

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

Von

Wilhelm Wirth.

Mit 9 Figuren im Text und Tafel III.

Einleitung.

A. Historisch-Kritisches.

1. Die vorliegende Arbeit umfasst eine größere Anzahl von Versuchen, in denen der Marbe'sche Rotationsapparat, der eine Veränderung der Sectorenstellung während der Rotation gestattet, zur quantitativen Bestimmung negativer Nachbilder¹⁾ herangezogen wurde. Es handelt sich also dabei ausschließlich um die Messung jener Erregbarkeitsveränderungen des Sehorgans, die nach längerer Fixation farbloser oder farbiger Objecte erkennbar werden, im Gegensatz zu den Nachempfindungen, die auf kurzdauernde Reizung folgen und als »positive Nachbilder« bezeichnet zu werden pflegen. Als quantitative Bestimmung dieser Erscheinungen bewegen sich die vorliegenden Versuche in einer Richtung, deren Litteratur in den letzten Decennien bereits einen gewissen Umfang erreicht hat. Dabei denke ich natürlich an die prägnante Bedeutung dieser Bestimmungsweise im Sinne einer exacten Messung; denn Größenbestimmungen allgemeiner Art sind wohl fast in allen Abhandlungen über die Nachbilder enthalten und reichen daher weit vor die eben angegebene Zeit zurück. Es liegt dies ja auch schon im Wesen des Gegenstandes

1) In diese Bezeichnung darf in dieser allgemeinen Bedeutung natürlich keine Beziehung zur absoluten Helligkeit des primären Objectes und überhaupt keine absolute Qualität der im Nachbild vorhandenen Empfindung hineingelegt werden. Sie bedeutet nur die bekannte eigenthümliche Inversion der gegenseitigen Verhältnisse des Urbildes bei Projection des Nachbildes auf einfarbige Flächen.

selbst begründet. Denn einerseits mussten sich dem Beobachter von Anfang an die messbaren Factoren der Reizintensität und -dauer als wichtige Entstehungsbedingungen aufdrängen, und andererseits tritt die Erscheinung selbst in einem mehr oder weniger typischen Verlauf von Intensitätsabstufungen zu Tage. Vor allen hat bekanntlich schon Fechner vor mehr als 60 Jahren über den Intensitäts- und Qualitätsverlauf der Nachbilder je nach der Anfangsintensität und Reizdauer die sorgfältigsten Einzelbestimmungen gemacht, die bei jener allgemeinen Schätzungsmethode überhaupt möglich waren¹⁾. Man denke nur z. B. an die Bestimmungen über den Einfluss der Farben- und Helligkeitsverhältnisse innerhalb des ganzen Sehfeldes, welche in neuerer Zeit besonders G. Martius wieder in Erinnerung gebracht hat²⁾.

Zu Anfang verlangte man aber eigentlich auch gar nichts weiter als solche allgemeine Bestimmungen, aus denen sich die Theorie vorläufig in ihren allgemeinen Umrissen hinreichend entwickeln konnte. Erst im weiteren Ausbau derselben und im Wettstreit der verschiedenen Theorien wuchs auch das Interesse für genauere Messungen. Ohne jene allgemeinsten Vorkenntnisse wäre ja auch überhaupt keine zweckmäßige Anordnung für genauere Bestimmungen möglich gewesen. So ist also zunächst nicht vielleicht die thatsächliche Schwierigkeit quantitativer Bestimmungen auf diesem Gebiete der alleinige Grund für das frühere Unterbleiben derselben gewesen. Das andere Gebiet subjectiver Farben- und Helligkeitsveränderungen, das meistentheils mit den negativen Nachbildern zusammen behandelt zu werden pflegt, der simultane Contrast, wurde ja erst noch viel später nach exacteren Messungsmethoden untersucht. Und doch sind bei ihm exacte Versuche weit einfacher zu bewerkstelligen, falls überhaupt einmal die Absicht hierzu aufgekommen ist. Seine psychologische Erklärung durch v. Helmholtz hat wohl die exacte Messung hier so lange aufgeschoben, bis auch auf diesem psychologischen Gebiete die quantitativen Bestimmungen häufiger wurden. Die negativen Nachbilder waren hingegen schon ziemlich allgemein zu nervösen Vorgängen in nähere Beziehung gesetzt und daher einem Gebiete zugerechnet worden, auf welchem die exacteren Messungen schon längst zu Hause waren. Nachdem aber einmal das Interesse für quantitative Bestimmungen

1) Fechner, Poggend. Annalen 1838, XLIV, S. 513 ff. und 1840, L.

2) G. Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie. I, 1. S. 44.

negativer Nachbilder, vor allem durch v. Helmholtz' Verdienst, erwacht war, blieb es offenbar nur in Folge der Schwierigkeit solcher Versuche mit den damaligen Mitteln noch eine Zeit lang erfolglos. Am deutlichsten zeigt sich dies noch in Aubert's »Physiologie der Netzhaut« aus dem Jahre 1865. Dort wurde noch der unfreiwillige Verzicht auf die genaueren quantitativen Bestimmungen ausdrücklich betont¹⁾. Aubert beschränkte sich daher noch auf die Angabe »der Momente, welche die Dauer und die Intensität der negativen Nachbilder begünstigen und verändern«.

2. Aber schon im nächsten Jahre enthielt C. F. Müller's²⁾ Dissertation über den Verlauf der Netzhautermüdung den ersten Versuch, die Herabminderung der subjectiven Helligkeit weißer Flächen bei längerer Fixation zahlenmäßig zu bestimmen. Müller prüfte die Abhängigkeit dieses Helligkeitsverlustes von der Beleuchtungsstärke und der Reizdauer und suchte außerdem noch den Einfluss festzustellen, welchen die Helligkeitsadaptation bei Beginn der Versuche und die Stimmung des Auges zu den verschiedenen Tageszeiten ausübe. Er fixirte durch eine innen geschwärzte Röhre eine kleine weiße Fläche neben einer ebenso großen Oeffnung eines dunklen Kastens, die als annähernd lichtlos betrachtet werden konnte. Nach einer bestimmten Fixationszeit wurde dann vor die schwarze Oeffnung rasch ein graues Papier gebracht und bei Fortsetzung der Fixation mit der modificirten Helligkeit des weißen Papieres verglichen. Aus einer größeren Reihe grauer Papiere von verschiedener Helligkeit³⁾ konnte in dieser Weise bei häufiger Wiederholung des Versuches diejenige objective Helligkeit herausgefunden werden, welche der sog. »ermüdeten« Auffassung des Weiß gleich erschien. Von einer Aus-

1) A. a. O. S. 366.

2) Carl Friedrich Müller, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung, Zürich 1866.

3) Das Helligkeitsverhältniss dieser grauen Papiere zu dem verwendeten Weiß hat Müller bereits auf eine ganz ähnliche Weise bestimmt, wie sie später von Kirschmann zur Bestimmung der Helligkeit des Pigmentschwarz bei der geringen Verbreitung, welche diese Dissertation gefunden hat, neu erfunden werden musste. (Wundt, Philos. Studien, V, 1889, S. 292). Auch Müller verglich nämlich das graue Papier am Farbenkreisel mit einer Mischung aus Weiß und absolutem Schwarz, das durch einen sectorenförmigen Ausschnitt des weißen Papieres bei seinem Vorbeigehen vor der Oeffnung jenes Dunkelkastens gesehen wurde.

nutzung eines einzigen Versuches zu einer Messung musste bei der langsamen Variationsmöglichkeit der Vergleichsreize abgesehen werden. Die Abstufung der Reizintensität geschah durch Oeffnen und Schließen von Fensterläden. Trotz dieser einfachen Hilfsmittel hat Müller die Abhängigkeit von der Reizintensität und vor allem von der Fixationszeit so bestimmt nachgewiesen, dass von da an die Messbarkeit der negativen Nachbilder ein für allemal dargethan war. Er fand eine Unabhängigkeit der relativen Nachbildwirkung von der Beleuchtungsstärke, also eine directe Proportionalität zur Reizintensität, und ferner eine anfangs rasche, später immer langsamer fortschreitende Herabsetzung der scheinbaren Helligkeit bei Steigerung der Fixationszeit, so dass eine große Aehnlichkeit der entsprechenden Curve mit der Curve für die Zunahme der allgemeinen Adaptation des Sehorganes zu erkennen ist. Die relative Herabminderung der Helligkeit war ferner um so geringer, je länger das Auge vorher schon Lichtreizen ausgesetzt war. Seine anstrengenden Versuche nach vollkommener Dunkeladaptation sind in dieser Weise überhaupt noch nicht wieder aufgenommen worden. Endlich hat er auch bereits die specielle Frage in die Discussion seiner Resultate hineingezogen, welche in meinen eigenen Untersuchungen die Hauptfrage bildet. Ich meine denjenigen Gesichtspunkt, der zum ersten Male in Fechner's »Parallelgesetz« zum psychophysischen Grundgesetz in seiner Anwendung auf Gesichtsstreife ins Auge gefasst worden war¹⁾.

2a. Fechner erkannte es als eine nothwendige Folgerung seines allgemeinen Gesetzes, dass bei Herabsetzung der Empfindlichkeit die nämlichen objectiven Reizunterschiede zu einer ebenmerklichen Verschiedenheit erforderlich seien. Was die Gesichtsstreife anbelangt, so schloss er dabei ausdrücklich die extremen Fälle eines Ueberganges zwischen Hell- und Dunkeladaptation aus, in denen die Anomalien des oberen und unteren Reizgebietes zur Geltung kommen²⁾. Er dachte vielmehr besonders an die Herabsetzung der Helligkeit einer helleren Fläche auf dunklerem Grunde bei dauernder Fixation, die er auch beim Beginne seiner diesbezüglichen Ausführungen wieder anführt. Für eine solche gleichmäßig »ermüdete« Stelle sollte sein

1) Fechner, Elemente der Psychophysik, I, S. 300 ff.

2) A. a. O. S. 325.

Parallelgesetz gelten. Fechner hat aber nun nicht etwa einen solchen Fall quantitativ nachprüfen lassen; er machte vielmehr vor allem nur Gewichtsversuche und beschränkte sich bei der Discussion des Parallelgesetzes für den Lichtsinn auf die Abwehr der Einwände, welche aus der Vergleichung der Unterschiedsempfindlichkeit von verschiedenen Gesamtdaptationen, d. h. von Hell- und Dunkeladaptation erwachsen können. Da es ihm nur darauf ankam, die allgemeineren Thatsachen der Unterschiedsempfindlichkeit festzustellen, so konnten ihm allerdings auch genauere Versuche auf einem einzigen Gebiete genügen. Ja, er konnte von hier aus sogar die erwähnten Einwände aus dem Gebiete des Lichtsinnes gewissermaßen deductiv zurückzuweisen versuchen. Hätte es ihm hingegen der Zustand seines Sehvermögens noch erlaubt, die Reizdifferenz bei eben merklicher Verschiedenheit für eine solche relativ »ermüdete« Stelle des Sehfeldes mit seiner gewohnten Exactheit nachzuprüfen, so hätte man hierin nun nicht bloß einen exacten Nachweis seines Parallelgesetzes für den Lichtsinn besessen. Von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus wäre darin vielmehr zugleich ein experimenteller Beweis für die stets mitgedachte Voraussetzung seines Parallelgesetzes zu erblicken gewesen, dass jene sog. Ermüdung des Sehorganes thatsächlich für alle objectiven Lichtreize den gleichen Abstrich an Empfindungswirkung mit sich bringe. Denn das Gesetz über die Unterschiedsempfindlichkeit überhaupt bedeutet eine allgemeiner fundirte Thatsache, die eventuell als Glied in einer deductiven Schlusskette verwendet werden könnte. Eine solche Ableitung würde insbesondere für denjenigen eine gewisse Beweiskraft besessen haben, der im Fechner'schen Gesetze eine für alle Vergleichsurtheile geltende psychologische Thatsache erblickt, die ihrer Natur nach von einer relativ peripher begründeten Erregbarkeitsveränderung unabhängig bestehen bleibt. Die Unterschiedsschwellen einer ermüdeten Stelle können unter dieser Voraussetzung mit denjenigen einer unermüdeten Stelle nur dann annähernd übereinstimmen, wenn auf jener ersteren die Erregungen thatsächlich alle um einen proportionalen Theil herabgesetzt sind. Denn nur in diesem Falle stehen die zu den Unterschiedsschwellen gehörigen ebenmerklichen Reizdifferenzen in dem nämlichen Verhältniss zu den Gesamtreizen, wie im unermüdeten Zustande. Fechner glaubte aber überhaupt

nicht erst aus etwaigen Experimenten über das Parallelgesetz einen Nachweis darüber erlangen zu müssen, dass die Herabminderung der Erregung in Folge der Ermüdung dem objectiven Reize proportional sei. Diese Beziehung setzte er vielmehr als selbstverständlich voraus, nachdem er die hier gemeinte Modification der Empfindung überhaupt einmal als Erregbarkeitsveränderung betrachten und von dem »positiven« Theile der Nachempfindung trennen zu dürfen glaubte. In jenen allgemeiner gehaltenen Quantitätsbestimmungen, denen er diese Unterscheidung verdankte, lagen ja auch schon Erfahrungen über diese Beziehung zwischen Ermüdungsverlust und absoluter »reagirender« Reizhöhe enthalten. Er sah das negative Nachbild gegenüber dem positiven um so deutlicher hervortreten, je heller die Projectionsfläche war¹⁾.

v. Helmholtz hatte nun die Annahme einer solchen Proportionalität ebenfalls in dieser aprioristischen Weise von Fechner herübergenommen und in seiner »physiologischen Optik« auch bekanntlich mathematisch formulirt²⁾. Dabei wurden vor allem die Veränderungen der Helligkeit ins Auge gefasst. Er führte hierzu den Begriff des »reagirenden« Lichtes für denjenigen Lichtreiz ein, der auf eine Sehfeldstelle nach der Modification ihrer Erregbarkeit einwirkt, und erläuterte das Auftreten eines positiven oder negativen Nachbildes je nach der Helligkeit der reagirenden Fläche eben durch Beziehung jenes Proportionalitätsgesetzes für die negativen Nachbilder. Die letzteren lassen die Empfindungsgröße a der normalen Helligkeitsauffassung als $a\alpha$ erscheinen, wobei $\alpha < 1$ als Ermüdungscoefficient bezeichnet wird, während die positiven Nachbilder von der sonstigen Reizung unabhängig und rein additiv hinzutretend gedacht werden. Doch fehlt auch bei ihm noch der genauere experimentelle Beweis für seine Auffassung von dem jeweiligen Werthe des negativen Nachbildes. Er fügte nur der erwähnten Ableitung Fechner's noch die genauere Beobachtung hinzu, dass die negativen Nachbilder nicht nur bei intensivem reagirendem Lichte schneller hervortreten, sondern auch in denjenigen Helligkeitsstufen am deutlichsten sind, in welchen eben ein proportionaler Gewinn oder Ver-

1) Fechner, Poggend. Ann., L.

2) v. Helmholtz, Physiologische Optik, 2. Aufl., S. 508f.

lust neben der vollen Reizwirkung am besten hervorzutreten pflegt. v. Kries hat in seiner später zu erwähnenden Abhandlung diese Gesetzmäßigkeit, welche eigentlich weiter nichts ist als eine Umschreibung des Erfahrungsbegriffes der Erregbarkeitsveränderung, als Helmholtz'schen Satz bezeichnet. Aus den früher erwähnten Gründen wird man ihn aber doch wohl als Fechner-Helmholtz'schen Satz für negative Nachbilder bezeichnen müssen.

Auch C. F. Müller hatte also, wie schon angedeutet, auf Grund seiner Untersuchungen zu dieser bisher als selbstverständlich hingegenommenen Gesetzmäßigkeit Stellung zu nehmen versucht und eine Bestätigung derselben darin zu finden geglaubt, dass der Helligkeitsverlust sich bei den verschiedenen Beleuchtungen während der Versuche relativ gleich blieb.

3. Im Jahre 1874 erschien nun die Arbeit von Schoen über den »Einfluss der Ermüdung auf die Farbenempfindung«¹⁾, in welcher der Verfasser speciell von einer Discussion des Fechner'schen Parallelgesetzes ausging und durch ähnliche Experimente wie C. F. Müller zu einem Schlusse hierüber zu gelangen suchte. Schoen arbeitete im Unterschiede von Müller mit Spectralfarben. Durch die obere Hälfte eines Spaltes, der in seiner Breite oben und unten verschieden eingestellt werden konnte, kam zuerst das »ermüdende« Farbenlicht. Die untere Hälfte, die während der Ermüdungszeit durch eine geeignete Vorrichtung abgeblendet war, bot dann unmittelbar daneben unter Beibehaltung der Fixation das Vergleichslicht dar. Es kam darauf an, durch Variation der unteren Spaltbreite diejenige Intensität einer Spectralfarbe ausfindig zu machen, welche der länger fixirten Intensität des oberen Spaltes eben gleich erschien. (Für Gasbeleuchtung und Himmelslicht war bei dieser Einstellung auf Gleichheit der Helligkeit auch Sättigungsgleichheit vorhanden.) Die Resultate über die Abhängigkeit der Nachbildwirkung von der ermüdenden Intensität stimmten nun mit denjenigen von C. F. Müller gut überein. Es zeigte sich der sog. Ermüdungscoefficient für alle ermüdenden Reizintensitäten gleich. Schoen wies aber nun darauf hin, dass in diesem Resultate nicht eine Bestätigung, sondern eher eine Widerlegung jener Proportionalität zwischen Ermüdungscoefficienten

1) Schoen, Archiv für Ophthalmologie, XX, 2, S. 273 ff.

cient und reagirender Reizhöhe enthalten sei. Der F.-H.'sche Satz erfordert ja, dass bei gleichen Ermüdungsreizen diese Constanz des Ermüdungscoefficienten für die verschiedenen reagirenden Helligkeiten vorhanden sei. Bei den Müller'schen und Schoen'schen Versuchen waren aber ja verschiedene Ermüdungsreize verwendet worden. Es durfte also der Ermüdungscoefficient bei den verschiedenen Intensitätsstufen nicht constant sein, falls man an dem Satze soll festhalten können. Denn bei der Gültigkeit des letzteren hätte sonst eine höhere Intensitätsstufe als reagirender Reiz für die Nachbildwirkung eines weniger intensiven Reizes die nämliche Einbuße erlitten, als wenn sie selbst ermüdender Reiz gewesen wäre.

