nachbildwerthe  $\left(\frac{N_{\text{Roth}}}{N_{\text{Grün}}}\right)$  angegeben ist. Natürlich konnten für dieses Verhältniss nicht einfach die Helligkeiten in Proportion gesetzt werden, wie sie jedesmal der reinen, unvermischten Farbe bei deren Helligkeitsbestimmung zukamen. Denn für das Nachbild von Roth neben Grün ist z. B. die ursprünglich grüne Fläche, die mit ihrem Helligkeits- und Farbenwerth in beiden Verhältnissen als reagirende Fläche betrachtet wurde, nur bei der Messung auf möglichst gesättigtem Grün mit reinem Grün (im ersten Versuch von der Helligkeit 21) versehen. Bei der Messung auf möglichst gesättigtem Roth hingegen trägt sie eine Mischung von Roth und Grün, die aus der ersten von beiden Verticalreihen »Ueberschuss etc.« zu erkennen ist, wo der Ueberschuss eben für die ursprünglich grüne Fläche ein solcher an grüner Farbe ist. Die Helligkeit muss also ebenfalls erst aus der Mischung berechnet werden, in der  $(60-6,7)^\circ = 53,3^\circ$  Roth mit der Helligkeit 5 und  $6,7^\circ$  Grün mit der Helligkeit 21 enthalten sind, was die Gesamthelligkeit 6,78 ergibt. Erst dieses Verhältniss  $\frac{6,78}{21} = 0,32$  ist als »umgerechnetes Helligkeitsverhältniss« des reagirenden Roth und Grün in der vorletzten Verticalreihe angegeben, dem das Nachbildverhältniss  $\frac{6,7}{20} = 0,34$  entspricht. In den beigefügten Curven enthalten die Abscissen die verschiedenen Helligkeitsverhältnisse, denen die Nachbildwerthe in den Ordinaten zugeordnet sind. Dabei ist die Abscisse für das Nachbildverhältniss  $\frac{N_{\text{Roth}}}{N_{\text{Grün}}}$  etc. = 1, sowie die Ordinate für das Helligkeitsverhältniss  $\frac{H_{\text{Roth}}}{H_{\text{Grün}}}$  etc. = 1 in der Darstellung stark ausgezogen und mit Pfeilen markirt, um den Verlauf der thatsächlichen Werthe in der Nähe dieses kritischen Punktes besonders hervorzuheben. In Uebereinstimmung mit den bisherigen Versuchen, welche den Punkt des Nachbildverhältnisses für das Helligkeitsverhältniss annähernd = 1 isolirt prüften, führen nun sämmtliche Curven

deutlich sichtbar unter diesem idealen Treffpunkt hinweg. Allerdings ergibt sich gleich auf den ersten Blick keineswegs eine so große Annäherung der Curve an einen mehr oder weniger glatten oder geradlinigen Verlauf, wie sie bei den früheren Curven festgestellt werden konnte. Doch muss berücksichtigt werden, dass diese Function hier eine viel complicirtere Abhängige zu einer ebenfalls nicht einfachen Unabhängigen darstellt, die alle viele Einzelfactoren in sich aufgenommen haben. Im allgemeinen zeigen zunächst die Werthe der plötzlichen Einstellungen eine etwas größere Uebereinstimmung mit dem Helligkeitsverhältniss, wie die Werthe der Selbsteinstellung. Es ist nun schon früher im Capitel V über die Erholungsversuche festgestellt worden, dass die Werthe des ersten Momentes für eine bestimmte Intensitätsstufe nicht durch völlig proportionale Verkleinerung, sondern eher durch constante Abzüge in die entsprechenden Werthe eines späteren Momentes übergeführt werden können. Damit werden natürlich auch die Werthunterschiede der plötzlichen Einstellung relativ verringert, was dem kleineren Werth des reagirenden Roth und Gelb und damit auch dem angeführten Nachbildverhältniss  $\frac{N_R}{N_{Gr}}$  etc. gegenüber dem davon unberührten Helligkeitsverhältniss zu gute kommt und die Curve für diese Punkte erhöht. Ebenso bringt die größere mittlere Helligkeit eine Annäherung des Nachbildverhältnisses an das Helligkeitsverhältniss. Dies entspricht also wieder einem zu hohen Werthe für Roth, Gelb etc., der nach dem F.-H.'schen Satze selbst aus einer Ueberschätzung der reagirenden Helligkeiten folgen kann. Da nun die Helligkeiten der Farben übereinstimmend auf der Intensitätsstufe  $120^\circ$  gemessen wurden, so bringt eine Erhöhung der thatsächlichen Intensitätsstufe auf  $180^\circ$  gerade für Roth und Gelb nach der bekannten Regel eine höhere Helligkeit mit sich, wie sie zugleich ein für das angegebene Helligkeitsverhältniss zu hohes Nachbildverhältniss nach sich zieht. Uebrigens sind alle diese Abweichungen klein genug, um den Hauptcharakter der Curve unberührt zu lassen.

Indessen erheben sich vielleicht von anderer Seite Widersprüche gegen diese Zuordnung von Helligkeits- und Nachbildverhältnissen. Die Messungen sollen nach den Ausführungen des VI. Cap. eine Ausgleichung des Farben- und Helligkeitsnachbildes enthalten, und

zwar sicher eine Einstellung auf Helligkeitsgleichheit, wenn überhaupt nur eine einzige Einstellung, wie hier überall, gefunden wurde. Nun sind hier für ein bestimmtes Helligkeitsverhältniss der reagirenden Farben gleich große Nachbildwerthe gefunden. Diese letzteren entsprechen aber, da es sich für den Nachbildwerth  $\frac{N_R}{N_{Gr}} \frac{N_{Ge}}{N_{Bl}}$  etc.