4. v. Kries glaubte aber nun aus den bisherigen Versuchen die Constanz des Ermüdungscoefficienten bei verschiedenen Ermüdungsreizen schon deshalb nicht mit Sicherheit entnehmen zu können, weil der ermüdende Reiz theils nicht exact genug, theils in zu geringem Umfange variirt worden sei. Seine eigenen Versuche aus dem Jahre 1877 bezogen sich daher hauptsächlich auf eine genaue Nachprüfung der Abhängigkeit des Ermüdungscoefficienten von Reizdauer und Intensität, und zwar unter möglichst umfangreicher und exacter Variation der Ermüdungsintensität¹⁾. Dabei verwendete er zum ersten Male bei diesen Messungen den gewöhnlichen Farbenkreisel. Die Scheibenfläche desselben bestand aus einer constant weißen Kreisfläche innerhalb eines breiten Ringes, der in seiner Helligkeit nach dem bekannten Maxwell'schen System variirt werden konnte. Während der Fixationszeit zur Entstehung der Nachbildwirkung war die variable Randzone durch eine ebenfalls ringförmig ausgeschnittene Scheibe von tiefschwarzer Farbe verdeckt, so dass die mittlere weiße Kreisfläche zunächst in schwarzer Umgebung fixirt wurde. Nach Wegnahme der Deckfläche wurde dann die Randzone mit einer beliebigen Helligkeit neben der weißen Mittelfläche ebenso sichtbar, wie bei Müller das graue Papier oder bei Schoen das vorher abgeblendete untere Spaltbild. Die ermüdende Helligkeit der mittleren Kreisfläche wurde durch die verschiedene Entfernung der Petroleumlampe variirt.

Dazu fügte er noch eine zweite Versuchsordnung. Die Vergleichshelligkeiten, die zunächst ebenfalls immer abgeblendet waren,

1) v. Kries, Archiv für Ophthalmologie, XXIII, 2. S. 1 ff.

wurden dabei in der Weise hergestellt, dass ein Kalkspath durch seine Doppelbrechung das Weiß und Schwarz von zwei nebeneinander angebrachten Flächen mischte, und ein davor befindlicher Nikol je nach seiner Stellung nur das Weiß der einen Fläche oder das Schwarz der anderen oder eine Graumischung von bestimmter Helligkeit aus jener Mischungszone hindurchließ. Auch hier wurden die Ermüdungsintensitäten durch eine weiße Fläche dargeboten, die sich über jener schwarz-weißen Fläche befand, und ebenfalls durch Nikol und Kalkspath hindurch gesehen wurde. Die verschiedene Entfernung der Petroleumlampe variirte auch hierbei die Intensitäten. Die Versuchsergebnisse zeigen in den Curven über die Abhängigkeit der Ermüdung von der Reizdauer einen anfangs raschen, später fortschreitend verlangsamten Abfall der Erregung, wie es auch Müller und Schoen annäherungsweise gefunden hatten. Auch über den Gang der Erholung hat v. Kries zum ersten Mal messende Versuche angestellt und die auch schon von Müller ausgesprochene Vermuthung bestätigt gefunden, dass die rückläufige Veränderung einen ähnlichen Verlauf nehme wie die Entstehung der Wirkung selbst. Bezüglich der Abhängigkeit des Ermüdungscoefficienten von der Intensität des Ermüdungsreizes weichen aber seine Resultate wesentlich von denjenigen seiner Vorgänger ab. Er fand, dass der Ermüdungscoefficient bei Erhöhung der Reizintensität hinter der directen Proportionalität zuerst wenig, dann aber immer mehr zurückbleibt. Vom Standpunkte Schoen's aus wäre in diesem Ergebniss allerdings keine Beseitigung, sondern eher eine Steigerung seiner Bedenken gegen den F.-H.'schen Satz enthalten gewesen. v. Kries betonte aber ausdrücklich mit Recht, dass weder in seinen, noch in den früheren Versuchen ein directer Beweis für oder wider enthalten sein könne. Ueberall sei das ermüdende Licht zugleich das reagirende gewesen, und niemals habe man gemessen, welche Veränderung die verschiedenen Helligkeitsstufen unter constanten Ermüdungsbedingungen erleiden. Der F.-H.'sche Satz sei also »weder bestätigt noch widerlegt«.

5. Das reagirende Licht wurde nun zum ersten Male bei constanten Ermüdungsbedingungen in solchen Versuchen variirt, in denen es sich um die Erregbarkeitsänderung hinsichtlich des Farbtones handelte. Schon Helmholtz hatte früher einen Spectralapparat für

derartige Untersuchungen eingerichtet¹⁾. Die Farben des Spectralapparates, welche als reagirende Farben nach Entstehung eines negativen Nachbildes verwendet werden sollten, waren für das Auge zunächst durch ein Stahlspiegelchen vor dem Ocular des Apparates verdeckt, welches seinerseits irgend ein von der Seite eintretendes homogenes Licht dem Auge als Ermüdungsreiz darbot. Nach Entfernung des Spiegels konnte also eine beliebige Spectralfarbe des Apparates auf ihre qualitative Veränderung hin untersucht werden. Natürlich gestattet diese Methode nur sehr allgemein gehaltene Bestimmungen. Das nämliche gilt wohl auch noch für die Versuchsanordnung, mit welcher Exner den relativen Grad feststellte, in welchem sich die verschiedenen Spectralfarben als reagirende Reize nach einer bestimmten »Ermüdung« verändert zeigen. Das ermüdende und reagirende Licht wurde dabei so hingenommen, wie es in ein und dem nämlichen Spectrum enthalten ist. Bei der Projection des Nachbildes von einem Ausschnitt des Spectrums auf einen anderen wurde dabei das Auge mehr angenähert, damit neben der ermüdeten Auffassung auch die unermüdete zum Vergleich gegeben sei. C. Hess, der in seiner Arbeit von den Helmholtz'schen und Exner'schen Versuchen ausgeht, verbesserte die bisherige Methode vor allem dadurch bedeutend, dass er die Helligkeitsverhältnisse berücksichtigte und die großen Differenzen vermied, welche innerhalb eines Spectrums bestehen²⁾. Dies gelang durch die bekannte Verbindung von zwei Collimatoren mit einem Fernrohr, welche bei mittlerer Stellung des Fernrohres die beiden Hälften des Gesichtsfeldes mit verschiedenen Spectralfarben von variirbarer Helligkeit erfüllen. Die erste Versuchsanordnung gestattete allerdings, abgesehen von jener Berücksichtigung der Helligkeit, keine wesentlich genaueren Bestimmungen wie die Helmholtz'sche und Exner'sche. Zur Ermüdung war das Fernrohr zunächst ganz auf die Farbe des einen Collimators gerichtet, worauf es dann zur theilweisen Aufnahme der reagirenden Farbe aus dem zweiten Collimator etwas um seine Verticalaxe gedreht wurde. Das Nachbild war also wieder nur theilweise auf die neue Farbe

1) v. Helmholtz, a. a. O. S. 520.

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

projicirt, so dass die letztere theilweise mit noch unermüdeten Stellen gesehen wurde. Die Veränderung der reagirenden Farbe gegenüber der unermüdeten wurde also wieder nur gesehen und geschätzt, aber nicht gemessen. Zugleich ist in dieser Differenz der Auffassung nicht bloß die Erregbarkeitsveränderung auf Grund des negativen Nachbildes enthalten, sondern es erscheint dieser Unterschied noch durch den Simultancontrast in bestimmter Weise verändert.

In wirklich exacter Weise wurde aber nun von Hess die Veränderung der reagirenden Farbe in einer zweiten Anordnung zu messen versucht. Das Fernrohr stand hier fest, und das Auge fixirte während des ganzen Versuches einen durchscheinenden Punkt in der Mitte eines Steges, welcher das Gesichtsfeld des Fernrohres halbirte. Von den beiden Collimatoren trug diesmal der eine zwei Spalte, von denen zunächst während der Ermüdung der eine zugleich mit dem Spalt des anderen Collimators verschlossen war. Es wurde also zunächst nur die eine Seite des Gesichtsfeldes mit einem homogenen Lichte gereizt, welches dem geöffneten Spalte des zweisepaltigen Collimators entstammte. Nach Verschluss dieses Spaltes und Oeffnung der beiden anderen (seitens eines Gehülfen) gab nun der zweisepaltige Collimator ein beliebiges reagirendes Licht an der Stelle des Ermüdungsreizes, während aus dem anderen Collimator nun die andere Hälfte des Gesichtsfeldes mit einer Vergleichsfarbe erfüllt wurde, die nun durch Ausprobiren im Verlauf mehrerer Versuche (ebenso wie bei den früheren Messungen der farblosen und farbigen Helligkeitsnachbilder) der reagirenden Farbe subjectiv gleich gemacht werden konnte. Hess betont allerdings, dass er im allgemeinen keine vollständige Gleichheitseinstellung erzielen konnte, und dass meist noch große Sättigungsdifferenzen bestanden. Aus theoretischen Gründen war es ihm aber vor allem überhaupt nur um die Veränderungen des Farbtones zu thun. Das rein phänomenologische Ergebniss seiner Versuche, abgesehen von aller theoretischen Verwerthung desselben, bestand darin, dass alle homogenen Farben bei ihrer Reaction auf eine bestimmte Ermüdungswirkung annähernd in gleicher Weise sehr bedeutend nach der Complementärfarbe des Ermüdungsreizes abgelenkt wurden.

6. Innerhalb der bisher besprochenen Arbeiten hatte über das allgemeinste Wesen der negativen Nachbilder Einigkeit geherrscht.

Man glaubte es mit Unterschieden der einzelnen Sehfeldbezirke hinsichtlich ihrer Farben- und Helligkeiterregbarkeiten zu thun zu haben, gleichviel ob man sich die Art und Richtung dieser Veränderung nach der Helmholtz'schen Ermüdungstheorie zurecht legte, wie alle zuerst genannten Autoren, oder im Sinne der Hering'schen Theorie der Gegenfarben, wie C. Hess. Diese Erregbarkeitsveränderungen haben nach dieser Auffassung ihren bestimmten Verlauf; aber während der ganzen Zeit ihres Bestehens müssen sie jede Gesichtsempfindung modificiren, welche der betreffenden Netzhautstelle entstammt. Dieser Anschauungsweise trat nun im Jahre 1894 G. Martius in seinen »Beiträgen zur Philosophie und Psychologie« mit einer relativ neuen Auffassung vom allgemeinsten Wesen der negativen Nachbilder entgegen, die er auch sogleich für eine quantitative Bestimmungsmethode fruchtbar zu machen suchte¹⁾. Er ging von der Thatsache aus, dass die Nachbilder bei Bewegung des Auges und bei Ablenkung der Aufmerksamkeit als solche unsichtbar sind und erst bei ruhiger Fixation und Hinlenkung der Aufmerksamkeit wieder hervortreten. Es schienen ihm alle bereits versuchten Mittel zu versagen, diese Erscheinung mit der Annahme einer Empfindungsveränderung in Einklang zu bringen, welche mit der Erregbarkeitsänderung unmittelbar verbunden sei, und so erklärte er die Nachbilder für secundäre Erregungsmomente, welche die normale Thätigkeit der Netzhaut als selbständige Componenten unverändert bestehen lassen und nur unter günstigen Umständen als besondere Factoren hinzutreten, um den Gesamteindruck nach einer festen Gesetzmäßigkeit mit zu bestimmen. Die etwaige Veränderung der Helligkeit, welche in diesem letzteren Falle entsteht, bezeichnet Martius als den »Helligkeitswerth der negativen Nachbilder«. Diese Theorie hätte ich hier noch eben so wenig berührt, wie die theoretischen Erörterungen im Anschluss an die bisherigen Versuchsergebnisse seitens jener früheren Autoren, falls sie sich, wie dort, nur an Messungen nach dem bisherigen Grundschema angeschlossen hätten. Hier ist jedoch die ganze Messungsmethode überhaupt nur im Anschluss an jene Theorie verständlich. Martius verglich nämlich einfach die Wahrnehmung in demjenigen

1) G. Martius, Das Gesetz des Helligkeitswerthes der negativen Nachbilder, a. a. O. S. 17 ff.

Zustände, in welchem die negative Nachbildwirkung zur Geltung kommt, mit einem solchen Stadium, in welchem sie nach seiner Theorie in Folge der ungünstigen Bedingungen vollständig in Wegfall kommt. Der erste Zustand ist für ihn nach längerer Fixation des Ermüdungsreizes bei Festhaltung dieser Fixation vorhanden, der zweite wird hingegen dadurch herbeigeführt, dass man nach längerer »Ermüdungszeit« (im früheren Sinne des Wortes) rasch auf eine andere Fläche hinüberblickt. Das Nachbild ist im letzteren Stadium des Versuches zurückgetreten, und man sieht die normale Qualität der Fläche. Diese zweite Fläche wird nun eben so wie der Vergleichsreiz in den früheren Versuchen in einer Reihe von Einzelversuchen so lange variirt, bis sie in ihrer (nach Martius' Theorie) normalen Auffassung der modificirten Qualität des ersten Objectes gleich kommt und die Größe dieser Modification aus ihrer Differenz von der Ermüdungsscheibe unmittelbar erkennen lässt. Martius maß ausschließlich farblose Helligkeitsnachbilder. Als Ermüdungsreiz diente eine kleine Rotations-scheibe mit schwarzen und weißen Sektoren, die vor einem gleichmäßig farblosen Hintergrund von bestimmter Helligkeit stand. Nach dem Wegziehen des letzteren eröffnete sich der Blick auf eine größere Rotations-scheibe von gleicher Art, die nun als jener Vergleichsreiz diente, welchem man den directen Blick zuwandte. Auf diese Weise wurde zunächst wieder die Abhängigkeit des Helligkeitswerthes von der Fixationszeit bestimmt, und stehen hier die Resultate mit den bisherigen in gutem Einklang. Vor allem ging aber nun Martius dazu über, die Helligkeit der Hintergründe für die Ermüdungsscheibe zu variiren, während die früheren Bestimmungen alle mit einander den Ermüdungsreiz auf schwarzem Grunde dargeboten hatten. Er suchte somit den Helligkeitswerth des Nachbildes ganz allgemein als Function der Differenz zwischen Scheibe und Grund zu bestimmen, während bisher immer nur die speciellen Differenzen ins Auge gefasst worden waren, in welchen der eine Werth gleich Null ist. An Stelle der Abhängigkeit des Nachbildwerthes von der absoluten Ermdungsintensitt, welche bei Müller, Schoen und v. Kries angenommen wurde, setzte er eine eben so eindeutige Abhängigkeit von der Differenz des Ermüdungsreizes und seiner Umgebung.

6a. Es muss nun offenbar gleich von Anfang an zu dieser Methode, bezw. zu der ihr zu Grunde liegenden Theorie Stellung genommen

werden, da sowohl ihre Annahme als auch ihre Ablehnung für alle weiteren Nachbildmessungen von hoher Bedeutung ist. Die Auffassung von Martius selbst hat dabei rein formell von Anfang an einen schweren Stand. Sie legt das Hauptgewicht auf Momente, in welchen den näheren Versuchsbedingungen gemäß eine Concentrirung der Aufmerksamkeit erschwert ist. Das eigentliche Erlebniss ist dabei in seinen Einzelheiten, abgesehen vom Gesamteindruck einer gewissen Helligkeit des Vergleichsreizes, so unklar und undeutlich, dass es einer Analyse schwerer Stand hält und auch bei scheinbar gelungener Analyse seiner intellectuellen Seite nach dauernd minderwerthig erscheinen muss. Doch darf dies natürlich niemals schon als sachlicher Einwand angesehen werden. Es ermahnt im Gegentheil auch für eine etwaige Polemik gerade zur Vorsicht.

Der Werth dieser Methode hängt nun offenbar davon ab, ob in ihr thatsächlich die Veränderung in Folge der Nachbildwirkung an einem so festen Maßstab gemessen wird, wie ihn die »normale Leistungsfähigkeit« des Sehorgans als normale Helligkeit der Vergleichsscheibe in dem Augenblicke darbieten soll, wo man vom Ermüdungsreiz weg auf dieselbe hinblickt. Es könnte ja z. B. auch die scheinbare Helligkeit der Vergleichsscheibe bei diesem raschen Hinsehen eine ganz complicirte Function der normalen Helligkeit sein und nur eben in der Richtung nach der normalen Helligkeit hin von der scheinbaren Helligkeit der vorher fixirten Scheibe abweichen. In diesem Falle würde sich auch eine ganz bestimmte Einstellungsdifferenz im nämlichen Sinne ergeben. Aber Niemand vermöchte dieser Differenz zunächst irgend einen höheren theoretischen Werth gegenüber denjenigen Messungen zuzugestehen, welche nach den alten Methoden bei ruhendem Auge in der Weise angestellt wurden, dass man die Scheibe mit ihrer Umgebung subjectiv gleich zu machen suchte. Man hätte vielmehr nur ein besonderes Phänomen einer Abweichung vom normalen Sehen mehr, das selbst erst wieder eine besondere Erklärung für sich erheischte. Es könnte sogar einer solchen wohl erst dann theilhaftig werden, wenn man über die Abweichung der zuerst fixirten Scheibe vom normalen Sehen, vielleicht auf Grund von Messungen nach der alten Art, hinreichenden Aufschluss erlangt hätte. Die in Frage stehende Helligkeit der Vergleichsscheibe war ja eben überhaupt erst

im Verhältniss zu der scheinbaren Helligkeit der ursprünglich fixirten Scheibe bestimmt worden. Ueber diese letztere sagt aber höchstens noch die alte Methode etwas Unmittelbares hinsichtlich der quantitativen Verhältnisse aus. Diese Möglichkeit einer beliebigen Helligkeitsabweichung von der vollen Nachbildwirkung müsste also selbstverständlich von vornherein ausgeschlossen sein.

Die geforderte Beweisführung wird aber auch noch durch andere Umstände besonders erschwert. Der Begriff der »normalen Function« ist beim Sehorgan an und für sich kein so eindeutiger wie auf anderen Gebieten, z. B. beim Gehörorgan. Auch Martius gesteht doch wohl zu, dass es eine Gesamtadaptation des Sehorgans gibt, die nach längerer Erregung oder Erholung die nämlichen objectiven Lichtreize verschiedene Empfindungen auslösen lässt, wenn auch in Ermangelung bestimmter Grenzen innerhalb des Sehfeldes hier nicht von Nachbildern gesprochen werden kann. Diese Adaptation denkt sich doch wohl Martius nicht ebenfalls als eine selbständige Componente, die nur bei günstigen Auffassungsbedingungen zu einer irgendwie zu bestimmenden Normalauffassung dann und wann hinzutritt. Sonst müssten ja in jedem besonderen Adaptationszustande alle Gegenstände beim gewöhnlichen Hin- und Herblicken fortgesetzt Farbe und Helligkeit nach jener Normalauffassung hin wechseln, auch ohne dass ein besonderes Nachbild im engeren Sinne des Wortes entstanden wäre. Die Bedingungen zu einer Veränderung der Gesamtadaptation sind aber nun wohl auch dann gegeben, wenn man nach einer gewöhnlichen mittleren Gesamtadaptation Weiß oder Schwarz in gewisser Ausdehnung auf Grau fixirt. Es müsste also mindestens noch angenommen werden, dass sich die »normale« Helligkeit der Vergleichscheibe wenigstens im Sinne dieser Adaptation verändere, welche in den Bedingungen für die Entstehung des Nachbildes mit enthalten liegt. Sie kann schon bei farblosen, noch viel mehr aber bei farbigen Nachbildern zu ganz bedeutenden Differenzen mit der Auffassung bei Beginn des Versuches führen. Es soll aber zunächst auch noch von dieser Schwierigkeit abgesehen werden, welche in dem Versuch der Lostrennung der Nachbildwirkung von dieser Gesamtadaptation enthalten liegt.

Am einfachsten stände ja die Sache sowohl für die Theorie der Martius'schen Methode als auch für die Contrast- und Nachbild-

wissenschaft überhaupt, wenn das absolute Gedächtniss für Lichtqualitäten im allgemeinen nicht so wenig ausgebildet wäre, wie es thatsächlich selbst nach langer Uebung in solchen Vergleichsurtheilen noch immer zu bleiben pflegt. Dann könnte man natürlich sofort sagen, in welchem Verhältniss die scheinbare Helligkeit der Vergleichsscheibe zu den sonstigen Empfindungen des nämlichen objectiven Reizes stehe. In Ermangelung eines solchen Gedächtnisses kann man nun aber meistentheils nur für Unterschiede innerhalb des momentanen Sehfeldes selbst ein genaueres Maß angeben. Entsteht also aus irgend welchen Gründen ein Unterschied z. B. hinsichtlich der Helligkeitsauffassung, so vermag man zwar ein Maß für die relative Differenz anzugeben, welche hierdurch in einem objectiv gleichartigen Blickfeld entstanden ist. Unser Urtheil würde aber versagen, wenn wir genauer angeben sollten, in welchem Grade sich die verschiedenen Theile des Sehfeldes jeder für sich gegenüber der früheren Auffassung geändert haben, damit jene subjective Differenz zu Stande kam. Die Veränderung lässt sich ja in der Weise steigern, dass für die verschiedenen Theile des Sehfeldes wenigstens ihre Richtung ziemlich sicher beurtheilt und ihre Größe doch annäherungsweise geschätzt werden kann. Dies ermöglicht aber natürlich nur jene zu Anfang der Abhandlung erwähnte allgemeine Schätzung, die event. zu den Grundzügen der Theorie, keineswegs aber zu genaueren quantitativen Bestimmungen führen kann. Wäre es aber nun thatsächlich einmal möglich, eine Vorstellung von einer Normalhelligkeit, bzw. von der anfänglichen Helligkeit der fixirten Scheibe festzuhalten, so wäre ja das rasche Hinblicken auf eine andere Scheibe überhaupt nicht mehr nothwendig. Die Schwierigkeit einer solchen Bestimmung steht aber zugleich auch jedem directen Beweis für die Richtigkeit der Martius'schen Theorie im Wege. Die einzige Stütze der Methode besteht also zunächst nur in einer Hypothese auf Grund jener Erscheinung, dass die Nachbilder bei Bewegung und Ablenkung der Aufmerksamkeit zurücktreten und verschwinden. Aus dem Zurücktreten des subjectiven Unterschiedes, in welchem die Nachbildwirkung erkannt wird, soll man ohne weiteres erschließen, dass nun der »normale« Zustand da sei.

Es scheint mir jedoch, als ob wenigstens mit der alten Methode, die mit Fortsetzung der Fixation arbeitet, ein indirecter Beweis

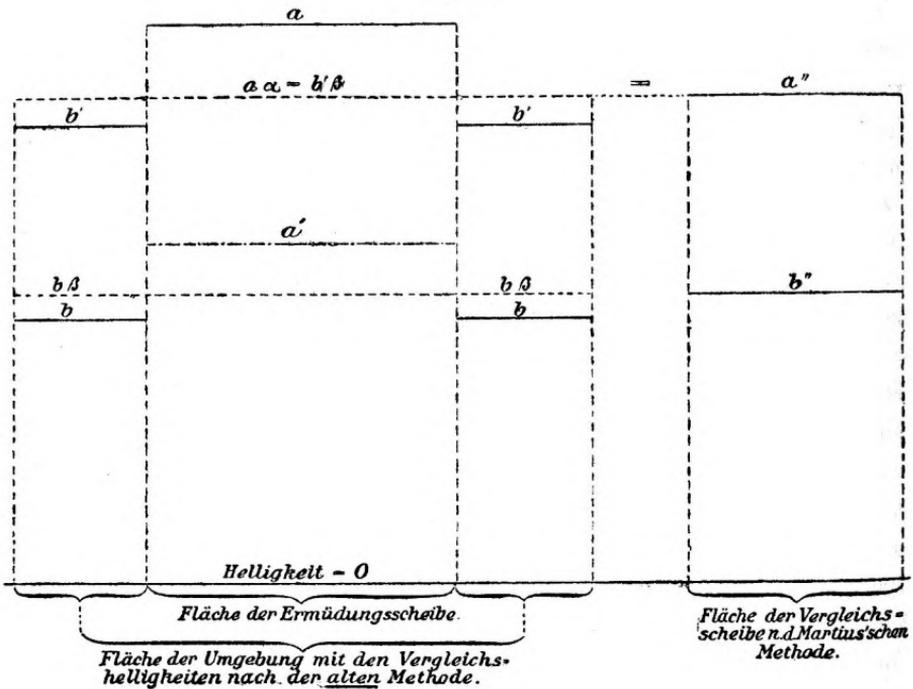
für die Voraussetzungen der Martius'schen Methode versucht werden könnte. Die Ergebnisse der alten Methode können jedenfalls von allen Hypothesen unabhängig formulirt werden. Zugleich besitzt diese Methode den Vortheil, dass sie eine Simultan-Vergleichung in ruhiger Haltung und unter den günstigsten Bedingungen für eine Concentration der Aufmerksamkeit einschließt. Mag man also über den Werth der festgestellten Größen vorläufig denken, wie man will, jedenfalls werden sie der ganzen Anordnung entsprechend mindestens die gleiche, wenn nicht eine größere Präcision erreichen können, wie die Resultate nach der Martius'schen Methode. Ihre Ergebnisse müssen aber nun auch in der Martius'schen Theorie untergebracht werden können, und zwar in der Weise, wie sich Martius eben die Veränderungen des Sehfeldes in jenem abnormen Zustande denkt, in welchem das Nachbild bei den früheren Messungen zur Geltung kommt. Die phänomenologischen Verhältnisse sind dabei nach seiner Auffassung so beschaffen, dass sich das Dunkle in hellerer Umgebung aufhellt, das Hellere in dunkler Umgebung hingegen verdunkelt. Um jene Schwierigkeit im Begriff des »Normalen« auszuschließen, soll hier nur auf die Helligkeitsauffassung bei Beginn des Versuches Rücksicht genommen werden. Es werde also z. B. eine weiße Scheibe von der ursprünglichen Helligkeit a vor einem dunkleren Hintergrund von der Helligkeit b zur Entstehung des Nachbildes fixirt. Das letztere kann hierauf zunächst nach der alten Methode, etwa nach v. Kries, gemessen werden. Es brauchte für diesen Fall z. B. nur der von v. Kries verwendete schwarze Ring, welcher zunächst die Umgebung des weißen Kreises bildete und die Vergleichshelligkeiten der Randzone verdeckte, durch einen solchen von der Helligkeit b ersetzt zu werden¹⁾.

Die objective Helligkeit b' soll nun diejenige Intensität sein, welche nach Entstehung des Nachbildes bei Festhaltung der Fixation an die Stelle von b treten muss, um dem Weiß eben subjectiv gleich zu erscheinen; $a - b' = d$ wäre also das Maß der Nachbildwirkung nach der alten Methode. Diese Differenz müsste sich nun vom Martius'schen Standpunkte aus in die Aufhellung der Umgebung einerseits und die Verdunkelung der Scheibe anderseits zerlegen lassen (s. Fig. 1). Bezeichnet

1) Vgl. S. 8.

man mit α den Coefficienten für diese Verdunkelung, mit β denjenigen für jene Aufhellung, so wäre also $a - b' = d = (a - a\alpha) + (b'\beta - b')$, wobei $\alpha < 1$ und $\beta > 1$ wäre. Die Größe $a\alpha$ wäre hierin gleich $b'\beta$ und bezeichnete diejenige objective Helligkeit, welche normal gesehen der abnormen subjectiven Helligkeit des α oder b' , also der Gleichheitseinstellung nach der alten Methode gleich erscheinen müsste. Entspräche also die scheinbare Helligkeit der »Vergleichsscheibe« in

Fig. 1.



der Martius'schen Methode thatsächlich einer normalen Auffassung, so müsste sich die nämliche Differenz $a - b' = d$ mit Hülfe dieser Methode auf einem anderen Wege ableiten lassen. Es müsste nämlich d aus den beiden Summanden $a - a\alpha$ und $b'\beta - b'$ zusammengesetzt werden können, welche beide für sich ableitbar wären. Der erstere Summand $a - a\alpha$ ergäbe sich unmittelbar aus der Art und Weise, wie Martius selbst seine Methode angewendet hat. Er entspräche eben der Differenz zwischen der Vergleichsscheibe und der fixirten Scheibe bei ihrer subjectiven Gleichheit. Bezeichnet man die

hierbei vorhandene Helligkeit der Vergleichsscheibe mit a'' , so wäre also $a - a\alpha = a - a''$. Aber auch $b'\beta - b'$ müsste ganz auf die nämliche Methode gefunden werden können, wenn man mit derselben anstatt der Scheibe nun auch deren Hintergrund hinsichtlich seiner Veränderung durch die Nachbildwirkung, d. h. also hier hinsichtlich seiner Aufhellung, messen wollte. Man brauchte ja hierzu nur die rasch angeblickte Vergleichsscheibe mit der eben noch wahrgenommenen Helligkeit des Hintergrundes zu vergleichen. Wäre die subjective Gleichheit zwischen beiden etwa bei der Helligkeit b'' der Vergleichsscheibe erreicht, so enthielte also $b'' - b$ das Maß der Aufhellung des Hintergrundes. Letzteres könnte sich aber von der Größe $b'\beta - b'$ nur um so viel unterscheiden, als eben die nämlichen Nachbildwirkungen in den verschiedenen reagirenden Helligkeitsstufen b und b' von einander verschieden sind. Auch Martius muss ja natürlich eine irgendwie bestimmte Function für diese Abhängigkeit von der reagirenden Helligkeit annehmen, welche sich experimentell mit beliebiger Genauigkeit feststellen lassen wird. Nehmen wir hier einstweilen die Gültigkeit des F.-H.'schen Satzes der Einfachheit halber an, so wäre also:

$$(b'' - b) : (b'\beta - b') = b : b'.$$

Die bei der alten Methode nothwendige Vergleichshelligkeit b' der Umgebung wäre also von hier aus in der Weise zu finden, dass man diejenige objective Helligkeit bestimmt, welche von der scheinbaren Helligkeit der Scheibe ($= a\alpha$) nach unten hin relativ so viel abweicht, wie b von b'' .

Da in der obigen Gleichung $b'\beta = a\alpha = a''$ ist, so wäre also

$$(b'' - b) : (a'' - b') = b : b' = b'' : a''.$$

Hieraus berechnet sich $b' = \frac{a''b}{b''}$.

In der letzten Gleichung ist also die Beziehung der Einstellung b' nach der alten Methode zu den beiden Einstellungen a'' und b'' nach der Martius'schen Methode ausgedrückt für den Fall, dass die zu Grunde liegende Theorie zu Recht besteht. Ganz entsprechend würde sich natürlich die Formel gestalten, wenn die Einstellung nach der alten Methode nicht die Umgebung der Scheibe subjectiv

gleich macht, sondern umgekehrt die Scheibe in einer objectiven Helligkeit a' der constant auf b erhaltenen Umgebung. Es ergäbe sich dann $a' = \frac{b'' a}{a''}$.

Die hier unter Voraussetzung der Gültigkeit des F.-H.'schen Satzes durchgeführte Berechnung ließe sich natürlich auch für jede beliebige andere Function ausführen. Jedenfalls aber könnte erst nach einer solchen Controlle daran gedacht werden, die Resultate nach der neuen Methode in einem bestimmten Sinne zu verwerthen. Nur auf solche Weise könnte z. B. auch der schon von Martius berührte Einwand abgewiesen werden, dass die subjective Helligkeit der Vergleichsscheibe nicht bloß deshalb nach der normalen Seite hin verschoben erscheine, weil sie vor der Herstellung einer sicheren Fixation mit unermüdeten Stellen gesehen worden sei. Es müsste sich wenigstens ergeben:

$$a'' > b'.$$

Selbstverständlich könnte auch ein widersprechendes Ergebniss nur dann gegen die Martius'sche Theorie verwendet werden, wenn sich Jemand der Martius'schen Methode mit voller Objectivität unterzogen und vor allem eine große Uebung in derselben erlangt hätte.

6b) Es erscheint also ziemlich schwierig, direct oder auch nur indirect einen Beweis für die normale Auffassung der Vergleichsscheibe beizubringen und die Hypothese zu rechtfertigen, welche allein eine so bedingungslose Anwendung der Methode ermöglichen würde. Um so leichter dürften aber nun vielleicht die Anhänger der alten Betrachtungsweise vom Wesen der negativen Nachbilder sich dasjenige auf ihre Weise zurechtlegen können, was an der Grundlage für die Martius'sche Methode nicht Hypothese, sondern unmittelbar gegebene Erscheinung ist. Diese Methode würde nach einer solchen Erklärungsweise allerdings den Charakter des Zufälligen, Schwankenden und Alogischen¹⁾ annehmen, der ihre Verwendung abgesehen von jener zuletzt erwähnten Controlle überhaupt niemals, und auch nach derselben nur sehr bedingt zulassen würde. Das momentane Verschwinden der Nachbilder hat schon von jeher diejenigen beschäftigt, welche an der Theorie derselben arbeiteten. Bekanntlich haben unter

1) Dem Gebiete der optischen Täuschung Nahestehenden.

anderen schon Exner¹⁾ und Hering²⁾ diese Erscheinung nach ihrer allgemeinen psychologischen Seite hin behandelt und das Verschwinden der negativen Nachbilder mit dem normalen Uebersehen vieler entoptischer Phänomene zusammen unter einen Gesichtspunkt gebracht. Bei der bekannten Gefäßschattenfigur beruht ja allerdings die gewöhnliche Unsichtbarkeit vor allem darauf, dass vorhandene Reizunterschiede durch die Verschiedenheit der Erregbarkeit, d. h. also durch eine dem negativen Nachbild entsprechende Wirkung, wieder ausgeglichen werden. (Sie könnte also nur insofern gegen Martius angeführt werden, als hier eine Art von negativer Nachbildwirkung gerade für gewöhnlich im Sehfeld zur Geltung kommt, obgleich die Aufmerksamkeit der Natur der Sache entsprechend hier so viel als möglich abgelenkt bleibt.) Die psychologische Erklärung kommt hingegen vor allem für das Verschwinden derjenigen entoptischen Erscheinungen in Betracht, welche bei günstigen psychologischen, und zwar apperceptiven Bedingungen hervortreten. Während die Hering'sche Auffassung über diesen Punkt auch in meiner eigenen Anschauung ebenfalls mit enthalten sein wird, kann ich der Exnerschen wenigstens in ihrer thatsächlichen Formulirung nicht beistimmen. Nach derselben soll alles übersehen werden, was man in Folge seiner Mitbewegung für subjectiv oder zum Organ gehörig halten müsse, gemäß der allgemeineren Thatsache, dass man im letzten Grunde nur für die objectiven Gegenstände ein natürliches Interesse besitze. Diese Darstellung dürfte doch als etwas zu intellectualistisch und constructiv erscheinen. Dieser Eindruck soll ja zwar dadurch gemildert werden, dass auf unbewusste Prozesse und vererbte Dispositionen zu einer solchen Ignorirung der als subjectiv erkannten Phänomene zurückgegriffen wird. Eine solche Wirkung der Gewöhnung wäre aber doch höchstens nur für diejenigen entoptischen Erscheinungen einigermaßen denkbar, welche innerhalb des Sehfeldes ein für allemal fest localisirt sind, wie z. B. die vorhin erwähnte Gefäßschattenfigur, der gelbe Fleck etc. Gerade hier ist aber eine psychologische Erklärung wegen der bereits erwähnten peripheren Wirkung weniger dringend.

1) Exner, Das Verschwinden der Nachbilder bei Augenbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. I, S. 47 ff.

2) Hering, Ueber Ermüdung und Erholung des Sehorganes. Gräfe's Archiv f. Ophthalm. XXXVII, 3, S. 1 ff.

Die anderen Erscheinungen hingegen, welche ganz beliebig localisirt oder gar beweglich sind, würden bei jedem neuen Auftreten einen neuen, mindestens theilweise bewussten psychischen Akt erfordern, um in ihrer Mitbewegung als ein subjectives und der Ignorirung würdiges Phantom erkannt zu werden. Es wäre in jedem Momente wieder eine völlig neue Situation gegeben, und die psychische Disposition, die als Gegenstand des unbewussten Eliminationsprocesses construiert werden müsste, gehörte doch wohl einer etwas zu hohen Abstractionsstufe an, als dass man sie derartig im ganzen als »angeboren« annehmen könnte. Die negativen Nachbilder, welche dieser letzteren Kategorie zugehören, müssten hiernach also zunächst jederzeit als solche zum Bewusstsein kommen, falls sie den sonstigen psychologischen Bedingungen entsprechend überhaupt jemals ohne weiteres als solche aufgefasst werden könnten.

Hält man sich in der Beschreibung des Thatbestandes nur an die Nachbilder, so scheint es mir nun, dass vor aller Erklärung ihres relativen Zurücktretens zwei sehr verschiedene Erscheinungsweisen derselben aus einander gehalten werden müssen, nämlich erstens die Veränderungen der Gesichtsempfindungen auf Grund der Nachbildwirkung überhaupt und zweitens die Auffassung des negativen Nachbildes als eines gesonderten, dem primären Object analogen Flächenstückes. Diese Auffassung des Nachbildes scheint nur unter besonders günstigen Bedingungen vorzukommen. Eine modificirende Wirkung überhaupt dürfte hingegen immer vorhanden sein, solange nur der Werth des Nachbildes nicht völlig verschwunden ist. Für die Unterscheidung der beiden Gesichtspunkte sind allerdings gerade die farblosen Nachbilder im allgemeinen weniger geeignet, als die farbigen, falls sie nicht von größeren primären Differenzen nach längerer Fixationszeit entnommen sind. Wenn ein farbloses Nachbild von mäßigem Helligkeitswerth, d. h. hier von mittlerer Erregbarkeitsdifferenz, nicht in seinen Umrissen aufgefasst wird, so findet man häufig auch keine besondere Helligkeitsmodification der Fläche mehr heraus. Nicht als ob sie hier überhaupt nicht mehr vorhanden wäre; aber sie springt eben keineswegs in die Augen, weil der Uebergang zwischen verschiedenen Helligkeitsstufen des Grau weniger auffällt als derjenige zwischen Farbe und Farblosigkeit oder gar zwischen Complementärfarben.