= 1 um ein  $\frac{H_R}{H_{Gr}}$  etc. < 1 handelt, jederzeit zugleich gewissen, unter sich gleichen Helligkeitsdifferenzen in der Einstellung auf subjective Gleichheit. Somit hätte man das bei der Intensitätsdifferenz beider Farben zugleich vorhandene Helligkeitsnachbild auf zwei verschiedenen reagirenden Helligkeiten mit der nämlichen Helligkeitsdifferenz ausgeglichen. Hierin liegt aber offenbar ein Widerspruch gegen den F.-H.'schen Satz, wenn wir die bereits hinreichend bewiesene Vergleichbarkeit der Helligkeitswerthe verschiedener Farben innerhalb der Reaction auf negative Nachbilder aufrecht erhalten wollen. Jene Vergleichbarkeit würde ja auch erfordern, dass das nämliche Helligkeitsquantum eines indifferenten Grau zur Ausgleichung des Helligkeitsnachbildes auf verschiedenen Intensitätsstufen dienen könne. Es bleibt also kaum etwas anderes übrig, als für diejenigen Helligkeitsverhältnisse, die nahe bei 1 liegen, doch noch eine Art von Compromisseinstellung zuzugeben, welche das hier weitaus überragende Farbenachbild vor allem berücksichtigt, ohne dass man der minimalen Helligkeitsdifferenz gewahr würde, die bei der markant abgegrenzten Farbengleichheit noch vorhanden bleibt. Für dieses reine Farbenachbild könnte dann thatsächlich die Regel beibehalten werden, dass es nach Grün und Blau hin anwächst. Es würde diese specielle Eigenthümlichkeit dann nur bei Helligkeitsgleichheit klar hervortreten. Je mehr aber das Helligkeitsnachbild bei ansteigender Intensitätsdifferenz der nebeneinander fixirten Farben sich wieder geltend macht, um so mehr tritt dasselbe auch in seiner Proportionalität zu den reagirenden Helligkeiten in sein Recht, und sieht man in der That das Nachbildverhältniss dem Helligkeitsverhältniss nach beiden Extremen der Curven hin sich immer besser annähern. Doch kann auch das Verhältniss des Farbenachbildes nach den beiden Extremen hin nicht in gleicher Weise vom Helligkeitsverhältniss

entfernt bleiben, da ja bei der sonstigen Sicherheit für die Wahrnehmung eines einigermaßen deutlichen Auseinanderfallens beider Einstellungen in diesem Falle auch hier sich eine Doppeleinstellung ergeben müsste. Die auffällige Thatsache, dass die Curven unter ausschließlicher Berücksichtigung des Verlaufes in den Extremen in der Mitte leicht über den idealen Treffpunkt  $\frac{H_R}{H_{Gr}}$  und  $\frac{N_R}{N_{Gr}} = 1$  hinweg ergänzt werden könnten, darf also nicht einfach zur Correction der gefundenen Nachbildwerthe für diese mittlere Region verwendet werden, da sonst vielleicht doch besondere Verhältnisse des reinen Farbnachbildes über den Verhältnissen des in den Extremen vorwaltenden oder mindestens gleichwerthigen Helligkeitsnachbildes übersehen würden.

Wenn man nun unter Voraussetzung einer Richtigkeit aller Helligkeitsbestimmungen und dieses Compromisses für die Combination von Helligkeits- und Farbnachbild dem eigenartigen Vorzug des reagirenden Grün und Blau gegenüber Roth und Gelb einen bestimmten Sinn unterlegen wollte, so wäre zunächst etwa daran zu denken, dass vielleicht den relativ gleich großen Empfindungsverschiebungen auf der Verbindungslinie Roth-Grün, Blau-Gelb, Blau-Roth etc. innerhalb des Farbencontinuums verschieden große objective Beimischungen entsprechen. Dies würde sich also schon bei der einfachen Unterschiedsschwelle zeigen können, die für die eben merkliche Beimischung der Ausgleichungsfarbe zur reagirenden Farbe besteht. Der größere Werth des Nachbildes von Roth neben Blau auf reagirendem Blau gegenüber dem reagirenden Roth stände also in Parallele dazu, dass zu reinem Blau mehr Roth beigemischt werden muss als Blau zu reinem Roth, um die Verschiebung eben erkennen zu lassen. Ganz Entsprechendes müsste sich dann für die Vergleichung übermerklicher Unterschiede erwarten lassen. Diese Schwellenwerthe sind natürlich von der besonderen Qualität der beiden zu einander gemischten Farben abhängig und müsste zur vollen Entscheidung über eine diesbezügliche Erklärungsmöglichkeit eine sorgfältige Untersuchung mit ganz den nämlichen Farben angestellt werden, mit denen bei der Nachbildmessung gearbeitet wurde, was natürlich Sache einer besonderen Arbeit für sich wäre. Indessen zeigt sich die nämliche Eigenthümlichkeit