Was nun zunächst die Auffassung des Nachbildes als eines besonderen subjectiven Wahrnehmungsobjectes anbelangt, so ist dieselbe offenbar niemals mit dem bloßen Vorhandensein von Erregbarkeitsunterschieden auf der Netzhaut bereits eindeutig mitgegeben. Denn bei keinem Objecte unserer Wahrnehmung ist diese Auffassung als eines gesonderten Objectes mit dem bloßen Vorhandensein von Empfindungsunterschieden identisch. Ein Fehlen dieser gesonderten Auffassung kann also von vornherein niemals den Schluss rechtfertigen, dass die Nachbilder überhaupt nicht auf Unterschieden der Erregungen, bezw. der ihnen zu Grunde liegenden Erregbarkeiten beruhen. Denn die letzteren bewirken eben zunächst nur Unterschiede der subjectiven Qualitäten des Sehfeldes überhaupt. Das Erkennen eines Nachbildes besteht aber wie alles Erkennen von Gegenständen erst in einer besonderen Apperception dieser Unterschiede. Erst hierin hebt sich im Bewusstsein eine qualitativ besonders geartete Fläche als ein selbstständiges Ganze von dem Hintergrunde ab, und nur ein solches Erlebniss meint man mit dem »Sehen eines Nachbildes«.

Für diese apperceptive Heraushebung der Nachbilder liegen aber nun schon bei ruhendem Auge die Bedingungen viel ungünstiger als bei objectiven Gegenständen. Wir können die Conturen des Nachbildes nicht nach einander ins Centrum des Blickfeldes bringen, das nun eben einmal in Folge einer besonderen Disposition zugleich mit den günstigsten Apperceptionsbedingungen zusammenfällt. Somit ist also je nach der Ausdehnung des Nachbildes schon eine gewisse Geübtheit im indirecten Sehen erforderlich, damit wir dieselben überhaupt als solche auffassen können. Wer im indirecten Sehen weniger geübt ist, erkennt diese Schwierigkeit der »indirecten« Apperception von Nachbildern daran, dass er sich die klare Erfassung durch den Versuch einer Hinführung seiner centralen Blicksphäre zu erleichtern strebt. Natürlich kann dieses Mittel über die eigentliche Schwierigkeit nicht hinweg helfen, im Gegentheil, sie erschwert die Auffassung nur noch durch das gleichzeitige Entfliehen ihres Objectes von derjenigen Stelle, auf welche sich die Apperception eben beziehen will. Diese Erscheinungen sind bekanntlich schon von Fechner ausführlich beschrieben worden¹⁾.

1) Fechner, Poggend. Annalen, XL.

Hierin zeigt sich denn auch bereits der erste Hauptgrund dafür, dass die Auffassung der Nachbilder, die im ruhenden Auge schon häufig nicht zur rechten Klarheit durchdringt, nach Ausführung einer Augenbewegung noch bedeutend complicirter ist. Die Schwierigkeiten sind hier oft schon so groß, dass je nach der Geübtheit kürzere oder längere Zeit verstreicht, bis man überhaupt das Nachbild wieder sieht. Aber auch hier haben die betreffenden Empfindungsdifferenzen nicht vielleicht im Sehfeld überhaupt gefehlt. Vielmehr war die Apperception nur auf eine falsche Stelle gerichtet, und die richtige Stelle wurde überhaupt keiner genaueren Analyse unterzogen. Das erhellt unmittelbar daraus, dass man beim endlichen Wiederauffinden in diesen Fällen das Bewusstsein erlebt, man habe das Nachbild an der betreffenden Stelle und in der thatsächlichen Form und Qualität momentan gar nicht vermuthet. Jedes Nachbild, das wir als besonderen Gegenstand appercipirt haben, befindet sich für uns stets an einer Stelle des Raumes, und können wir bei ihm ebenso wenig wie bei irgend einer entoptischen Erscheinung diese dreidimensionale Localisation aufheben. Es erscheint also gewöhnlich als eine Färbung einer irgendwie localisirten Projectionsfläche. Das Nachbild ist also von vornherein ein von uns ebenso unabhängiger, selbständiger Gegenstand, wie alle anderen räumlichen Gegenstände auch. Es übertragen sich in Folge dessen zunächst alle Erfahrungen, die man hinsichtlich der Veränderungen im Sehfeld bei Augenbewegungen gemacht hat, unmittelbar auch auf die Nachbilder. Auf Grund dieser Erfahrungen wissen wir aber nun sämtliche objective Wahrnehmungsgegenstände nach einer Augenbewegung in bestimmter Weise innerhalb des Sehfeldes verschoben, und unsere Apperception richtet sich von vorne herein nach dem richtigen Orte im Sehfeld, sobald überhaupt die Existenzfrage irgend eines dieser Wahrnehmungsobjecte auftaucht. Bei Uebertragung dieser Erfahrungen auf die gegenständlich aufgefassten Nachbilder muss man natürlich nach einer Augenbewegung zunächst glauben, das Nachbild sei verschwunden. Denn es befindet sich nicht mehr da, wo es sich als jener selbständige Gegenstand befinden müsste, falls er überhaupt noch als solcher existirte. Dieser Fall wird natürlich vor allem auch bei jenem zuerst genannten Versuch eintreten, die indirect allzu schwierig zu appercipirenden Conturen unwillkürlich durch eine Augenbewegung

ins Blickfeld zu bringen. Außer den scheinbaren Ortsveränderungen gehören auch die scheinbaren Größenveränderungen hierher, die bei hinreichendem Umfang ebenfalls häufig das Nachbild für den ersten Augenblick aus der Apperception verlieren lassen. Man erkennt hierbei am allerdeutlichsten, dass ein Nachbild nicht vielleicht schon mit der bloßen Empfindungsdifferenz gegeben zu sein braucht, sondern dass man auch wissen muss, wo und in welcher Form sich diese Differenzen als Flächenconturen befinden, damit man sich eines Nachbildes bewusst werden könne. So findet man bekanntlich ein Nachbild, das man auf einer bestimmt gelegenen Projectionsfläche sogar schon ganz deutlich erfasst haben kann, auf viel entfernteren Flächen nicht gleich wieder. Denn das mit der Projectionsfläche gegenständlich verbunden gedachte Nachbild wird bei größerer Entfernung dieser Fläche eher unter einem viel kleineren Gesichtswinkel erwartet, während in Wirklichkeit der constant erhaltene Gesichtswinkel bei Entfernung der Projectionsfläche sogar einer Vergrößerung entspricht. Erst die Apperception der umfassenderen Conturen, die bei geringerer Qualitätsdifferenz eine ziemliche Weile dauern kann, lässt das Nachbild wiederfinden. Es ist ja eine der bekanntesten psychologischen Thatsachen, dass die gebotenen Objecte viel auffallender sein müssen, wenn wir sie ohne sicheres Vorherwissen über ihre Erscheinungsweise appercipiren sollen. Wer also die Nachbilder nicht gerade auf einen bestimmten Projectionseffect hin studirt hat, wird niemals in der Weise auf das Kommende gefasst sein, dass ihm das Nachbild nach einer fortschreitenden Augenbewegung wie ein objectiver Gegenstand sofort wieder »klar vor Augen stünde«, wenn dieser Ausdruck für Nachbilder gestattet ist.

Am meisten werden diese Schwierigkeiten, ein Nachbild nach einer raschen Bewegung wieder aufzufinden, durch die Bedingungen der gewöhnlichen binocularen Gesichtswahrnehmungen gesteigert. Nimmt man nach Entstehung eines Nachbildes bei binocularer Fixation alle möglichen Projectionsflächen durch, so gibt es offenbar eine große Mehrheit von Fällen, in denen die Conturen der beiden Einzelnachbilder nicht auf solchen Stellen liegen, die für die neue Projectionsfläche den nämlichen objectiven Punkten entsprechen. Es wird sich also bei besonders großer Abweichung überhaupt

kein einheitliches und klares Gegenstandsbild als Nachbild ergeben.

Aus allen diesen Gründen wird also schon die Wiederauffindung eines Nachbildes nach Eintritt einer neuen Ruhelage des Auges erschwert, was bei der Martius'schen Methode ebenfalls bereits in Betracht kommt. Noch viel ungünstiger werden aber natürlich die Apperceptionsbedingungen während der Bewegung selbst. Dies gilt natürlich in gleicher Weise auch für die Auffassung aller objectiven Verhältnisse. Hier unterscheidet man nur meistens weniger zwischen demjenigen, was man während der Augenbewegung von den Gegenständen wirklich sieht, und demjenigen, was man nur von ihnen weiß und daher zu sehen glaubt, ohne dass es wirklich in den Inhalten der Empfindungserregungen enthalten wäre. Den besten Beleg geben ja hierfür die experimentellen Untersuchungen über die Apperceptionserlebnisse während des Lesens. Auch hier fällt in die Momente der Augenbewegung keine klare Auffassung derjenigen Theile des Feldes, über welches der Blickpunkt hinweg eilt. Man könnte glauben, dass bei den objectiven Gegenständen dieser Mangel an klarer Auffassung während der Augenbewegung nur auf dem raschen Wechsel der Netzhauterregungen beruhe, welcher bei den Nachbildern doch gerade nicht vorhanden sei. Bei ruhendem Auge dürfte aber vielleicht ein viel rascherer Wechsel noch hinreichend klar appercipirt werden, nur eben mit den Modificationen, welche durch den Verlauf der Netzhauterregung bedingt sind. Die Apperception ist vielmehr vor allem durch den Bewegungsimpuls selbst in ihrer Leistungsfähigkeit beschränkt. Beim Zurücktreten der Nachbilder während der Bewegung sieht man also wegen der Ausschlossenheit jenes ersten Grundes nur die Wirkung dieser Hemmung der Apperception im Verein mit den früher besprochenen Gründen, die speciell für die Nachbilder in Betracht kommen. Dem Auffassen einzelner objectiver Gegenstände in den kurzen unwillkürlichen Ruhepausen ausgedehnterer Bewegungen geht aber auch ein sprunghaftes Auftauchen der Nachbilder während der Bewegung parallel.

Der eigentliche Gegenstand der Apperception während der Bewegung selbst, der bis zu einem gewissen Grade von jener allgemeinen Unklarheit ausgenommen ist, besteht doch bekanntlich in dem Ziele der Augenbewegung selbst, d. h. in dem Gegenstande, welcher ins

Centrum des Sehfeldes gelangen soll. Nachbilder können aber aus den oben erwähnten Gründen niemals solche apperzipirte Zielpunkte von Augenbewegungen werden, ohne dass sie eben in Folge der Bewegung sofort aus dem Bereiche der momentanen Apperception entrisen werden. Somit fällt also auch dieser einzige Grund weg, der einen objectiven Gegenstand während der Bewegung selbst eine apperceptive Stellung einnehmen lassen kann. In allen Fällen endlich, in denen die Bewegungen nicht durch das Streben nach Fixation eines zunächst indirect gesehenen Gegenstandes ausgelöst werden, sondern durch das Erstreben der entsprechenden Bewegungsempfindungen überhaupt fallen sämtliche Gegenstände des Sehfeldes im Momente der Bewegung aus dem Mittelpunkte der Apperception heraus.

Diese Thatsache, dass eine auf der Netzhaut constant fixirte Reizdifferenz unter solchen Bedingungen ebenso wenig wie ein Nachbild apperzipirt wird, lässt sich natürlich nur schwer experimentell nachweisen. - Denn es müsste hierzu ein Gegenstand fortwährend mit dem auf ihn gerichteten Sehstrahl sich fortbewegen. Nur in annähernder Weise lässt es sich mit der bekannten Anordnung von Orchansky zur Registrirung von Augenbewegungen erreichen. Hier bewegt sich der Stift, welcher aus der auf den Augapfel aufzusetzenden Kugelschale herausragt, thatsächlich ungefähr mit dem Sehstrahl. Herr Almy, der gerade mit jenem Apparat arbeitet, hatte die Güte, gelegentlich einige Beobachtungen über die Erscheinung des Stiftes während der Augenbewegungen und in der Ruhelage anzustellen. Nach Aussage von Herrn Almy hat sich denn auch wirklich eine große Undeutlichkeit des Stiftes bei der Bewegung ergeben, während hingegen im ruhenden Auge derselbe sehr klar und bestimmt gesehen werden kann. Jedenfalls sind aber die von jenem Stifte ausgehenden Erregungen keine besonderen Componenten der Wahrnehmung, die neben einer normalen Netzhautthätigkeit bald zur Geltung kommen und bald zurücktreten.

Dass allein jene apperceptiven Momente in Frage kommen, ergibt sich schließlich auch daraus, dass die Einübung auf das möglichst ununterbrochene Sehen von Nachbildern in allen möglichen Projectionen auf nichts anderes auszugehen braucht, als eben auf die Ausschaltung der bisher angeführten Gründe. Von der Einübung im indirecten Sehen wurde schon gesprochen. Ebenso müssen aber nun

auch die Erfahrungen über die Lageveränderungen der stets objectivierten Nachbilder im Raum sozusagen ebenso in Fleisch und Blut übergehen, wie die Kenntniss von der Lage der wirklichen Gegenstände im Sehfelde. Während diese letzteren, also die wirklichen Inhalte des Raumes, von den Augenbewegungen gerade als unabhängig und ruhend vorgestellt werden müssen, haben die Nachbilder in ihrem eigenthümlichen Mitgehen und in ihrer gleichzeitigen Form- und Farbenänderung immer geläufiger zu werden. Man muss ebenso wie bei den objectiven Gegenständen jederzeit wissen, wo und wie man sie zu erwarten hat. Weit entfernt, dass also dasjenige, was fortwährend mit der Blickrichtung geht, zunächst jemals aus der Apperception ausgeschieden zu werden brauchte, müssen wir vielmehr mit dieser eigenthümlichen Art von Gegenstandsbewegungen erst besonders vertraut werden, um jene Gegenstände überhaupt als dauernde Wahrnehmungsobjecte auffassen zu können. Dass aber zunächst die objectiven Gegenstände uns beschäftigen, und die Erfahrung in der beschriebenen Hinsicht auf sie eingerichtet ist, und nicht vielleicht auf die Nachbilder und entoptischen Erscheinungen, beruht eben auf der größeren Eindrucksfähigkeit ihrer Bilder. Es wäre ein schlechter Sehapparat, bei welchem diese Nebenerscheinungen an und für sich auffälliger wären als die den objectiven Gegenständen entsprechenden Empfindungsdifferenzen. Im letzteren Falle würde keine absichtliche Ignorirung jemals zum Uebersehen derselben führen können. Andererseits kann allerdings die eben geschilderte Einübung auf das Sehen von Nachbildern die Apperceptionsbedingungen trotz dieser natürlichen Hindernisse so günstig gestalten, dass man überall Nachbilder sieht, obgleich die quantitativen Verhältnisse nicht merklich verändert sind. Die Unannehmlichkeit und Schädlichkeit eines solchen Zustandes kann wenigstens bei quantitativen Messungen vermieden werden, wenn man dieselben wie bei allen bisher geschilderten Methoden von einem Erkennen des Nachbildes als solchen unabhängig macht. Dies führt uns auf die an zweiter Stelle genannte, allgemeinere Daseinsweise der Nachbilder¹⁾.

1) Dabei wurde in allen bisherigen Darlegungen nur an solche Fälle gedacht, in welchen nicht etwa die Erregungsdifferenz auf Grund der negativen Nachbildwirkung durch Hereinwirken eines positiven Nachbildes herabgesetzt oder aus-

In allen Fällen, in denen man kein Nachbild als gesondertes Flächenstück heraus erkennt, ist es trotzdem nicht absolut psychisch nicht vorhanden. Es geht eben nur als Eigenschaft, bezw. als Modification derselben in diejenigen Gegenstände ein, die gemäß den vorhandenen Apperceptionsbedingungen gesondert aufgefasst werden. Man ist sich dabei allerdings in Ermangelung von Vergleichsobjecten nicht bewusst, dass dieser oder jener Flächentheil am Gegenstande anders aussehe als ohne solche Nachbildwirkung. Liegt aber auf einer anderen Stelle des Sehfeldes mit einer hiervon verschiedenen Erregbarkeit ein Vergleichsgegenstand vor, so kommt die Modification der Empfindung als solcher auch ohne Auffassung eines besonderen Nachbildes irgendwie zur Geltung. Ein Beispiel hierfür ist eben gerade in dem Idealfall der alten Messungsmethode gegeben. Eine hellgraue Scheibe werde auf schwarzem Grunde fixirt, und zwar nicht länger, als dass die absolute Veränderung von Scheibe und Grund bei der Mangelhaftigkeit des absoluten Helligkeitsgedächtnisses nicht unmittelbar als Modification erkannt wird. Bei Ungeübten darf die Fixationszeit dabei sogar relativ lange währen. Alsdann wird der Beobachter also nichts von einem Nachbild wissen; er wüsste also gar nicht, wie er seine Aufmerksamkeit auf etwas anderes richten sollte als eben auf die Scheibe und den Grund. Dennoch wird er sowohl die unmittelbar wahrgenommene Differenz zwischen Scheibe und Grund, als auch das Verhältniss zu irgend einer neuen Vergleichshelligkeit bei Fortsetzung der Fixation im Sinne des Nachbildes beurtheilen. Bei meinen Versuchen, welche das Vergleichsprincip der alten Methoden festhielten, fragten mich einige Versuchspersonen nach längerer Zeit, wann denn eigentlich einmal die Messung von Nachbildwirkungen beginnen würde, sie hätten ja noch niemals ein Nachbild zu sehen bekommen. Und doch hatten sie selbst schon viele gute Vergleichsurtheile bezw. Einstellungen auf subjective Gleichheit im Sinne des Nachbildes geliefert.

geglichen wird. In solchen Fällen brauchte man natürlich zur Rechtfertigung der alten Anschauung überhaupt kein besonderes Hilfsmittel aus dem Gebiete der Psychologie. Die Erklärung dieser Ausgleichung, welche übrigens sehr häufig allein der Grund für ein späteres Hervortreten des negativen Nachbildes ist, bildete für v. Helmholtz ja gerade den Anlass zur mathematischen Formulirung des Erregbarkeitsbegriffs nach der alten Auffassung.

Ganz analog wird sich aber nun die Sache verhalten, wenn Jemand nach rascher Bewegung das Nachbild nicht mehr wiederfindet, weil er es in anderer Form und Lage wieder erwartet, oder überhaupt noch nicht beachtet hat. Auch hier würde doch in einem Vergleichsurtheil die Modification der Fläche zur Geltung kommen, weil die Empfindung an sich betrachtet eine andere geblieben ist. Auch wenn in Folge allzu rascher Augenbewegungen keine Auffassung eines klaren Bildes mehr möglich ist, wird das Nachbild in einer ganz besonderen Modification des Gesamteindruckes zur Geltung kommen, den die überblickte Fläche während der Bewegung bietet. Er wird im allgemeinen ein anderer sein können, als wenn kein Nachbild vorhanden gewesen wäre. Insbesondere zeigt sich dies, wie schon einmal erwähnt, bei farbigen Nachbildern besser als bei farblosen. Es entsteht dabei ein gemischter Eindruck in ähnlicher Weise, wie bei raschem Wechsel äußerer Reize; nur ist es hier natürlich keine Mischung peripherer Erregungsvorgänge, wie bei der Betrachtung eines rotirenden Farbenkreisels, sondern das Ergebniss eines raschen Wechsels von Empfindungsqualitäten, die alle in unklarer und ungesonderter Folge an einer objectiven Fläche appercipirt wurden. Um diesen Eindruck am besten hervorzurufen, darf man nicht etwa während der Augenbewegungen selbst gleichzeitig nach den Nachbildern suchen, weil dadurch die Bewegung ruckweise unterbrochen wird; man muss vielmehr die ungezwungenen Augenbewegungen sich vollziehen lassen, welche bei der natürlichen Betrachtungsweise als Umherschweifen des Blickes auf dem objectiven Gegenstand ganz von selbst erfolgen. Bei farbigen Nachbildern glaubt man dabei auf einer möglichst indifferenten Fläche ein eigenartig schillerndes, verwaschenes Gemisch zu sehen.