doch bei so verschiedenen Farbennuancen, dass zwar keine Auffindung ganz genau des nämlichen Zahlenverhältnisses, wohl aber doch der Hauptrichtung in der Abweichung mit beliebigen gut gesättigten Farben von gleicher Helligkeit aufgefunden worden sein müsste, wenn jemals dergleichen Messungen über Unterschiedsschwellen angestellt worden wären. Trotz der vielen psychophysischen Untersuchungen überhaupt ist man aber um der allgemeineren Fragestellung willen meist bei einfacheren Problemen stehen geblieben, nämlich der Bestimmung der Unterschiedsschwelle für Intensitätssteigerungen, wie sie durch Beimischung der nämlichen Farbe entstehen, oder der Unterschiedsschwelle für die Beimischung der unmittelbar benachbarten Farben und dergl. Auf Grund einer ganz speciellen psychologischen Fragestellung über »psychische Hemmungen« hat aber doch wenigstens G. Heymans<sup>1)</sup> in neuester Zeit gerade solche sog. »wechselseitige« Unterschiedsschwellen bestimmt, auf die es bei unserer Frage ankommt. Ohne dass ich hier auf eine Discussion der psychologischen Verwerthung der Resultate von H. eingehen wollte, will ich nur erwähnen, dass die »Hemmungsschwellen«, die H. für mehrere Farben in verschiedenen Intensitätslagen der »hemmenden« Reize aufsucht, rein phänomenologisch nichts anderes bedeuten, als die Unterschiedsschwellen für eine ebenmerkliche Beimischung der »gehemmten« Farbe zur »hemmenden« Farbe. Zudem hat H. glücklicherweise auch noch ausdrücklich mit möglichst angenäherter Helligkeitgleichheit der zu einander gemischten Farben gearbeitet, so dass sich seine Resultate noch besser mit der Verschiebung der unter sich gleich hellen Reactionsfarbe des Helligkeitsverhältnisses  $\frac{H_{Roth}}{H_{Grün}}$  etc. = 1 vergleichen lassen, wo dieser Vorzug des Grün und Blau besonders rein zur Geltung kommt. Aus Tab. I von H.'s Untersuchungen findet man nun in der That die ebenmerkliche Verschiebung des reinen Blau nach Roth hin viel größer als die umgekehrte, und ebenso übertrifft die ebenmerkliche Verschiebung von Blau nach Grün und von Grün nach Gelb ihr Gegentheil, wie es dem Vorzug der entsprechenden Nachbildwerthe

1) G. Heymans, Untersuchungen über psychische Hemmung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane, XXI, S. 321 ff., 1899.

angemessen wäre. Nur die Unterschiedsschwelle für Roth nach Gelb hin wird von der umgekehrten Richtung etwas übertroffen, während die Reactionen auf Nachbilder das umgekehrte Verhältniss zeigen; doch ist vielleicht gerade für Roth und Gelb, das H. als »braungelb« bezeichnet, der Vergleich seiner Pigmentfarben mit unseren Farbenwerthen nicht so unmittelbar gestattet. Roth-Grün und Blau-Gelb kommen leider auch bei ihm nicht vor. Ohne dass also vor eigenen Versuchen mit noch vergleichbareren Bedingungen etwas entschieden werden könnte, so ist doch schon aus dieser Vergleichung eine gewisse Wahrscheinlichkeit zu entnehmen. Damit würden also in diese ganze Frage, die ja überhaupt von dem Fechner'schen Parallelgesetz ihren Ausgang genommen hat, wieder gewisse Thatsachen der Psychophysik eingeführt. Insofern den größeren ebenmerklichen Farbenverschiebungen des Blau nach Roth hin nach den allgemeinen Anschauungen des Weber'schen Gesetzes auch vielleicht ein größerer absoluter Farbenwerth des reagirenden Blau entspräche, würde diese specielle Abweichung des Nachbildwerthes für Blau und Grün einen gewissen Schluss auf den größeren absoluten Farbenwerth dieser ganzen Farbenregion ziehen lassen. Hierdurch wäre dann der F.-H.'sche Satz für die reagirenden Farbenwerthe auch für diese specielle Eigenthümlichkeit als Erklärungsprincip beibehalten. Natürlich ließe sich diese Hypothese nicht etwa durch Steigerung der Nachbildwerthe bei Steigerung der Sättigung auf der gleichen Intensitätsstufe controlliren, da ja eine Herabminderung der Sättigung auf der nämlichen Intensitätsstufe nur durch Beimischung der Complementärfarbe erreicht sein konnte, die ja für sich als reagirende Farbe gerade die entgegengesetzte Abweichung zeigt. Für die Zusammenstellung mit gesättigteren Farben tritt daher die nämliche Abweichung des Werthes (mit einem mittleren Werth für Grau) erst am klarsten hervor.

Außerdem könnte man auch von einem ganz anderen Gesichtspunkte aus wiederum auf die Analogie verweisen, die einerseits zwischen Blau und Grün zu Dunkel und andererseits zwischen Roth und Gelb zu Hell besteht. Allerdings wird weiter unten ausführlich noch zur Sprache kommen, wie wenig auf Grund dieser Untersuchungen das allgemeine Wesen der Blau- und Grünerregung etwa



mit dem Wesen des Schwarz auf eine Stufe gestellt werden kann. Indessen wird eine gewisse Verwandtschaft immerhin zugestanden werden müssen, wie sie oben auch in der Gefühlswirkung zur Geltung kommt (vergl. Einleitung S. 314). Das größere Dunkel lässt nun nach den Ausführungen des vorigen Capitels als reagirende Fläche, abgesehen davon, dass es auf Grund seines eigentlichen Wesens die absoluten Werthe immer kleiner ausfallen lässt, doch eine relative Steigerung des Nachbildwerthes gegenüber den oberen Regionen zu. So könnte also auch das reagirende Blau und Grün abgesehen davon, dass es seinem allgemeinen Wesen entsprechend einen absoluten Nachbildwerth von ganz bestimmter Höhe ergibt, noch eine relative Steigerung auf der bestimmten Intensitätsstufe gegenüber den Werthen für reagirendes Roth und Gelb hinzutreten lassen. In Uebereinstimmung hiermit würde auch der Werth auf Blau, mit demjenigen von Grün verglichen, der höhere sein, wie es thatsächlich der Fall zu sein scheint.

Schließlich steht vorläufig natürlich immer noch der Einwand frei, dass vielleicht doch die unmittelbaren Helligkeitsbestimmungen für die verschiedenen Farben naturgemäß an gewissen constanten Fehlern leiden, um so mehr als gerade Grün und Blau diejenigen Farben sind, deren Helligkeit leicht unterschätzt wird (vergl. S. 314), während diejenige des Roth und Gelb leicht überschätzt zu werden pflegt. Zudem brauchten die positiven und negativen Schätzungsfehler,

welche dem thatsächlichen Helligkeitsverhältniss  $\frac{H_{Roth}}{H_{Grün}}, \frac{H_{Gelb}}{H_{Blau}}$  zu geringe Nachbildverhältnisse zuordnen ließen, thatsächlich gar nicht so bedeutend zu sein, um das vorliegende Resultat zu bewirken. Man würde also dann annehmen, dass die wirkliche Gleichheit der reagirenden Intensitäten, gleichgültig welcher Farbe, gleiche Nachbildwerthe liefern würden. Damit wäre dann natürlich auch die besondere Annahme einer Compromisseinstellung auf Farbengleichheit ohne Berücksichtigung des minimalen Helligkeitsunterschiedes unnöthig geworden, die bei der relativ großen Empfindlichkeit für diesen letzteren Unterschied thatsächlich etwas Missliches an sich hat. Doch steht diesem ganzen Versuche allerdings zum mindesten das sichere unmittelbare Bewusstsein der Helligkeitsgleichheit bei den unmittelbaren Schätzungen entgegen, das auch nach langer Einübung

und unter Berücksichtigung indirecter Hilfsmittel zu den eingerechneten Werthen geführt hat.

Ein ganz anderes Gesicht würde diese Ueberlegung selbstverständlich dann erhalten, wenn zwar die richtige Helligkeitsauffassung zugestanden, dafür aber im Sinne der Theorie von den specifischen Helligkeiten nach Hering auf die Thatsache verwiesen würde, dass die reinen Helligkeitswerthe der Farben von den hier bei mittlerer Helligkeitsadaptation gefundenen Werthen wirklich in dem nämlichen Sinne wie vorhin bei Annahme constanter Schätzungsfehler abweichen müssten, insofern bei dieser Schätzung der blaue und grüne Farberwerth einen specifischen Dunkelheitswerth, der gelbe und rothe hingegen einen specifischen Helligkeitswerth hinzufügte<sup>1)</sup>. Zunächst würde natürlich die Correctur auf die reinen Helligkeitswerthe nach dieser Theorie viel zu groß ausfallen, als es zur Uebereinstimmung mit den zugehörigen Nachbildverhältnissen geschehen dürfte. Außerdem wäre aber gar nicht abzusehen, warum die specifische Helligkeit nicht ebenfalls ganz im Sinne der reagirenden Helligkeit zur Geltung kommen sollte. Der Hinweis auf die Größe der Correctur, die sonst vorzunehmen wäre, zeigt ja gerade, dass wenigstens weitaus der größte Theil dieser specifischen Helligkeit in seiner Wirkung nicht von dem reinen Helligkeitswerthe unterschieden werden dürfte, so dass auch kein Grund vorhanden ist, den kleineren Rest nicht ebenfalls im nämlichen Sinne wirken zu lassen. Ferner stimmen auch nun im einzelnen die für das Helligkeitsverhältniss gefundenen Nachbildverhältnisse bei den verschiedenen Farbenzusammenstellungen mit den entsprechenden specifischen Helligkeitswerthen gar nicht überein, insofern für Gelb-Blau die gefundene Abweichung relativ am geringsten, für Roth-Grün etwas mehr und für Roth-Blau am größten ist. Auch wenn man unabhängig von der Theorie die Helligkeitsverhältnisse der Spectralfarben in der Projection auf dem weißen Schirme verwerthen wollte, die in der Schroffheit der Differenzen weit hinter denjenigen der unmittelbaren subjectiven Betrachtung zurückstehen, würde man nichts erreichen, insofern doch die Größen-

1) Doch soll hiermit natürlich nicht behauptet werden, dass in der Theorie der spec. Helligkeiten an sich schon die Nothwendigkeit einer solchen Stellungnahme zu unserer Frage enthalten liege. Es handelt sich nur um eine vielleicht nahe liegende Combination.

verhältnisse noch die gleiche Vertheilung beibehalten. Man müsste also höchstens wieder auf die Gemischtheit der Farben<sup>1)</sup> verweisen, die natürlich nicht allzu viel daran zu verändern vermag, wenn auch für diese specielle Frage in gleicher Weise wie für diejenige des vorigen Capitels hiermit Spectralversuche in Aussicht gestellt sein sollen.