Bei farblosen Nachbildern scheint aber für die vom Blickpunkt überstrichene Fläche thatsächlich wieder ein annähernd einheitlicher Helligkeitseindruck zu entstehen, und deshalb wird bei hinreichender Ausdehnung ein solches Nachbild ganz abgesehen von der geringeren Eindrucksfähigkeit farbloser Helligkeitsdifferenzen viel eher übersehen werden können. Es ist ja nun allerdings nicht leicht, zu einem sicheren Urtheil darüber zu kommen, welche ruhend gesehene Helligkeit diesem Helligkeitseindruck zu vergleichen sei, der im bewegten Ueberblick über eine Fläche gewonnen wurde. Wenn man aber vor

einer Ausführung ausdrücklich hierauf bezügliche Experimente, die bisher unterblieben sind, eine Vermuthung hierüber aussprechen dürfte, so sollte man glauben, dass sie in der That als so etwas wie eine »normale« Helligkeit im Martius'schen Sinne gesehen werden müssten. Lässt man die bisher nur ganz allgemein erwiesene Annahme zu, dass die kleine Scheibe mehr verändert wird als die ausgedehntere Umgebung und im umgekehrten Sinne wie diese, so dass also der eine Theil sich relativ aufhellt, der andere sich relativ verdunkelt, so muss das Scheibennachbild mehr vom »Normalen« abweichen als das Nachbild der Umgebung, wenn man diesen Ausdruck für den Eindruck an Stelle der früheren Umgebung gebrauchen darf. Gleichzeitig wird aber nun bei jenen Augenbewegungen über eine Fläche hin jeder Punkt der Projectionsfläche öfter einen Theil des ausgedehnteren Nachbildes der Umgebung auf sich liegen haben, als das kleinere Nachbild der Scheibe. Für den Fall, dass wirklich eine solche apperceptive Mischung des Helligkeitseindruckes für jede Stelle der Projectionsfläche zu Stande kommt, wird also auf jeder Stelle die größere Abweichung vom Normalen, welche dem kleinen Scheibennachbild entspricht, im kleineren Verhältniss in den Gesamteindruck eingehen, als die geringere Abweichung vom Normalen, welche dem Nachbild der ausgedehnteren Umgebung entstammt. Der Gesamteindruck müsste sich also thatsächlich der normalen Auffassung, d. h. der Empfindung bei einer mittleren Erregbarkeit annähern, von der aus sich die Erregbarkeiten der beiden Flächenstücke in bestimmten Verhältnissen in entgegengesetzter Richtung entfernt haben.

Jene erste Thatsache, dass die qualitative Modification auf Grund der Nachbildwirkung im Urtheil zur Geltung kommt, ohne dass man das Nachbild als solches überhaupt als besonderen Gegenstand apperzipiren kann, spricht also zunächst gegen den Grundgedanken der Martius'schen Hypothese, dass überhaupt eine besondere psychische Stellung des Nachbildes zum Dasein der subjectiven Qualitätsveränderung nothwendig sei. Die zuletzt besprochene Möglichkeit für die Entstehung eines dem Normalen angenäherten Gesamteindruckes lässt hingegen eine einfache Auslegung des thatsächlichen phänomenalen Thatbestandes zu, welcher in der Martius'schen Methode gegeben ist. Nur müsste eben zugegeben werden, dass beim Hinblick

auf die Vergleichsscheibe im kritischen Moment thatsächlich noch keine absolute Ruhe der Fixation, sondern ein gewisses Schwanken des Blickes gegeben war. Die Vergleichsscheibe braucht ja hierzu nicht etwa nur mit den vorher von der Umgebung aus gereizten Netzhautstellen, aber doch eben auch mit denselben gesehen worden zu sein. Bei der Hinbewegung selbst wird ja die Vergleichsscheibe zunächst sogar nur mit solchen der Umgebung entsprechenden Stellen gesehen. Gerade dieses zunächst indirect appercipirte Ziel unserer Augenbewegung ist aber nach den früheren Ausführungen dasjenige, was allein schon während der Bewegung selbst einer genaueren Auffassung theilhaftig werden kann. So wird das hier Gesehene das Urtheil sicher mit beeinflussen, wenn wir dasselbe möglichst bald nach Erreichung der zweiten Scheibe zu fällen trachten. Wenn man aber nun nach einer schnellen Bewegung den entsprechenden Fixationspunkt, etwa die Mitte der Scheibe, glücklich erreicht hat, so ist eine so ruhige Haltung, wie sie bei der ersten Scheibe nach längerer Ruhe stattfand, überhaupt gar nicht gleich möglich. Man wird ganz unwillkürlich zunächst noch kleine Schwankungen mit dem Blicke ausführen. Zumal wenn der Gegenstand, von dem man herkam, für das Vergleichsurtheil eine so große Wichtigkeit besitzt, ist eine Tendenz, nach ihm zurückzublicken, für die ersten Augenblicke ganz natürlich. Nun sind aber ja die eigentlichen Hauptversuche von Martius gar nicht mit ganz entsprechender Fixation einer völlig gleichartigen Vergleichsscheibe angestellt worden, die sich ungefähr in einer entsprechenden Lage zu den Augen befand wie die primäre Scheibe. Die Vergleichsscheibe stand vielmehr etwas entfernter, war auch noch größer als die primäre Scheibe und das Urtheil wurde in einem freien directen Blick auf diese größere Scheibe abgegeben. Es wurde also thatsächlich in freier Bewegung auf eine Projectionsfläche hingesehen und der Helligkeitseindruck konnte wirklich einer solchen Mischung entsprechen, wie wir sie oben in ihrer Annäherung an den normalen Eindruck zu analysiren versuchten. Dass Martius seine eigentlichen Messungsversuche überhaupt mit einem solchen freien Blick nach der Vergleichsscheibe hin ausführte und nicht bei exacter Fixation einer ganz entsprechenden Scheibe, lässt vermuthen, dass diese scheinbar normale Auffassung hierbei noch prägnanter

zum Ausdrucke kam, was mit dieser Erklärung des Thatbestandes gut übereinstimmen würde¹⁾.

Diese Auslegung der Martius'schen Methode wird auch noch dadurch wahrscheinlicher, dass eine genaue Fixation einer nach Größe und Lage ganz entsprechenden Vergleichsscheibe gerade die sichersten Bedingungen für eine sofortige Apperception und Erkenntniss des Nachbildes als solchen in sich geschlossen hätte. Während nämlich, wie oben erwähnt, bei fortgesetzter genauer Fixation der primären Scheibe außer der objectiven Grenze keine besonderen Conturen im Sehfeld vorzukommen brauchen, kann bei seitlicher Projection auf eine Scheibe von gleicher Art die Grenze des Nachbildes mit der Scheibengrenze nicht mehr zusammenfallen. Die binoculare Fixation unter Drehung des Kopfes wird diesen Effect am meisten hervorrufen. Sie ist aber zugleich der complicirteste Fall, und die zum Endresultate beitragenden Factoren lassen sich daher am besten schon bei den einfacheren Versuchsbedingungen auffinden, in welchen sie relativ isolirt vorkommen. Schon bei monocularer Fixation wird natürlich das Nachbild die zweite Scheibe nicht vollkommen decken. Der Contrast lässt dabei die Conturen wie immer noch mehr hervortreten. Bei binocularer Fixation, zunächst unter Beibehaltung der nämlichen Kopfage, werden die primäre und die Vergleichsscheibe zu beiden Augen eine unsymmetrische Lage besitzen. Es wird also eine noch größere Verschiebung jedes einzelnen Doppelbildes zur Scheibengrenze eintreten. Lässt man schließlich noch eine natürliche Kopfhaltung bei der Entstehung des Nachbildes und seiner Projection zu, wie dies bei Martius der Fall gewesen zu sein scheint, so ergibt sich in Folge der verschiedenen Kopflagen

1) Dass nicht etwa die Augenbewegung als solche durch eine periphere physiologisch-mechanische Wirkung in den Verlauf der Nachbildwirkung in der Weise eingreift, wie es zu einem sofortigen Normalsehen nothwendig wäre, ist bereits in jener bekannten Discussion über die Fick-Gürber'sche Hypothese von Hering sorgfältig experimentell nachgewiesen worden (Hering, Ueber Ermüdung und Erholung des Sehorganes, v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie, XXXVII, 3, S. 1 ff.) Es zeigte sich dabei, dass die Augenbewegung nicht einmal den gewöhnlichen Phasenverlauf der Nachbilder stören, geschweige ihr Dasein überhaupt aufheben kann. Die hierdurch zurückgewiesene Auffassung wäre ja auch gar nicht im Sinne von Martius gelegen, der an einen psychologischen Grund des Zurücktretens denkt.

eine noch größere Differenz zwischen dem Bild der Vergleichsscheibe und dem Nachbild der primären Scheibe in jedem Auge. Der Wettstreit der Sehfelder wird ja hierbei noch gewisse Complicationen herbeiführen, die sich nur schwer im einzelnen angeben lassen. Jedenfalls kann er aber den Eindruck, der in jedem Einzelbilde die Lostrennung des Nachbildes als solchen von der Vergleichsscheibe bei wirklich fester Fixation besonders begünstigt, nicht principiell umgestalten. Bei sofortiger Erreichung einer festen Fixation der Vergleichsscheibe sind also die günstigsten Bedingungen für die Auffassung des Nachbildes als solchen vorhanden¹⁾. Wer noch dazu im Sehen von Nachbildern überhaupt eine große Uebung besitzt, wird daher bei einem derartigen Versuch sofort das Nachbild deutlich erfassen können und unter Umständen ohne eine besondere Einübung einer freieren Augenbewegung für die Martius'sche Methode unbrauchbar sein. Umgekehrt lässt aber das völlige Ausbleiben dieser Wirkung auf das Fehlen jener nothwendigen Vorbedingung für eine solche Aufdringlichkeit des Nachbildes als solchen schließen, d. h. eben auf das Fehlen einer festen Fixation. Sind aber nun einmal solche Blickschwankungen kurz nach dem Uebergang auf den neuen Fixationspunkt nicht auszuschließen, so werden alle bereits erwähnten Gründe für eine gesonderte Auffassung des Nachbildes als solchen nun gerade die Gemischtheit des Gesamteindruckes in Folge jener apperceptiven Vertheilung auf die verschiedenen Punkte des Blickfeldes noch mehr begünstigen. Denn einerseits sind die vermischten Einzelbilder inhaltlich viel schillernder, und andererseits wechseln die qualitativen Differenzen eben nach all den verschiedenen Hinsichten, welche bei der binocularen Auffassung in den verschiedenen Divergenzstellungen der Blickschwankungen eintreten. Aehnliches kann man ja auch schon bei der alten Methode beobachten. Wenn man hierbei die

1) Es würde zu weit führen, wenn ich die einzelnen Schemata, welche ich zu meiner eigenen Instruction für die beiden letzten complicirten Fälle anlegte, hier noch anführen und erklären wollte. Für die experimentelle Prüfung dieser Situationen eignen sich außerdem (noch besser als Scheiben) mehrere gleichartige und parallele farbige Streifen auf andersartigem, z. B. schwarzem Grund. Hier lässt sich besonders die immer klarere Trennung des Nachbildes von dem Vergleichsstreifen gut beobachten, indem man nach längerer Fixation eines beliebigen Streifens nach entsprechenden Fixationspunkten immer entfernterer Streifen fortschreitet.

Umgebung der Scheibe so eingestellt hat, dass sie der Scheibe unter genauer Einhaltung der Fixation subjectiv gleich erscheint, so genügen kleine Schwankungen des Blickes, um den Eindruck der Gleichheit zwischen Scheibe und Grund zu zerstören und die Auffassung des beiderseitigen Verhältnisses dem normalen Zustande anzunähern.

Kommt aber das Nachbild bei der Fixation einer anderen Scheibe thatsächlich ganz genau wieder so zu liegen wie auf der primären Scheibe, so zeigt es in der quantitativen Bestimmung nach der alten Methode nur die entsprechende Abnahme durch die Erholung, ohne dass eine Ausschaltung seiner Wirkung stattfände. Bei Anwendung einer besonderen Vergleichsscheibe wäre diese genaue Deckung natürlich immer nur annähernd zu erreichen. Es müsste die Ebene beider Scheiben zu der beiderseitigen Fixationsrichtung senkrecht stehen, und auch sonst die Form und Lage der Scheiben vollständig übereinstimmen. Das Einfachste bleibt also immer die erneute Fixation der nämlichen Scheibe nach einer beliebigen Abschweifung des Blickes oder Schließung der Augen. Schon v. Kries hat bekanntlich, wie schon erwähnt, solche Versuche angestellt, als er den Gang der Netzhauterholung bestimmte¹⁾. Nach vollständiger Herstellung der alten Fixationslage konnte ebenfalls wieder eine Nachbildwirkung von bestimmter Stärke gemessen werden.

Die Erscheinungen, von denen aus Martius zu seiner Theorie über das selbständige Wesen der Nachbilder gegenüber der Normalempfindung gelangt, können also auch nach der alten Anschauung erklärt werden, wonach die Nachbilder auf Erregbarkeitsdifferenzen beruhen und immer in der Empfindung als solche enthalten sind. Selbst wenn also in der oben angedeuteten Weise der positive Beweis erbracht wäre, dass uns die Vergleichsscheibe im ersten Momente wirklich den normalen Helligkeitseindruck macht, würde man trotzdem bei der alten Anschauung beharren können.

Gewisse allgemeinere Gesichtspunkte dürften indessen schließlich ganz und gar für die Festhaltung der letzteren entscheiden. Zunächst unterliegt es wohl auf Seiten der Psychophysiologie großen Schwierigkeiten, die Erscheinungen der Gesamtadaptation als principuell ver-

1) Meine eigenen Versuche hierüber sind auf S. 68 u. 85 ff. beschrieben.

schiedene Vorgänge von den gewöhnlichen negativen Nachbildern (oder den localen Adaptationsprocessen) loszutrennen. Es müsste dies aber geschehen, weil dieselben nach den früheren Ausführungen kaum der Martius'schen Auffassung über das Wesen der Nachbilder untergeordnet werden können. Andererseits scheinen die psychologischen Thatsachen, zu welchen die Nachbilder nach der Martius'schen Anschauung in Parallele stehen sollen, mit der alten Auffassung sogar noch besser zusammen geordnet werden zu können. Ich will dies nur für die als Analogie herangezogenen Obertöne kurz anzudeuten versuchen. Wie man diese nur zeitweise, je nach den besonderen Apperceptionsbedingungen, herauszuhören pflegt, ebenso sollen auch die Nachbilder nur manchmal psychisch zur Geltung kommen und im übrigen dem normalen Sehen Platz machen. Die Obertöne sind aber doch nicht etwas, das in dem Falle, wo die Apperception sie nicht gesondert auffasst, überhaupt nicht in der Gesamtempfindung vorhanden wäre, wie es bei den Nachbildern nach Martius der Fall sein soll. Beim Fehlen ihrer gesonderten Auffassung sind sie vielmehr in dem einheitlichen Tonganzen des Klanges mit seiner bestimmten Klangfarbe mit vertreten. Damit die Parallele zwischen der selbständigen Auffassung der Obertöne einerseits und der Nachbilder andererseits richtig hergestellt werden kann, dürfen wir also auch bei den Nachbildern nicht etwas durch die Apperception hervorzaubern lassen, das in der Empfindung vorher überhaupt gar nicht gegeben gewesen wäre. Die Apperception löst vielmehr in beiden Fällen nur ein Verschmelzungsproduct, nämlich dort den unanalysirten Klang und hier die unanalysirte Erfahrung über die Projectionsfläche in ihre Theile auf. Dort kommt es hierdurch zu gesonderten Tönen, hier zu gesonderten Flächenstücken, und ebenso wie dort nicht etwa die Qualitäten sich ändern, sondern gerade in ihrer Constanz zu ihrem thatsächlichen Erfolg in der Verschmelzung und in der Analyse befähigt sind, bleiben auch hier die Farben- und Helligkeitsempfindungen den nämlichen Reizen gegenüber constant.

Auch die verschiedenen Wirkungen, welche je nach der Qualität der reagirenden Projectionsfläche im Nachbild zu Tage treten und im F.-H.'schen Satze im allgemeinen vorläufig bestimmt sind, lassen sich kaum jemals als die Variationen ansehen, welche eine selbständige psychische Componente je nach ihrer Verschmelzung

mit anderen Erregungen durchmacht. Wenigstens wäre hier nicht leicht eine Analogie aufzufinden. Bei verschiedenen reagirenden Reizen sind hier vielmehr bereits verschiedene Empfindungserregungen gegeben, die in dieser Modification selbst die letzten selbständigen Componenten für Verschmelzungsvorgänge ausmachen.

Trotzdem man aber für den scheinbaren Ausfall der Nachbildwirkung keiner besonderen Theorie zu bedürfen scheint, so wird es doch jederzeit ein unbestreitbares Verdienst bleiben, diese Besonderheiten in der Nachbildauffassung überhaupt einmal mit Nachdruck hervorgehoben und sie für die Methode versuchsweise beigezogen zu haben. Könnte in der angegebenen Weise eine thatsächliche Annäherung ihrer Ergebnisse an die »normale« Auffassung nachgewiesen werden, so wäre sie auch für die bisherige Auffassung vom Wesen der Nachbilder höchst werthvoll. Ja dieser Werth würde sogar relativ erhalten bleiben, falls nur überhaupt eine feste Beziehung zu dieser Auffassung herausgefunden werden könnte.

Schließlich bin ich selbst für die ganze Anregung zu meiner eigenen Arbeit Herrn Professor Martius zu Danke verpflichtet. Durch die Lectüre seiner Arbeit wurde ich nämlich überhaupt erst auf die quantitative Bestimmung negativer Nachbilder hingewiesen und durch die gewonnenen Resultate zu eigenen Messungen ermuthigt, während ich mich früher nur mit den allgemeiner gehaltenen Untersuchungen der bekannten wichtigsten Theorien beschäftigt hatte. Erst durch diese Anregung bin ich dann auch auf die frühere Litteratur der exacten Nachbildmessung zurückgegangen.

B. Fragestellung.

Die bisher dargelegten Erwägungen ließen also zunächst die weitere Ausbildung der alten Messungsmethode als den geeignetsten Weg zum Fortschritt der quantitativen Nachbildbestimmungen erscheinen. Auch die Rechtfertigung der Martius'schen Methode, bezw. die Einordnung ihrer Resultate könnte ja ebenfalls nur mit gelungenen Versuchen nach dem alten Princip in Angriff genommen werden. Zur Vervollkommnung des letzteren erschien mir nun der von Herrn Dr. Marbe im Jahre 1894 erfundene Rotationsapparat besonders geeignet, der in der bekannten Weise zur Mischung von

Farben und Helligkeiten dient und die Veränderung der zu mischenden Sektoren während der Rotation selbst gestattet. Dieser werthvolle Apparat, der in keinem physiologischen oder psychologischen Institut fehlen sollte, ermöglicht durch jenen hauptsächlichsten Vorzug eine so reichhaltige Variation der Versuchsanordnungen, dass er fast für jedes Problem der psychologischen Optik wesentliche Vortheile in die Behandlung einführen dürfte. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass er nicht nur für Pigmentscheiben, sondern auch ebenso vortheilhaft, ja sogar noch mit besonderen Vorzügen, als Episkotister verwendet werden kann, und zwar sowohl für farblose als auch für farbige Qualitäten. Die Behandlung des Apparates ist dabei für den einigermaßen Geübten sehr bequem und sicher, und werden die Exemplare im mechanischen Institut von E. Zimmermann in Leipzig sehr dauerhaft hergestellt. Nachdem ich die ganze Arbeit von annähernd tausend Nachbildmessungen mit dem ersten Modelle durchgeführt habe, welches beiläufig bemerkt von den neueren Modellen noch in manchen Einzelheiten übertroffen wird, besitzt dasselbe wohl noch die nämliche Leistungsfähigkeit wie im Anfange.

Die relative Einfachheit, mit welcher dieser Apparat die Nachbildmessungen auszuführen gestattet, ermöglichte nun vor allem einmal eine bequeme Untersuchung der wichtigen Function, die den empirischen Sinn des Begriffes der Erregbarkeitsveränderung eigentlich erst wirklich an die Hand gibt, d. h. also eine Untersuchung über die Abhängigkeit des negativen Nachbildes vom reagirenden Reize. Der Versuch einer exacten Messung dieser Function, die im F.-H.'schen Satze bekanntlich auf Grund allgemeinerer Beobachtungen vorläufig festgelegt worden war, musste schon deshalb am nächsten liegen, weil erst nach einer solchen Bestimmung die Messungen verschiedener Nachbildwirkungen in verschiedenen reagirenden Reizstufen miteinander vergleichbar werden. Nach der Einsichtnahme in die Literatur der Nachbildmessungen fand ich dann auch, dass diese Frage auch abgesehen von den Fechner'schen und v. Helmholtz'schen Ausführungen schon mehrfach im Anschluss an quantitative Bestimmungen discutirt worden ist und dass v. Kries auf den Mangel eines experimentellen Beweises für jenen F.-H.'schen Satz als auf eine Lücke dieses Wissenszweiges ausdrücklich hingewiesen hat. Die technischen Schwierigkeiten bei den früheren Hilfs-

mitteln dürften wohl die Hauptursache für diese Unterlassung gewesen sein. Nach Erlangung besserer Mittel durfte aber dann auch nicht bloß bei den farblosen Nachbildern und farblosen reagirenden Reizen stehen geblieben werden, und so versuchte ich ganz allgemein die analogen Beziehungen zwischen negativen Nachbildern und reagirenden Reizen auch bei farbigen Nachbildern festzustellen, soweit es die angewendete Messungsmethode erlaubte.

Gleichzeitig sollte die neue Methode nach möglichst vielen Seiten hin ausgestaltet und durchgeprüft werden, und so wird zunächst dieser rein methodisch-technische Theil vielleicht manchem Leser etwas zu ausgedehnt vorkommen. Es hätte sich vielleicht, rein äußerlich betrachtet, viel vortheilhafter ausgenommen, ein einzelnes Gebiet mit einer einzigen Variation dieser Methode möglichst vollständig durchzunehmen. Dennoch stehen ganz naturgemäß bei solchen neuen Hilfsmitteln nicht gleich von Anfang an sämtliche Variationsmöglichkeiten so klar vor Augen, dass die exacteste von ihnen sofort ausgewählt werden könnte. Dieselbe wird selbst erst im Laufe der Versuche herausgefunden und kann die ganze Arbeit selbst schließlich nur als ein erster Versuch bezeichnet werden, allmählich zu exacteren Anordnungen auf diesem Gebiete durchzudringen.

Die Durchführung der Arbeit war natürlich überhaupt nur dadurch möglich geworden, dass sich Herr Geheimrath Wundt des Planes annahm und denselben am psychologischen Institut mit allen verfügbaren Hilfsmitteln ausführen ließ. Zudem ist die ganze Ausdehnung der Arbeit auf die Episkotister-Versuche, welche für die Entwicklung der Methode ebenso wie für die Ergebnisse selbst von hoher Bedeutung wurden, ausschließlich seiner Anregung entsprungen. Ich ergreife daher auch an dieser Stelle die Gelegenheit, meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen.

Erstes Capitel.

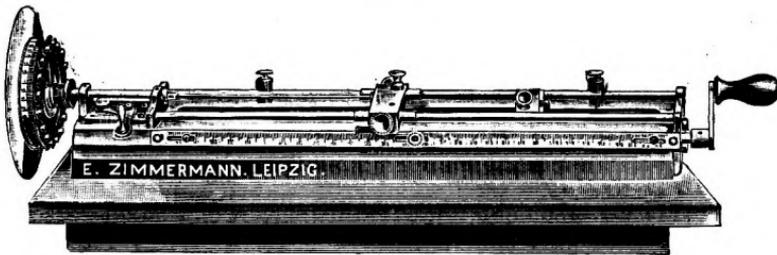
Prüfung des Fechner-Helmholtz'schen Satzes für den Helligkeitswerth farbloser Nachbilder durch Pigmentversuche.

A. Die Versuchsanordnung.

Bei dieser ersten Hauptgruppe musste also eine Nachbildwirkung durch Fixation einer bestimmten Helligkeitsdifferenz innerhalb einer Versuchsreihe constant hervorgerufen und dann in ihrer Entfaltung auf Flächen von verschiedener Helligkeit gemessen werden. Dabei kamen in diesem ersten Abschnitt nur farblose Helligkeitsdifferenzen in Betracht. Diese Fragestellung hätte nach den früheren Methoden nur schwer in exacter Weise in Angriff genommen werden können. Wollte man z. B. in der v. Kries'schen Anordnung (s. o. S. 8) an Stelle der »ermüdenden« Helligkeit verschiedene reagirende Helligkeiten treten lassen, so durfte natürlich von vornherein nicht mehr ein Theil des Farbenkreisels als Ermüdungsreiz benützt werden, wie es in der Verwendung der mittleren Scheibenfläche zu diesem Zwecke geschah. Denn der gewöhnliche Kreisell lässt nicht plötzlich eine Aenderung seiner Helligkeit zu. Es müsste also auch das zur Ermüdung dienende Weiß in einer Bedeckung des Farbenkreisels bestehen, und hätte das Nachbild also überhaupt durch Fixation einer festen schwarzen Fläche mit einer weißen Kreisfläche in der Mitte entstehen müssen. Durch Wegziehen dieser Fläche wäre dasselbe erst auf den Kreisell projicirt worden. Dieser hätte in seinem Centrum dann eine beliebige Helligkeit enthalten können, welche auf das Nachbild der weißen Scheibe reagirte, und die Helligkeit der Randzone wäre im Verlauf mehrerer Versuche wieder so lange variirt worden, bis sie unter Festhaltung der Fixation dem neuen reagirenden Centrum subjectiv gleich erschienen wäre. Aber natürlich hätte ein solches Verfahren an vielen Mängeln gelitten. Vor allem wäre eine hinreichende Uebereinstimmung der Conturen des Nachbildes mit der Grenze des mittleren Kreises am Mischungskreisell nur schwer zu erreichen gewesen. Außerdem hätte aber auch das centrale Blickfeld

durch Wegziehen der geschlossenen Deckfläche allzu große Störungen für eine ruhige Fortsetzung der Fixation erlitten, und die Folgen dieser Mängel sind in den früheren Ausführungen hinreichend dargestellt worden.

Fig. 2.



Der Marbe'sche Apparat.

1. Diese Schwierigkeiten können nun unter Verwendung des Marbe'schen Rotationsapparates, in Verbindung mit einer besonderen Versuchsanordnung, vollständig beseitigt werden. Für die Einzelheiten des Apparates erlaube ich mir auf die Beschreibung durch den Erfinder selbst zu verweisen¹⁾, glaube aber doch die Grundzüge, welche in der Versuchsanordnung von Wichtigkeit sind, kurz angeben zu sollen. Die Figur 2 zeigt den Apparat in der verbesserten Construction, in welcher er von E. Zimmermann in Leipzig hergestellt wird. Auf der Rotationsscheibe von ca. 11 cm Durchmesser kann ein einarmiger Hebel in radialer Lage mit dem Drehpunkt im Scheibencentrum parallel zur Fläche herumgeführt werden. An dem Peripherie-Ende dieses Hebels ist das eine Ende einer Darmsaite befestigt, welche von hier aus um den äußeren Rand der Scheibe über Rädchen einmal herumläuft und dann ins Innere nach der hohlen Axe der Scheibe geht. Hier biegt sie um ein Rädchen in die Richtung der Rotationsaxe selbst um und gelangt ins Freie. Sie endigt in dem Kopfe einer kleinen gleichgerichteten Axe, die mit dem diesseits jenes Rädchens befindlichen Theile der Saite in der Fortsetzung der Drehungsaxe der Scheibe liegt und deren Lager sich in einem

1) Marbe, Vorrichtung zur successiven Variirung der Sektoren rotirender Scheiben und zur Ablesung der Sektorenverhältnisse während der Rotation. *Physiol. Centralblatt* 1894, Heft 25, S. 811 (zugleich D. R.-Patent).

kleinen Schlitten befindet, der in Richtung der Axe verschoben werden kann. Durch Fortschieben des Schlittens von der Scheibe nach rückwärts wird in Folge dessen die Saite aus der Scheibe allmählich herausgezogen, wobei sie den am anderen Ende befestigten Hebel um die Scheibe herumführt. Die Zurückverschiebung des Hebels wird dadurch herbeigeführt, dass eine starke Uhrfeder den Hebel jeder Zeit so weit in seine Ausgangslage zurückdreht, als die Darmsaite durch Annäherung des Schlittens an die Scheibe ihr wieder nachgibt. An jenem Hebel ist nun die eine Scheibe eines Maxwell'schen Scheibenpaares befestigt, welche sich bei der Drehung des Hebels gegen die andere, am Apparat befestigte Scheibe in der bekannten Weise verschiebt, wie es beim gewöhnlichen Mischungskreisel in der Ruhelage des Apparates mit der Hand vorgenommen werden muss. Da hier alle für die Verschiebung in Betracht kommenden Theile sich theils in und an der Rotationsscheibe befinden, theils selbst drehbar in der Fortsetzung der Drehungsaxe liegen, so functionirt der Mechanismus zur gegenseitigen Verschiebung der Scheiben während der Rotation ebenso wie in der Ruhelage und gestattet somit z. B. bei Verwendung einer schwarzen und einer weißen Scheibe eine continuirliche Variation der Helligkeit.

2. Man kann also z. B. sogleich die v. Kries'schen Versuche in der Weise nachprüfen, dass man vor die Mitte einer Maxwell'schen Scheibencombination von Weiß und Schwarz eine kleinere weiße Scheibe aufsetzt, hinter der die Verschiebung des Scheibenpaares ungehindert vor sich gehen kann, und die Mischung auf reines Schwarz einstellt. Während der Rotation sieht man dann zunächst wieder einen weißen Kreis auf schwarzem Grunde. Hat man einen bestimmten Punkt des Ganzen eine Zeit lang fixirt, so kann das Schwarz des Randes ohne weitere Verschiebungen der Conturen im Sehfeld dem Weiß des Centrum's beliebig weit angenähert werden, indem man den Schlitten bis zu einem bestimmten Punkt seiner Gleitbahn verschiebt. Zunächst könnte man dabei ebenso wie v. Kries nach der Methode der Minimaländerungen verfahren und den Versuch mit plötzlicher Herstellung einer bestimmten Vergleichshelligkeit des Randes oftmals wiederholen, bis die Stelle voller subjectiver Gleichheit ausprobert worden ist. Ein gewöhnliches Laufgewicht einer Stimmgabel kann zu diesem Zwecke den Schlitten an einer beliebigen

Stelle seiner Bahn aufhalten. Wenn es wirklich darum zu thun ist, wie groß die Nachbildwirkung im allerersten Momente ist, wird man auch niemals anders verfahren dürfen. Es ist aber nun ein Hauptvorthail des Marbe'schen Apparates, dass er die Erzielung einer annähernd exacten Nachbildmessung auch mit Hülfe eines einzigen Versuches möglich macht, ein Vorzug, der bei der ohnehin schon vorhandenen Langwierigkeit eines einzigen Versuches nicht hoch genug anzuschlagen ist. Dazu gehört dann natürlich erst eine kleine Hülfsvorrichtung, welche es der beobachtenden Person selbst ermöglicht, die Stellung des Schlittens mit hinreichender Schnelligkeit und Bequemlichkeit zu verändern, ohne irgendwie in der Fixation gestört zu werden. Diese Selbsteinstellung der Scheibe bzw. des Schlittens war bei meiner Versuchsanordnung in sehr einfacher Weise durch zwei Fäden ermöglicht, die vom Beobachter wie zwei Zügel gehandhabt wurden. Sie liefen von seinen Händen aus durch je eine Rolle und einen Ring an die entgegengesetzten Enden der Gleitbahn des Schlittens und griffen von beiden Seiten aus den Schlitten als antagonistische Zugkräfte an. Durch Anziehen an der einen Schnur und Nachlassen der anderen konnte also der Beobachter jede beliebige Schlittenstellung rasch und bequem herbeiführen. Der gesammte Spielraum des Schlittens beträgt ca. 30 cm und dies war somit die größtmögliche Differenz der Handlage, wenn man vom vollen Schwarz zum reinen Weiß oder umgekehrt übergehen wollte. Reibung war dabei sehr wenig zu überwinden, da der Schlitten bei der Zuverlässigkeit jener antagonistischen Fixirung auf eine relativ leichte Beweglichkeit eingestellt werden konnte. Eine gleichzeitige Kopfbewegung wurde dadurch vermieden, dass jeder Zeit mit einer Kinnstütze gearbeitet wurde. Durch die Uebung erreichte man sehr bald auch eine vollständige Unabhängigkeit der Fixation von der Einstellungsbewegung. Auch associirte sich die Richtung der Helligkeitsveränderung so fest mit der Zugrichtung, dass die entsprechende Einstellungsbewegung bald fast ganz automatisch ausgeführt wurde und die optische Reflexion den ganzen Bewegungsvorgang ausschließlich beherrschen konnte. Dabei wurden aber doch die Hände vielleicht nicht immer in gleicher Weise an die Zügel gelegt; die letzteren waren vielmehr absichtlich ohne jede Markirung und wurden vor jedem Versuch in ganz freier, ungezwungener Weise ergriffen. Nur nahm

dabei die rechte Hand immer denjenigen Zügel, welcher gemäß der ursprünglichen Differenz von Scheibe und Grund zunächst die all-gemeinste Annäherung herbeiführen, also entweder aufhellen oder verdunkeln musste¹⁾. Dadurch war eine völlige Unwissentlichkeit des Verfahrens vorhanden, die wenigstens dann einen Hauptvorteil dieser Selbsteinstellung vor der zuerst erwähnten plötzlichen Einstellung in Verbindung mit Minimaländerung bildete, wenn der Experimentator allein arbeitete.

3. Kann somit der Marbe'sche Apparat für die raschere Nachprüfung der früheren Arbeiten ohne jede Zuthat verwendet werden, so bedarf es zur Untersuchung der Abhängigkeit einer bestimmten Nachbildwirkung von der reagirenden Helligkeit zunächst noch einer weiteren Hilfsvorrichtung, wenigstens für den Fall, dass man mit Pigmentfarben und mit möglichstem Ausschluss störender Contraste, also bei möglichster Gleichmäßigkeit des übrigen Sehfeldes arbeiten will. Zu diesem Zwecke muss ja sowohl die Scheibe als auch die Umgebung in ihrem ganzen Umfange variiert werden. Die Scheiben des Apparates können aber höchstens 30 cm im Durchmesser betragen, und müsste zur Verwendung größerer Scheiben erst ein besonders kräftiges Modell gebaut werden. Sollen dagegen mit den gewöhnlichen kleinen Apparaten solche Versuche mit Pigmentfarben angestellt werden, so muss die Umgebung der Scheibe überhaupt nicht von einer Rotationsscheibe, sondern von einer möglichst großen und ebenen Papierfläche gebildet werden²⁾.

1) Eine kleine Einschränkung muss hier nur für diejenigen Fälle hinzugefügt werden, wo die Einstellung voraussichtlich eine sehr große Veränderung der Helligkeit erforderte. Hier wurde dann natürlich mit der rechten Hand von Anfang an etwas weiter ausgeholt. Doch war auch hier die Handlage im übrigen völlig frei und ungezwungen.

2) Die Größenfrage bildet aber auch den einzigen Anlass hierzu. Es liegt nicht vielleicht daran, dass mit dem Marbe'schen System nicht die Mittelfläche und der Rand der Scheibe in dem Sinne verändert werden könnten, dass gleichzeitig eine neue reagirende Helligkeit in der Mitte und eine dazugehörige Helligkeit in der Randzone entsteht, welche subjectiv mit der Mitte gleich hell erscheint. Es wird vielmehr in dem späteren Theile über eine solche Anordnung berichtet werden können, in welcher eben dann nur die Umgebung in beschränktem Umkreise variiert werden konnte. Ferner ist die gemeinte Hilfsvorrichtung nur für die Anordnung mit Pigmentfarben möglich und auch nur hierfür nothwendig, da sich die analoge Aufgabe für Episkotisterversuche in ganz anderer Weise überwinden lässt, wie sich später zeigen wird. (S. 82 ff.)