### Zusammenfassung.

Soweit sich aus den bisherigen Versuchen ein allgemeinerer Ueberblick gewinnen lässt, scheint in der That der F.-H.'sche Satz auch die Gestaltung der farbigen Nachbildwerthe bei beliebiger Variation der reagirenden Farbenreize umfassen zu können, wenn man nur die Bedeutung der Erregbarkeitsveränderung, also den Grundbegriff des ganzen Satzes im Gegensatz zu der »positiven« Nachbildwirkung, allgemein genug zu fassen bereit ist. Die Entscheidung darüber, ob mit dem Begriff der Ermüdung und Erholung, zusammengenommen mit der Beimischung positiv complementärer Wirkungen im Sinne der Hering'schen Theorie über negative Nachbilder, allein auszukommen ist, oder ob ein allgemeinerer Begriff der Erregbarkeitsveränderung als einer proportionalen Verschiebung der Erregung in bestimmter Richtung für das ganze Farbensystem eingeführt werden muss, wird erst später mit Sicherheit getroffen werden können, wenn mir auch eine solche im letzteren Sinne, auf Grund gewisser oben beschriebener Versuche und wegen der Uebereinstimmung mit 1. Cap., I, 3, augenblicklich näher

1) Um die herrschenden Helligkeitsverhältnisse für die reinen Spectralfarben, die aus einem Spectrum von mittlerer Intensität entnommen sind, in der Schirmprojection näher zu charakterisiren, gebe ich die Episkotisterbestimmungen für 10 Streifen von ca. 1,5 cm Breite in einem zu 14 cm von A bis G entwickelten Projectionsspectrum:

Roth: 1) bis 25° W	Grün: 1) 110° (Anordn. Cap. 2,
2) 38° W	III, 9, S. 358)
Orange: 80° W	> 2) 79°
Hellste Stelle	> 3) 55°
im Gelb: 180° W	Grünblau: 21°
(im mittleren	Blau: 3°
Eindruck)	Indigo: 3°
	Violett: < 1°

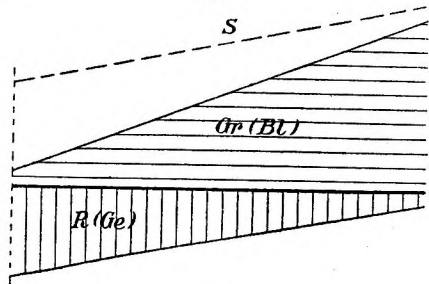
liegen würde. Jedenfalls vereinigte sich diese Annahme einer Verschiebung, die das ganze System (wenn auch in verschiedener Proportion) ergreift, sehr gut mit der Annahme einer einheitlichen, in sich geschlossenen physiologischen Grundlage für das ganze Farbensystem, deren verschieden abgestufte Specialisirungen den einzelnen Farbentönen entsprechen.

Die Verfolgung der verschiedenen Hauptrichtungen, die in der Einleitung bezeichnet wurden, zeigte für die einfachste Reizvariation der Reizsteigerung auch den einfachsten Functionsverlauf im Sinne des F.-H.'schen Satzes, und zwar für die Intensitätssteigerung sämtlicher untersuchter Farben in gleichem Sinne wie früher für die Steigerung der Helligkeit beim Helligkeitsnachbilde. Die Ergebnisse für die Variation der reagirenden Sättigungsstufen bei gleicher Intensitätsstufe lassen sich aber nun ebenfalls durch die Zurückführung auf die verschiedenen Farbencomponenten, die in der Mischung enthalten sind, in einfachster Weise dem speciell so genannten F.-H.'schen Satze für die Intensitätssteigerungen unterordnen. Es zeigt sich ja ohne Rücksicht auf die Sättigung der resultirenden Mischungsfarbe für eine bestimmte constante Gesamtintensität ein ungefähr constanter absoluter Nachbildwerth. Und dies gilt auch da, wo die Mischungscomponenten ihrem ganzen gegenseitigen Verhältniss entsprechend gar keine bedeutendere Sättigungsabnahme bewirken, wie z. B. bei der Messung des Nachbildes von Blau neben Roth auf den Mischungen von Roth und Blau bei gleicher Gesamtintensität, wo ebenfalls alle Zwischenstufen jenen annähernd constanten Werth zeigen. Es geht aber natürlich auch nicht an, die Gesamtintensität, wie sie in der gleich erhaltenen Helligkeit sich darbietet, zur entscheidenden Grundlage für die Gestaltung des farbigen Nachbildwerthes zu machen, so dass man also die constante »Helligkeit« für die Constanz des Werthes verantwortlich machte. Denn zunächst ist ganz allgemein eine Unterscheidung des Farben- und Helligkeitsprocesses geboten und in dieser Arbeit mit neuen Beweisen gestützt. Außerdem zeigt sich aber auch die oben oft erwähnte kleine, nur vom Farbentone abhängige Abweichung von dieser Constanz des Werthes bei gleicher Helligkeitsstufe. Wenigstens, wenn man diese Abweichung nicht für ein nur scheinbares Ergebnis

constanter Schätzungsfehler hinsichtlich der Helligkeit ansieht, wird man auch hieraus die ausschließliche Abhängigkeit vom reagirenden Farbenwerthe erschließen und, in guter Uebereinstimmung mit anderweitigen Thatsachen, einen etwas anderen, und zwar größeren Farbenwerth für Blau und Grün bei der nämlichen Helligkeit anzunehmen, als für Roth und Gelb. Alsdann ordnete sich also die Thatsache des annähernd constanten, nach Blau und Grün etwas ansteigenden Nachbildwerthes für die nämliche Helligkeitsstufe in einfachster Weise dem F.-H.'schen Satze nach dem folgenden Schema unter, wo die Intensitäten der beteiligten Farben die entscheidende Grundlage für das Farbnachbild ausmachen.