Sobald nun die Wirkung des Nachbildes auf einer reagirenden Fläche von anderer Helligkeit untersucht werden soll, muss natürlich diese ursprüngliche Umgebung durch eine andere Helligkeit ersetzt werden. Diese Veränderung darf aber womöglich nicht in der Weise vor sich gehen, dass die ursprüngliche Umgebung nun eine darunter befindliche Randzone der Rotationsscheibe selbst frei werden lässt; sonst würde ja die neue Umgebung doch wieder nicht von einer möglichst einheitlichen Ausfüllung des ganzen Sehfeldes gebildet. Es muss vielmehr diese neue Umgebung selbst wieder in einer großen Papierfläche von anderer Helligkeit bestehen. Man musste sich also eine Reihe großer, gleichmäßig grauer Papierflächen von verschiedenen Helligkeitsstufen verschaffen. Im Handel ist ja allerdings eine solche Stufenfolge indifferent grauer Papiere kaum zu erhalten. Doch lassen sich dieselben durch Bestreichung weißen Aquarellpapieres mit verschieden gesättigten Lösungen von reinem (Pariser) Schwarz verhältnissmäßig einfach herstellen¹⁾. Die kleine mittlere Variation der einfachen Helligkeitsbestimmungen der grauen Papiere, die in den späteren Tabellen angegeben sind, dürften den besten Beweis für die Gleichmäßigkeit des erzielten Helligkeitseindruckes abgeben. Als ursprüngliche Umgebung der Scheibe, in welcher das Nachbild selbst gewonnen wurde, verwendete ich hingegen ein fertig gekauftes Aquarellpapier, welches fast vollständig indifferent grau war und höchstens ganz unmerklich ins Blaugraue spielte²⁾. Dieses Grau, das ich künftighin als Normalgrau bezeichnen will, brauchte ich als constanten Ausgangspunkt natürlich in größerem Vorrath und durfte es daher nicht auf die angegebene Art selbst herstellen. Denn hierdurch hätte man höchstens ein paar Quadratmeter auf einmal gewinnen können; bei verschiedenen Herstellungen konnte man hingegen zwar hinreichend

1) Mit Hülfe des Druckes ließe sich ja diese Abstufung mit großer Exactheit herstellen, wenn auch nur unter entsprechendem Kostenaufwand. Aber auch mit der Hand lässt sich ein gutes Aquarellpapier in sehr großen Flächen recht gleichmäßig grau bemalen. Man muss nur bekanntlich einen recht breiten Pinsel benutzen und das Papier vorher sorgfältig mit Wasser gleichmäßig präpariren und ausspannen, wobei natürlich auch das Malbrett in entsprechender Größe völlig ebenmäßig sein muss.

2) Dieses unter vielen Mustern ausgewählte Grau erhielt ich bei Nestmann in Leipzig als Aquarellpapier Nr. 905 b/22.

verschieden abgestufte, kaum aber jemals wieder ganz die nämlichen Helligkeiten treffen.

Für die vorliegende Frage war es im allgemeinen völlig gleichgültig, welche Helligkeit diese ursprüngliche Umgebungsbesaß, in der die Scheibe zur Entstehung des Nachbildes fixirt wurde. Es handelte sich nur darum, dass die Scheibe noch stark genug von ihr abwich, um eine kräftige Nachbildwirkung zu erzielen. Dabei war ein allzu starker Contrast nicht einmal wünschenswerth. Es ist ja eine allgemeine Thatsache, dass die psychophysischen Gesetzmäßigkeiten in den mittleren Intensitätsgraden am reinsten zu Tage treten, und dass alle Extreme durch Steigerung störender Nebeneinflüsse mehr oder weniger abweichende Grenzfälle hervorbringen. Zum mindesten wollte ich also nicht Weiß auf schwarzem Grund oder das Umgekehrte als Ausgangslage wählen. In die Müller'sche und v. Kries'sche Anordnung spielten ja noch gleichzeitig theoretische Voraussetzungen hinein, dass eine rein schwarze Umgebung nach völliger Erholung des Auges wegen der Constanz ihrer Erregbarkeit gewissermaßen als das »Normale« einen festen Halt abgeben würde. Die gefundenen Differenzen der Gleichheitseinstellung glaubte man in diesem Falle ganz auf Rechnung der kleinen, anfangs weiß gesehenen Fläche setzen zu können. Diese Auffassung lag ja bei ihnen im Begriff der »ermüdeten« und »unermüdeten« Stellen enthalten. Die Untersuchung über die Gültigkeit des F.-H.'schen Satzes ist aber natürlich von solchen Voraussetzungen völlig unabhängig. Auch im Sinne der erwähnten Theorie muss dieser Satz oder ein anderer, der an seine Stelle zu treten hätte, für alle Erregbarkeitsänderungen und daher auch für alle Differenzen benachbarter Erregbarkeiten gelten, gleichgültig, welche von ihnen sich während der Fixation erhöht, erniedrigt oder relativ constant erhalten haben. Gleichzeitig wollte ich das Nachbild, das auf den verschiedenen reagirenden Flächen gemessen werden sollte, wenigstens auf zwei verschiedene Arten gewinnen. Es sollte in ein und der nämlichen Umgebung einmal eine wesentlich dunklere und das andere Mal eine wesentlich hellere Scheibe fixirt werden, damit die etwa gefundene Regelmäßigkeit ausdrücklich von dem gegenseitigen Verhältniss der benachbarten Erregbarkeitsveränderungen unabhängig zu Tage trete, welches z. B. nach der Hering'schen Auffassung von den negativen Helligkeitsnachbildern sogar eine

verschiedene Richtung jener Aenderung bedeutet. Somit war also um so mehr eine mittlere Helligkeit des Normalgrau erwünscht. Denn in diesem Falle stand die Scheibe bei ihrer Einstellung auf volles Schwarz und auf volles Weiß zu diesem Normalgrau in einem hinreichenden und doch nicht übertriebenen Contrast und hatte in beiden Fällen einen annähernd gleichen Helligkeitsabstand in entgegengesetzter Richtung.

3a. Die normalgraue Umgebung, welche die contrastirende Scheibe bei der Entstehung des Nachbildes unmittelbar umschloss, durfte nun nach der entsprechenden Fixationszeit natürlich nicht in beliebiger Weise weggenommen und durch eine andere Fläche ersetzt werden, wenn es sich um die Messung des Nachbildes auf einer anderen als der normalgrauen Helligkeitsstufe handelte. Bei der Größe der Fläche, welche zugleich eine solidere Befestigung derselben nothwendig machte, wären dadurch die größten Störungen in der Fixationsrichtung eingetreten. So musste man sich denn gleich von vornherein zur Herstellung eines zweckmäßigen Mechanismus entschließen, der mit möglichster Schnelligkeit die normalgraue Umgebung ohne Passirung der Fixationslinie entfernte und eine bequeme Auslösung zuließ. Die Einrichtung war kurz die folgende (s. Fig. 3 und 4). Vor dem hohen Tische (*T*), auf dem der Marbe'sche Apparat (*A*) in Augenhöhe des sitzenden Beobachters stand, war auf der dem Beobachter zugekehrten Seite ein glattes Brett (*B*) von ca. 2 m Höhe und 1 m Breite lotrecht aufgestellt. Seine Vorderfläche bildete möglichst genau eine Ebene mit der Scheibe des Rotationsapparates, die in einem quadratischen Ausschnitt inmitten des Brettes hinreichenden Spielraum besaß. Auf der Vorderseite des Brettes wurde nun diejenige Papierfläche, die nach Wegnahme des Normalgrau die neue Umgebung der Scheibe bilden sollte, mit Reißnägeln befestigt. Sie bedeckte das Brett in seinem ganzen Umfange. Inmitten dieser Papierfläche befand sich ein kreisrunder Ausschnitt, der sehr sorgfältig mit der Drehungsaxe der Scheibe centriert war. Diese Centrirung war bei jeder neuen Befestigung des Papiere leicht wieder aufzufinden. Denn der Rotationsapparat kam niemals aus seiner mit Schraubzwingen fixierten Lage, und die Papierflächen konnten in Folge einer genauen Markirung rasch wieder die alte Lage auf dem Brette erhalten. Der Rand des Kreisausschnittes war im Papier möglichst

Fig. 3.

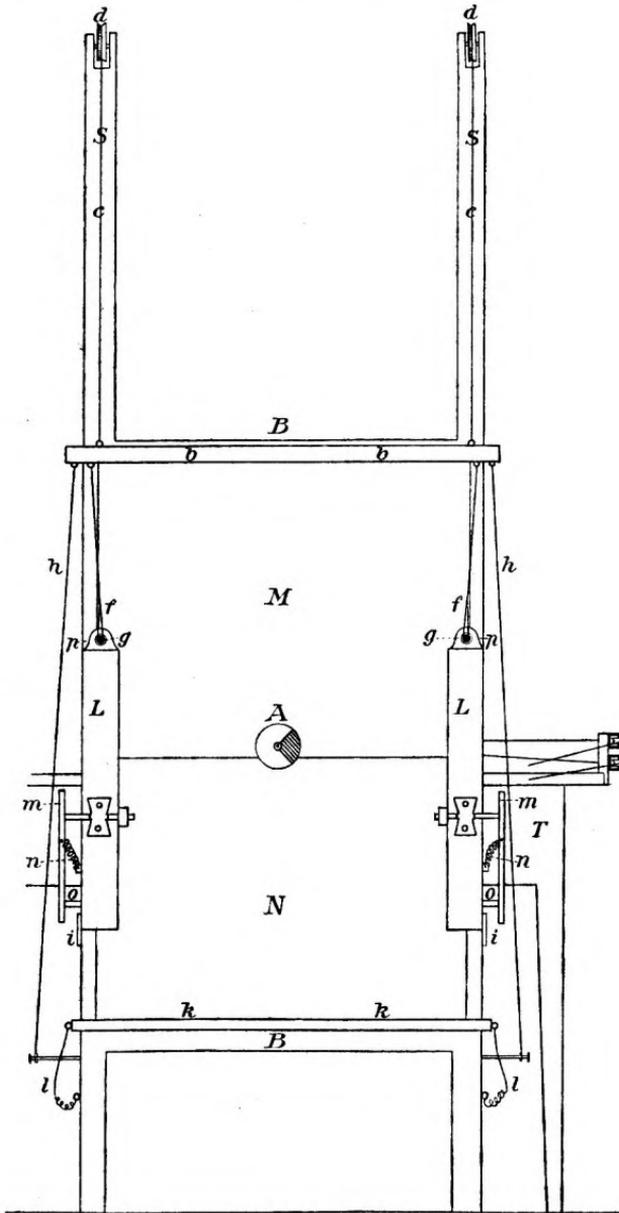
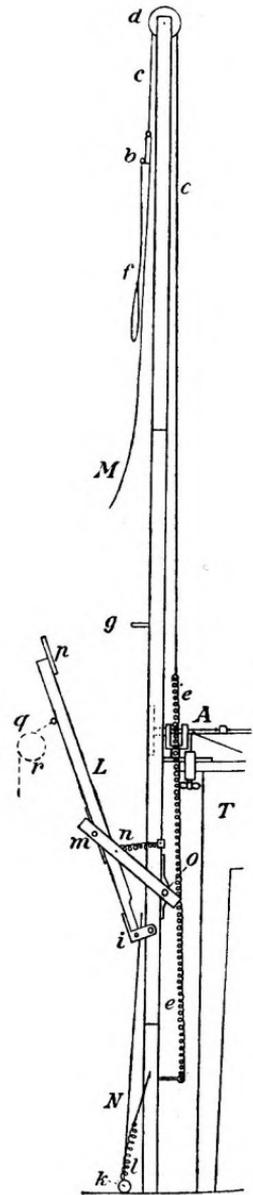


Fig. 4.



scharf und zackenlos hergestellt und lag sehr glatt auf der Papierscheibe des Rotationsapparates auf. Letztere war im Radius 1 cm größer als der Kreisausschnitt mit 5,5 cm Radius und schleifte also noch mit einem 1 cm breiten Rande concentrisch hinter der Papier-

fläche der Umgebung auf. Es war somit eine sehr präzise Contur zwischen Scheibe und Umgebung ohne jeden Flächenunterschied erreicht, wclch letzterer ja das Helligkeitsurtheil ganz besonders zu stören pflegt. Der in Folge der Schleifung polirte Rand der Scheibe kam bei der guten Centrirung nicht zum Vorschein, und ebenso wenig litt der Rand des Kreisausschnittes.

Um das auf dieser unteren Papierfläche zunächst aufliegende Normalgrau ohne Passirung der Fixationslinie zu entfernen, musste dasselbe aus zwei Halbf lächen (M und N) bestehen, welche in einer horizontalen Linie (aa) in Höhe des Scheibencentrums aneinander grenzten. Beide Hälften trugen natürlich an ihren gegenüberliegenden Rändern zwei halbkreisförmige Ausschnitte, welche in der Ausgangslage sich zu einer exacten Begrenzung der Scheibe ergänzten und ganz genau auf den Kreisausschnitt der darunter liegenden Papierfläche passten. Die Contur bei Entstehung des Nachbildes war also ganz genau die nämliche, wie bei der Messung in einer anderen Helligkeitsstufe. Die obere Hälfte (M) konnte sich von dieser horizontalen Mittellinie rasch nach oben, die untere (N) ebenso schnell nach unten entfernen, wodurch also rings um die Scheibe selbst die neue Umgebung vom ersten Augenblick der Bewegung an freigelegt wurde, und zwar geschah dies auf folgende Weise. Die obere normalgraue Papierhälfte war mit ihrem oberen Rande, der durch eine Querleiste (b) aus Holz gesteuft war, an zwei Schnüren (c) aufgehängt. Diese Schnüre liefen über je eine von zwei Rollen (d), die ca. 1 m über jeder der beiden oberen Brettecken an Stäben (S) angebracht waren, und endigten auf der Rückseite des Brettes in je einer 1 m langen Spiralfeder (e) mit großem elastischen Spielraum, welche mit ihrem unteren Ende (etwa 40 cm vom Fußboden entfernt) auf der Rückseite des Brettes befestigt war. (Siehe Fig. 4.) Diese Federn waren am meisten ausgespannt, sobald die Holzleiste so weit herabgezogen war, dass sich die an ihr hängende Papierfläche in ihrer richtigen Lage als Umgebung der Rotationsscheibe befand (Vorderansicht). Sie hatten also die Tendenz, diese Fläche mittels der über die Rollen laufenden Schnüre emporzureißcn. Die Fläche wurde zunächst nur dadurch in ihrer ursprünglichen Lage festgehalten, dass zwei von der Querleiste des Papieres nach unten hängende Schlingen (f) von je einem glatten Stifte (g) gefangen waren. Wurden beide Schlingen

gleichzeitig über diese Stifte abgestreift, so schnellte die obere Hälfte der normalgrauen Bedeckung plötzlich um ca. 1,25 m empor und gab die Unterlage frei. Natürlich durfte man nicht die volle, ungehemmte Federkraft wirken lassen, weil diese sonst die Querleiste samt dem Papier oben hart angeprellt hätte. Es waren daher von der Querleiste noch zwei kräftige Gummischnüre (*h*) nach unten gespannt und dort am Brette befestigt. (Nur in der Vorderansicht). War das Papier in seiner richtigen Ausgangslage, so waren diese Gummischnüre fast vollständig entspannt, und die Spiralfedern setzten daher nach Auslösung der Schlingen mit voller Wucht ein. Je höher aber die Querleiste emporgezogen wurde, um so stärker wurde der Gegenzug der Gummischnüre und um so weniger wurde die Spannung der Federn. Durch Ausbalancirung der Zugkräfte erzielte man schließlich eine plötzlich einsetzende und sehr schnell, aber völlig ruhig abschließende Bewegung der oberen Papierhälfte¹⁾.

Die untere Hälfte der normalgrauen Fläche wurde in ihrer Ausgangslage nur durch zwei ca. 4 cm breite Holzleisten (*L*) zu beiden Längsseiten des Brettes an dessen Vorderfläche angedrückt. Diese Holzleisten, die in dieser Lage auch die obere Papierhälfte glatt andrückten, konnten durch Drehung um einen Drehpunkt (*i*), der an ihrem unteren Ende gelegen war, vom Brette um so viel entfernt werden, dass die Papierfläche eben bequem durchgleiten konnte. Das Eigengewicht der letzteren war durch Befestigung eines horizontalen Querstabes (*k*) am unteren Ende so vermehrt worden, dass sie bei jener Aufhebung der Anpressung rasch nach unten fiel. Zwei Schnüre mit kleinen Spiralfedern (*l*) fingen zugleich diesen herabgleitenden Querstab geräuschlos kurz über dem Fußboden auf. Das Anpressen der beiden Holzleisten geschah durch zwei Hebel (*m*), welche von Spiralfedern (*n*) an das Brett fest angezogen wurden. Beide Hebel waren an einer gemeinsamen, auf der Rückseite des Brettes horizontal durchlaufenden Drehungsaxe (*o*) befestigt, so dass ein Zurückziehen des einen Hebels vom Brette zugleich den anderen sich zurück-

1) Die Vorrichtung mit den Spiralfedern ist einem Emporziehen der oberen Fläche durch Gewichte sehr vorzuziehen. Denn letztere greifen gerade umgekehrt anfangs nur sehr langsam an, besitzen zuletzt ihre schnellste Bewegung und beendigen daher bei der hierzu erforderlichen Schwere den ganzen Vorgang mit einer sehr starken Erschütterung des ganzen Apparates.

drehen ließ, worauf beide Holzleisten gleichzeitig das Papier freigaben. Durch dieses Zurückgehen der beiden Holzleisten vom Brette wurden nun in Folge einer einfachen Vorrichtung (p) zugleich die beiden Schlingen, welche die obere Papierhälfte in ihrer Ausgangslage festhielten, von ihren Stiften abgestreift. Ein kleiner Zug an dem einen Hebel befreite also in einem Augenblicke ein 2 qm großes Feld von bestimmter Helligkeit von der normalgrauen Bedeckung, ohne dass die Fixationslinie unterbrochen wurde. (Siehe Fig. 4.) Damit dieser Vorgang vom Beobachter selbst ausgelöst werden konnte, führte eine Schnur (q) vom Hebel aus über eine feste Rolle (r) nach einem Pedal am Platze des Beobachters, der sich an einem kleinen Tischchen, mit dem Auge 1 m vom Scheibencentrum entfernt, befand. Auf der Tischplatte, die mit normalgrauem Papier überkleidet war, befand sich außer der Kinnstütze auch noch eine einfache Vorrichtung, um die Zügel nach einer bestimmten Schlitteneinstellung fixiren zu können. Nachdem mir Herr Professor Wundt auch noch einen Elektromotor zur Verfügung stellte, welcher die Betheiligung eines Gehülfen zur Drehung des Rotationsapparates unnöthig machte, konnte der ganze Mechanismus vom Beobachter allein gehandhabt werden, ein Vortheil, der bei Nachbildmessungen ebenfalls sehr hoch anzuschlagen ist. Derartige Versuche sind ja allein schon wegen der großen Pausen zur Erholung des Auges eine sehr zeitraubende Sache, und größeres Material kann nur dadurch gewonnen werden, dass eine Person Tag für Tag mehrere Stunden darauf verwendet. Hierzu wird man aber nur in den seltensten Fällen eine Versuchsperson bereit finden, ja nicht einmal Gehülfen werden immer im günstigsten Augenblicke zur Verfügung stehen. Bei Theilnahme anderer Personen kann man ja immer noch gewisse Vereinfachungen eintreten lassen. Insbesondere habe ich z. B. die Auslösung jenes Szenenwechsels niemals einem anderen Beobachter zugemuthet, da er bei der geringeren Eingebüththeit hierdurch vielleicht doch im Vergleichsurtheil und in der Einstellungsbewegung behindert worden wäre. In diesem Falle zog ich nach einem bestimmten Vorbereitungs-signal jederzeit selbst den Hebel aus einer gewissen Entfernung zurück. Mir selbst war nach kurzer, aber eben wenig unterbrochener Einübung die Benutzung des Pedales so geläufig geworden, dass keine Störung der Fixation hiermit verbunden war. An das kurze Geräusch

bei Auswechselung der Umgebung hatte sich aber jeder sehr rasch gewöhnt. Durch die symmetrische Entfernung beider Flächenhälften von der Scheibe war ja auch kein Bewegungsantrieb für die Blickrichtung nach oben oder unten bevorzugt.