Die horizontal schraffierte Region  $Gr(Bl)$  würde dem Ansteigen der Nachbildcomponente für Grün mit steigendem Grünwerth (Blauwerth) der Mischung, die Region mit senkrechter Schraffirung  $R(Ge)$  dem (mit steigender Ersetzung des Grün durch Roth in der Mischung) ansteigenden Rothwerth entsprechen. Die Gerade  $S$  würde den Verlauf der Curve selbst als eine Summe der beiden anderen Werthe ergeben.

Fig. 21.



Die auf S. 364 erwähnte Möglichkeit einer constanten Abweichung der Linie  $S$  von der geraden Linie wäre nach diesem Schema z. B. in der Weise denkbar, dass man für jede der beiden Theilcurven  $Gr$  und  $R$  die oben ausführlich discutierte relative Zunahme des Werthes für die niedrigeren Reactionsstufen einführt. Alsdann würden beide Theilcurven gegen die Abscissenachse convex verlaufen und die Superposition beider Curven in der Linie  $S$  müsste eine noch größere Convexität besitzen. Wie schon erwähnt, ist aber aus den bisherigen Resultaten hierüber noch nichts mit Sicherheit zu entnehmen.

Eine einheitlichere physiologische Farbentheorie könnte natürlich schließlich einmal dieses Schema noch bedeutend vereinfachen und verallgemeinern. Es wird eben vor allem von einer sorgfältigen Untersuchung des Nachbildeffectes auf anderen, bei der Entstehung

nicht beteiligten Reactionsfarben abhängen. Auch für den unmittelbaren Anblick ohne subjective Ausgleichung müsste sich diese letztere im 7. Capitel ausführlich besprochene Frage behandeln lassen, wenn das reagirende Grau, das nach den allgemeinen Contrastgesetzen die subjective, unausgeglichene Differenz am besten hervortreten lässt, einmal aus den bei Entstehung des Nachbildes beteiligten Farben, und das andere Mal aus einem möglichst davon entfernten complementären Paar gemischt worden ist.

Mit dieser einfachen Abhängigkeit von der einfachsten Reizsteigerung und von den Componenten, die in eine Mischung eingehen, unabhängig vom Sättigungsgrade, zeigt sich aber nun das negative Nachbild thatsächlich als ein relativ peripherer Process, womit die schon in der Einleitung angeführte Frage getroffen wäre. Damit ist natürlich auch das Verhältniss der Erregbarkeitsveränderung zu den Componenten der Mischung ganz allgemein festgelegt. In den antagonistischen Process, in welchem sich complementäre Farbenprocesse gegenseitig aufheben, gehen bereits die im Sinne des negativen Nachbildes veränderten Farbenprocesse ein. Es scheint, als ob G. E. Müller in seiner Arbeit »Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen«<sup>1)</sup> die Annahme des »Antagonismus« mit der anderen für unzertrennlich verbunden hält, dass nur die »wirksamen Differenzen«, die den Antagonismus bereits hinter sich haben, als Angriffspunkte für die vorhandenen Erregbarkeitsveränderungen dienen, also die »reagirenden« Factoren im eigentlichen Sinne bilden. Hiermit soll dann vor allem die von v. Kries zuerst beobachtete Erscheinung allein vereinbar sein, wonach gleich aussehende Gemische aus verschiedenen Componenten, z. B. Roth + Grün = Blau + Gelb = Grau, auch nach einer bestimmten Erregbarkeitsveränderung, z. B. durch Fixation von Roth, die für die beiden Sehfeldbezirke der zu vergleichenden Gemische die nämliche ist, fortgesetzt einander subjectiv gleichen. Die Componententheorie im Sinne Helmholtz', wonach die Mischung des Grau eine »Ergänzung« bedeutet, ist hiermit, wie M. hervorhebt, unverträglich. Nun kann allerdings von unseren Bedingungen für Entstehung der negativen Nachbilder aus, wo zwei verschiedene Farben neben einander fixirt wurden, nicht

1) Zeitschrift für Psychologie, X, S. 323 f.

unmittelbar ein ganz eindeutiger Schluss auf das Maß der Veränderung gezogen werden, das eine von beiden Flächen für sich erfährt<sup>1)</sup>. Jedenfalls ist aber im allgemeinen jede von beiden Seiten an dem gefundenen Gesamtwerthe in dem bisher angegebenen Sinne theilhaftig. Denkt man sich also die rothe Fläche, auf welcher die Farbgleichung nach der Erregbarkeitsveränderung für Roth betrachtet werden soll, als die eine Seite unserer fixirten Farbdifferenz (z. B. Grau von gleicher Helligkeit als Umgebung), so würde das nämliche negative Nachbild von Roth neben Grau theils auf Roth + Grün, theils auf Blau + Gelb projicirt worden sein. Das »gleiche Aussehen« der beiden Gemische würde also auch ungefähr das nämliche Quantum Roth zur subjectiven Ausgleichung des Nachbildes an beiden Stellen nothwendig machen. Die »Componententheorie« in dem von M. kritisirten Sinne ist aber zur Erklärung dieses Thatbestandes nicht eigentlich deshalb unfähig, weil sie eine positive Ergänzung der verschiedenen Complementärpaare zu Grau behauptet, sondern vor allem deshalb, weil die Erregbarkeitsveränderungen durch Fixation von Roth sich nur auf Roth beziehen soll, falls das fixirte Roth »Grundfarbe« war. Aber auch eine antagonistische Theorie, die verschiedene unter sich völlig getrennte Paare von Gegenfarben annimmt, von denen z. B. bei Fixation von Roth nur eine theilhaftig ist, würde jener Thatsache nicht gerecht werden können, sobald eben die gemeinsame Veränderung auf Roth + Grün und Blau + Gelb nicht einer positiven Zumischung eines bestimmten Quantum complementären Grüns entspricht, sondern einer mit der Intensitätsstufe wachsenden Veränderung im Sinne des F.-H.'schen Satzes. Nun ist jedenfalls in Cap. VII für die Projection auf Grün + Roth, d. h. auf die bei Entstehung des Nachbildes theilhaftigen Farben, die Unzulänglichkeit einer bloßen »Zumischung« ohne Veränderung von »Erregbarkeiten« für die Reize festgestellt worden. Falls daher der von M. hervorgehobene v. Kries'sche Satz thatsächlich für alle reagirenden Intensitätsstufen zutreffen würde, so wäre auch für die Reaction anderer bei der Fixation unbetheiligter Farben (nämlich Blau + Gelb) ein proportional steigender Nachbildwerth erwiesen, wie er in Cap. VII am

1) Vergl. Philos. Stud., XVI, S. 528.

Schlusse als wahrscheinlich hingestellt wurde; zugleich als ein Gegenbeweis gegen die Zerreißung der einheitlichen Grundlage des Farbensystemes. Es wäre dann sogar der Werth auf den anderen Farben gleich groß, was nicht einmal als nothwendig gefordert wurde. Aber auch der v. Kries'sche Satz ist ja noch nicht in der angedeuteten Richtung vollkommen quantitativ festgelegt. Die Spectralversuche würden also auch diesen von G. E. Müller neuerdings hervorgehobenen Gesichtspunkt sorgfältig zu prüfen haben. Bei einem Resultat in unserem Sinne würden dann aber auch nicht mehr die »resultirenden Differenzen«, sondern die Mischungscomponenten in Betracht kommen, wie denn auch der Werth, mit welchem ein aus Grün und Roth gemischtes Grau auf das Nachbild von Roth neben Grün reagirt, nur aus der Zerlegung in die Werthe der (als antagonistisch zugestanden) Componenten begriffen wird.

Schließlich zeigt auch diese Untersuchung wiederum, dass alle Farbenerregungen als solche der positiven Helligkeitserregung analog gedacht werden müssen. Es geht nicht an, den Farbenprocess des Blau und Grün, soweit er für das negative Nachbild in Betracht kommt, zu Schwarz oder Dunkel, den Process für Gelb und Roth aber zu Weiß oder Hell in Analogie zu setzen, wie es mit der Zuordnung der beiderseitigen Farbengruppen zu den Vorgängen der Assimilation und Dissimilation geschehen ist. Alle positiven Farbenerregungen zeigen als reagirende Farben die directe Proportionalität des entsprechenden Nachbildwerthes, wie sie bei Steigerung der Helligkeit, d. h. also des Weiwerthes gefunden wird. Das Schwarz oder Dunkel hingegen ist die negative Seite des Ganzen, nach welcher hin auch die absoluten Werthe der Erregungsdifferenz jederzeit sinken. Wollte man aber nun diese Zuordnung des Farbengegensatzes Blau-Gelb, Grün-Roth zum Gegensatz Schwarz-Weiß dadurch wenigstens von diesen Einwänden seitens des F.-H.'schen Satzes befreien, dass man noch einen periphereren Process als Schauplatz der Nachbildwirkung vorschbe, dessen Producte erst der genannten Analogie anheimfallen sollten, so hätte man diese Farbentheorie gerade da verlassen, wo sie die besten Dienste leisten sollte.

(Fortsetzung folgt.)

Berichtigung: S. 345—69 ist das 1. Cap. einer früheren Eintheilung entsprechend als 2. Cap. citirt.



Fig. 1.

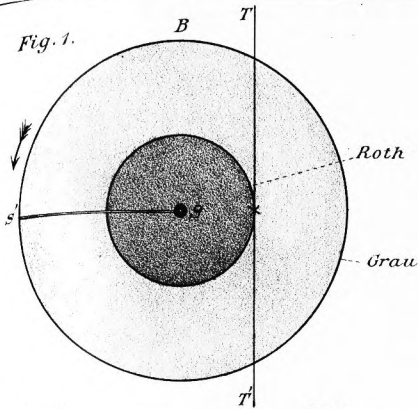


Fig. 2.

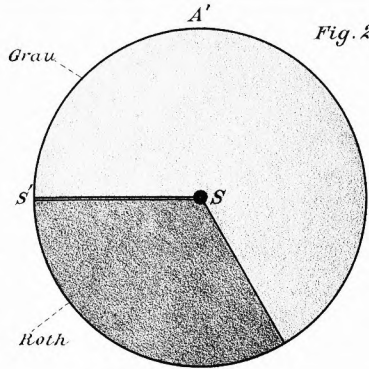


Fig. 3.

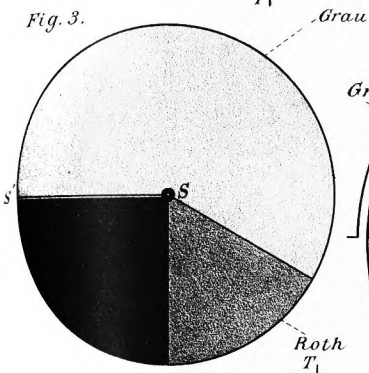


Fig. 5.

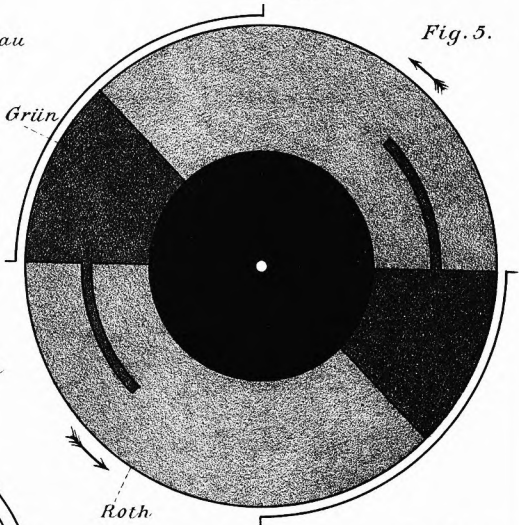


Fig. 4.

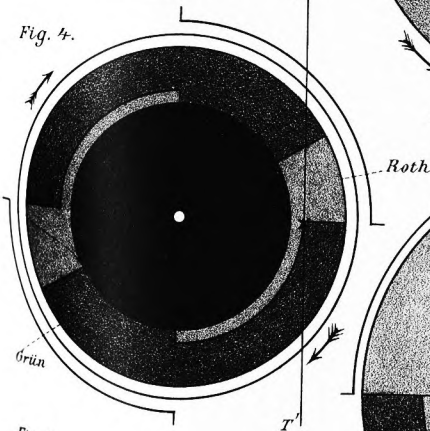


Fig. 6.

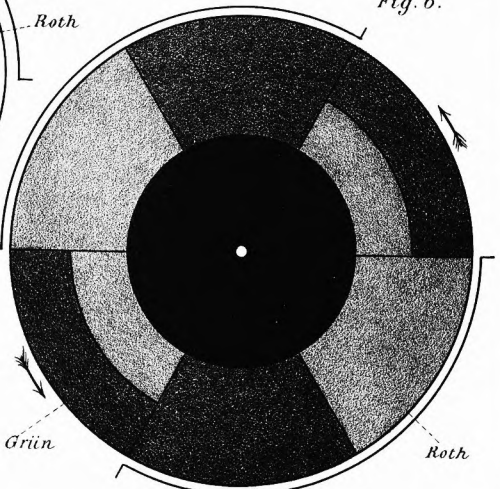
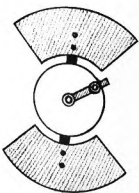


Fig. 7.



Anm. Die Helligkeitsdifferenzen dienen nur zur Farbenunterscheidung.

Fig. 1.

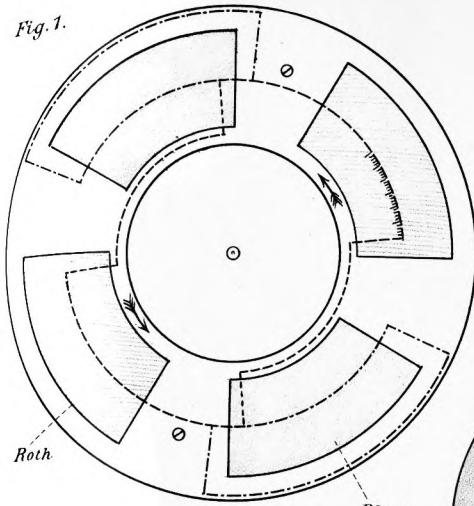


Fig. 1.<sup>a</sup>

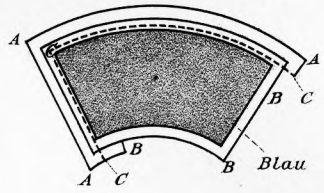


Fig. 2.

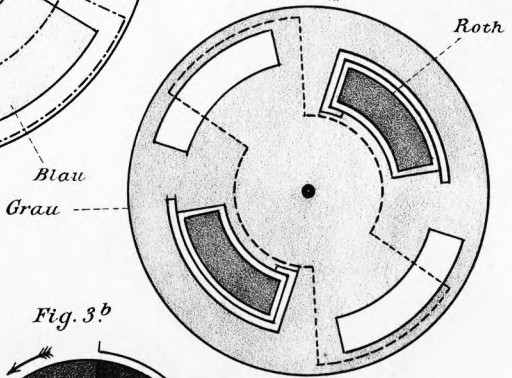


Fig. 3.<sup>a</sup>

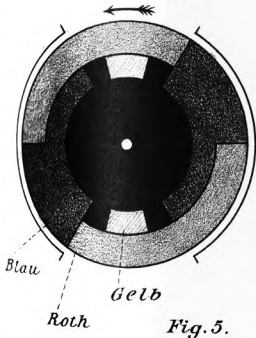


Fig. 3.<sup>b</sup>

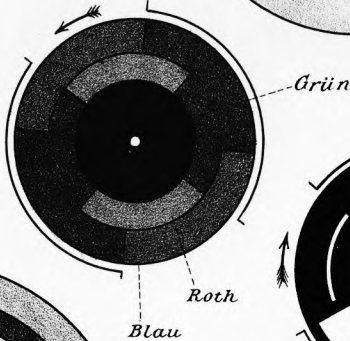


Fig. 4.<sup>a</sup>



Fig. 5.

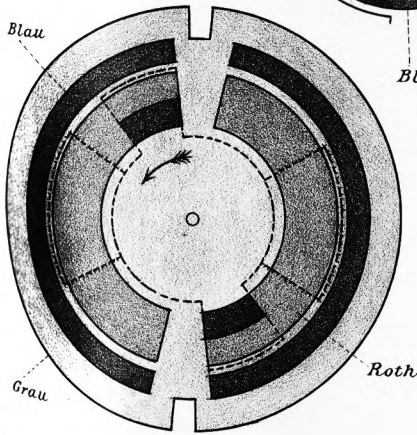


Fig. 4.<sup>b</sup>