Durch die sonstigen Umstände wurde mir indessen noch eine ziemlich ungünstige Versuchsbedingung recht unfreiwillig aufgenöthigt. Die ganze Ausführung der Experimente war nämlich leider von einem gewissen Lärm begleitet. Das Geräusch des freistehenden Marbeschen Apparates ist ja verschwindend klein; aber das Aufschleifen der rotirenden Papierscheibe auf der großen Papierfläche bewirkte einen eigenthümlich rasselnden und trommelnden Laut. Derselbe war allerdings völlig gleichförmig und daher für die Versuchsperson bei der geringsten Gewöhnung völlig unschädlich. Leider störte er aber in den benachbarten Räumen doch noch so sehr, dass der Apparat in einem relativ isolirt liegenden Zimmer aufgeschlagen werden musste, da eine Abänderung wesentliche Vortheile hätte aufgeben müssen. Das Zimmer ließ jedoch hinsichtlich der Beleuchtung bei seiner Westlage etwas zu wünschen übrig und konnte nicht verdunkelt werden. Dennoch glaube ich auch diese Schwierigkeit durch sorgfältige Auswahl der Versuchszeit einigermaßen überwunden zu haben. Zum Glück für diese Versuche war auch das vorige Frühjahr ziemlich reich an Tagen mit gleichmäßig bedecktem Himmel, bei dem sich die Westlage nicht so unangenehm bemerkbar macht, zumal da das Zimmer sehr hell ist. Auch hierbei kam mir natürlich sehr zu statten, dass ich durch meine Versuchsordnung nur auf mich selbst gestellt war.

B. Die Versuche und ihr Ergebniss.

1. Zunächst wurde also jedesmal durch Fixation der schwarzen oder weißen Scheibe in der normalgrauen Umgebung eine ganz bestimmte Nachbildwirkung erzeugt. Hierauf wurde die Scheibe unter genauer Einhaltung der Fixation entweder sofort zu diesem Normalgrau selbst subjectiv gleich eingestellt, oder es erfolgte zuerst jene Auswechselung der Umgebung, worauf die Scheibe ebenfalls ohne Zeitverlust der neuen Umgebung von beliebig anderer Helligkeit subjectiv gleich gemacht wurde. Als Fixationspunkt diente in dieser Hauptgruppe immer der Mittelpunkt der Rotationsscheibe, welcher an

dem möglichst verkleinerten und entsprechend gefärbten Schraubenkopf deutlich markirt war. Diese Lage erschien geeigneter als ein Punkt des Randes, da sonst bei der Auswechslung der Hintergründe Blickschwankungen unvermeidlich gewesen wären, während die Mitte an jenem Vorgang völlig unbetheiligt war. Da der Scheibenradius nur 5 cm betrug, so war die Grenzlinie von der Mitte nur um einen Gesichtswinkel von 3° entfernt, wenn man wie hier aus einer Entfernung von 1 m fixirte. Die Helligkeitsvergleichung war daher noch absolut sicher, und das Nachbild besaß gleichzeitig eine völlig symmetrische Lage zur Mitte des Sehfeldes. Zur Controle habe ich auch noch wenigstens auf Normalgrau selbst verschiedene Messungen nach Verlegung des Fixationspunktes auf die Grenze vorgenommen. Hier war ja keine Auswechslung nothwendig und jene Störung infolgedessen ausgeschlossen. Die Resultate zeigten eine vollkommene Uebereinstimmung mit den sonstigen Ergebnissen, die bei Fixation der Mitte vorgenommen waren.

Für die Genauigkeit der Resultate kam es nun vor allem darauf an, für ein und die nämliche Helligkeitsstufe möglichst viele Einzelmessungen mit einer constant gehaltenen Nachbildwirkung zu erlangen. Dieser thatsächlich eingehaltene Weg war wenigstens der zunächstliegende gegenüber dem anderen, dass man für ein und die nämliche Nachbildwirkung nur eine geringere Zahl von Messungen vornimmt und dafür lieber die Nachbildwirkung in größerem Umfange variirt (etwa durch verschiedene Fixationsdauer, wie dies v. Kries bei Messung der Abhängigkeit von der Reizintensität gethan hat). Die beliebige Wahl der Fixationszeit kann ja nicht als Fehlerquelle betrachtet werden, welche durch Combination mit anderen Fixationszeiten aufgehoben werden müsste. Bei jeder bestimmt eingehaltene Fixationszeit muss sich eine eindeutige Function hinsichtlich jener Abhängigkeiten von der reagirenden Helligkeit etc. ergeben. Es muss nur durch Häufung der Versuche die Ungenauigkeit in der Einhaltung dieser einmal ausgemachten Zeit und in der Einstellung überhaupt ausgeglichen werden. Etwaige Variationen der Function mit dem Wechsel der Fixationszeit müssten erst wieder nach hinreichend sicherer Feststellung der einzelnen Functionen geprüft werden. Als Fixationsdauer wurde in dieser ersten Hauptgruppe die Zeit von 20 Secunden eingehalten, welche eine genügend starke Wirkung

abgab und dabei doch die ruhige Fortsetzung der Fixation und die Sicherheit des Auges bei der schließlichen Gleichheitseinstellung in keiner Weise beeinträchtigte.

Zwischen den einzelnen Versuchen einer zusammenhängenden Reihe wurden durchgängig mindestens zehn Minuten Pause eingeschaltet, ein Zeitraum, den ich ebenso wie v. Kries zum Vergehen der vorhergehenden Wirkung für hinreichend befand. Die fortgesetzt gleichmäßige Variation der Resultate nach oben und unten zeigte wenigstens deutlich, dass keine Steigerung oder irgendwelche Veränderung der Wirkung eintrat. Da ich bei Helladaptation arbeitete, so bestand für mich auch kein Grund, während dieser Pausen etwa die Augen zu verschließen; ja es wäre ein solches Verhalten geradezu fehlerhaft gewesen. Nur eine möglichst ungezwungene Bewegung des Blickes auf vorwiegend normalgrauem Grunde konnte eine gleichmäßige Gesamtadaptation erhalten; zugleich erschienen auch die Augen im allgemeinen durch ein solches Verhalten in der Pause für den neuen Versuch am besten erholt, so dass die Ruhe und Sicherheit der Fixation und die sonstige Ausdauer fortgesetzt erhalten blieb, während nach ganz kurzer Dunkeladaptation bereits eine gewisse Unsicherheit eintrat.

Die entstandene Nachbildwirkung wurde nun im ganzen auf acht verschiedenen Helligkeitsstufen gemessen. Außer dem Normalgrau kamen dabei noch drei geringere und vier höhere Helligkeitsstufen zur Verwendung. Als unterste und oberste Stufe dienten die Qualitäten der beiden am Rotationsapparat verwendeten Maxwell'schen Scheiben. Als Schwarz benutzte ich dabei ein schwarzes Aquarellpapier, das noch mit Pariser Schwarz übermalt worden war. Als Weiß diente weißer Karton, dessen Helligkeit zu der des Schwarz im mittleren Verhältniss wie 41,4:1 stand. Dasselbe war nach der bekannten Kirschmann'schen Methode (vergl. S. 3, Anm. 3) berechnet worden und ist in den Tabellen auf 41:1 vereinfacht. In der großen Papierfläche, die als reagierende Umgebung benutzt wurde, war allerdings das Schwarz ein klein wenig heller ausgefallen, wie sich aus der (später in der Tabelle beigefügten) Messung ergab. Auch für diese einfachen Helligkeitsbestimmungen der großen Papierflächen brachte natürlich der Marbe'sche Apparat eine große Erleichterung mit sich. Man brauchte ja nur die Papiere in ihre oben beschriebene

Lage auf dem Gestell zu bringen und dann unter sorgfältiger Vermeidung von Fixation die gewöhnliche Gleichheitseinstellung vorzunehmen. Die geringe mittlere Variation dieser Bestimmungen, die natürlich mit der absoluten Reizhöhe in bestimmtem Verhältniss zunimmt, zeigt die hinreichende Sicherheit dieser Bestimmung. Natürlich konnten die gemalten Helligkeitsstufen nicht in gleichen Helligkeitsabständen hergestellt werden, doch zeigen sie immerhin eine genügende Vertheilung innerhalb des ganzen Intervalles zwischen Schwarz und Weiß. Auf die ganze Versuchsperiode waren im ganzen 70 Einzelbestimmungen der objectiven Helligkeit dieser Projectionsflächen zerstreut, wozu noch 30 Controllbestimmungen durch Versuchspersonen traten.

Die ganze Hauptgruppe zerfällt also nach der zweifachen Qualität der innerhalb einer Abtheilung constant erhaltenen Nachbildwirkung in zwei Unterabtheilungen. In der ersten entstand das Nachbild durch Fixation der rein schwarzen Scheibe, in der zweiten durch Fixation der zu $\frac{1}{4}$ schwarzen, zu $\frac{3}{4}$ weißen Scheibe in normalgrauer Umgebung. Natürlich konnten nicht alle reagirenden Helligkeiten für jede der beiden Abtheilungen in Frage kommen. In der ersten war die Erregbarkeit auf der Scheibenstelle gegenüber der Umgebung so sehr gesteigert, dass die Ersetzung der Umgebung durch Dunkelgrau, die nächst tiefere Stufe nach dem Normalgrau, fast schon völlige Gleichheit zur rein schwarzen Scheibe herbeiführte. Die nächst-tiefere Stufe erschien bereits bedeutend dunkler. So konnten also hier zunächst nur die sechs oberen Helligkeitsstufen zur Verwendung kommen. Nur durch annäherungsweise Berechnung konnte man auch noch die zweitunterste Stufe hereinziehen. Ich bestimmte die Fixationszeit, welche nothwendig war, um das Schwarz der Scheibe nach Entfernung der normalgrauen Umgebung jener hell-schwarzen eben gleich erscheinen zu lassen. Dieses Stadium ergab sich aus mehreren Versuchen nach einer 9 Secunden langen Fixationszeit. Nun bestimmte ich die Nachbildwirkung, die nach 9 Secunden auf der normalgrauen Helligkeitsstufe selbst vorhanden war, und berechnete diejenige Größe, welche sich zu der nach 20 Secunden auf Normalgrau vorhandenen Nachbildwirkung ebenso verhält, wie die auf Hell-schwarz nach 9 Secunden vorhandene Wirkung zu derjenigen auf Normalgrau nach der nämlichen Fixationszeit. Die auf solche Weise berechnete Nachbildwirkung, die in der Tabelle in Klammern bei-

gefügt ist, passt nun so gut zu den übrigen Resultaten, dass hieraus zugleich ein Schluss auf die Richtigkeit der Voraussetzung gezogen werden kann, dass die Function in der That von der Fixationszeit relativ unabhängig sei. Andererseits konnten aber natürlich in der zweiten Abtheilung die obersten Helligkeitsstufen keine Verwendung mehr finden. Denn die hier ursprünglich fast weiße Scheibe war in ihrer Erregbarkeit hinter der Umgebung um so viel zurück, dass ihr reines Weiß eben noch etwas heller war als das unterste Hellgrau, das somit die höchste verwendbare Helligkeitsstufe abgab. Dafür konnten aber nun von den beiden untersten Stufen vollwerthige Resultate gewonnen werden, so dass sich beide Abtheilungen auch in dieser Hinsicht in werthvoller Weise gegenseitig ergänzen.

In der ersten Abtheilung ist nun die mittlere Variation des Nachbildwerthes auf allen Stufen relativ gering und der absoluten Helligkeit der reagirenden Fläche ziemlich gut proportional. Ich erachtete dieselbe daher schon bei einer relativ geringeren Zahl von 63 eigenen Versuchen für hinreichend durchgeführt. Die zweite Abtheilung zeigte hingegen bei ungefähr gleicher Größe der Nachbildwirkung eine größere mittlere Variation und zugleich keine solche Stetigkeit in dem Fortschritt derselben nach oben hin. Es wurden hier in Folge dessen fast doppelt so viele Einzelversuche, nämlich 113 Beobachtungen von mir selbst ausgeführt. Beide Zahlen vertheilen sich annähernd gleichmäßig auf die verschiedenen reagirenden Stufen. Wenn nun auch die entscheidende Versuchszahl von meinen eigenen Beobachtungen stammt, so habe ich doch von mehreren Herren im ganzen ein hinreichendes Controllmaterial erhalten. Es betheiligten sich dabei die Herren Privatdocent Dr. Stöhr aus Wien, Hänig, Loveday, Pflaum und W. Scott, denen ich hiermit zugleich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche. Relativ die meisten Zahlen lieferte Herr Loveday, dessen Resultate in der zweiten Abtheilung zu einer vollständigen Controllcurve ausreichten. Im allgemeinen treffen 33 Controllversuche auf sämtliche Stufen in ziemlich gleichmäßiger Vertheilung.

2. Die Resultate beider Abtheilungen sind nun in den beigefügten zwei Tabellen (I und II) zusammengestellt, denen zugleich je eine Curve als graphische Darstellung entspricht (s. Fig. 5, 6 und 6a). Die Ergebnisse der Controllversuche sind zur einfacheren Vergleichung

Tabelle I. (Erste Abtheilung der Pigmentversuche.)

Schwarze Scheibe (360° S.) auf Normalgrau 20^s fixirt. (48,56 absolute Helligkeitsdifferenz zur Entstehung des Nachbildes).

$$\text{Helligkeit des Schwarz (S.)} = \frac{360}{100} = 3,6. \quad \text{Helligkeit des Weiß (360° W.)} = \frac{360 \cdot 41}{100} = 147,6.$$

Bezeichnung der Umgebungen, mit denen die Scheibe nach Entstehung des Nachb. subjectiv gleich gemacht wurde.	Helleres Schwarz	Dunkelgrau	Normalgrau	Unteres Hellgrau	Mittleres Hellgrau	Hellstes Grau	Weiß
Objectiver Helligkeitswerth der Umgebungen, (Angabe der m. V. in Graden) [Controllzahlen in Klammern]	7,36 (m. V. 0,62°) [L 6,95, m. V. 0,44]	18,04 (m. V. 1,75°) [L 17,24, m. V. 3,8] [St 17,24, m. V. 1,1]	52,16 (m. V. 2,6°) [L 51,56, m. V. 2,1]	100,52 (m. V. 4,6°)	111,44 (m. V. 5,6°) [St 109, m. V. 7,3]	122,28 (m. V. 1,1°)	147,60
Helligkeitswerth der Scheibe bei subjectiver Gleichheit mit der Umgebung nach Entstehung des Nachbildes.	(berechnet als ca. 2,93)	8,12 m. V. 0,93° [Pf 8,12, m. V. 1,7]	24,92 m. V. 2,7° [L 25,36, m. V. 8,3] [St 25,88, m. V. 1,7]	49,10 m. V. 4,4°	58,24 m. V. 6,1° [Sc 58,80, m. V. 12,9]	66,08 m. V. 7,1° [St 68,40]	82,52 m. V. 10,4°
Differenz beider Helligkeiten als Maß der Nachbildwirkung	4,43	9,92	27,24	51,12	53,20	56,20	65,08
Tangente und Bogenmaß des Neigungswinkels der Curve in den einz. Punkten	0,514 27° 12'	0,507 26° 55'	0,494 26° 20'	0,209 11° 50'	0,276 15° 26'	0,350 19° 20'	—
Verhältniss des Nachbildwerthes zur absoluten Höhe der reagirenden Helligkeit	0,602	0,552	0,528	0,510	0,478	0,460	0,442

St: Dr. Stöhr
L: Loveday
Sc: Scott
Pf: Pfaffm

Tabelle II. (Zweite Abtheilung der Pigmentversuche.)

Hellgraue Scheibe (270° Weiß + 90° Schwarz) auf Normalgrau 20° fixirt. (59,50 absolute Helligkeitsdifferenz zur Entstehung des Nachbildes.)

$$\text{Helligkeit des Weiß (360° W.)} = \frac{360 \cdot 41}{100}.$$

Bezeichnung der Umgebungen, mit denen die Scheibe nach Entstehung des Nachbildes subjectiv gleich gemacht wurde	Tiefschwarz	Helleres Schwarz	Dunkelgrau	Normalgrau	Unteres Hellgrau
Objectiver Helligkeitswerth der Umgebungen. (Angabe der m. Var. in Graden) [Controllzahlen in Klammern]	4,68 (m. V. 0,2°)	7,36 (m. V. 0,62°) [L 6,95, m. V. 0,44°]	18,04 (m. V. 1,75°) [L 17,24, m. V. 3,8] [St 17,24, m. V. 1]	52,16 (m. V. 2,6°) [L 51,56, m. V. 2,1°]	100,52 (m. V. 4,6°)
Helligkeitswerth der Scheibe bei subjectiver Gleichheit mit der Umgebung nach Entstehung des Nachbildes	6,81 m. V. 0,78° [L 6,54 m. V. 0,18°]	11,08 m. V. 1,23° [L 10,50] [Sc 11, m. V. 1]	27,24 m. V. 5,3° [L 24,6, m. V. 3,5]	78,44 m. V. 13,8° [L 73,60, m. V. 13°] [Sc 80,80, m. V. 8,2°]	134,80 m. V. 6,1°
Differenz beider Helligkeiten als Maß der Nachbildwirkung	2,13 [L 1,86]	3,72 [L 3,55]	9,20 [L 7,4]	26,28 [L 22,04]	34,28
Tangente und Bogenmaß des Neigungswinkels der Curve an den einzel. Punkten	0,593 30° 42'	0,513 27° 10'	0,500 26° 36'	0,248 13° 56'	—
Verhältniss des Nachbildwerthes zur absoluten Höhe der reagirenden Helligkeit	0,456	0,507	0,510	0,505	0,341

St: Dr. Stöhr
L: Loveday
Sc: Scott

überall sogleich in Klammern mit Angabe des Anfangsbuchstabens der betreffenden Herren beigefügt. In der graphischen Darstellung

Fig. 5.

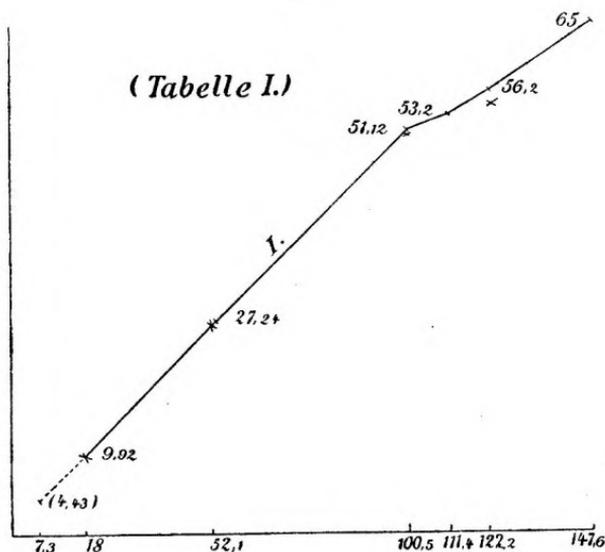


Fig. 6.

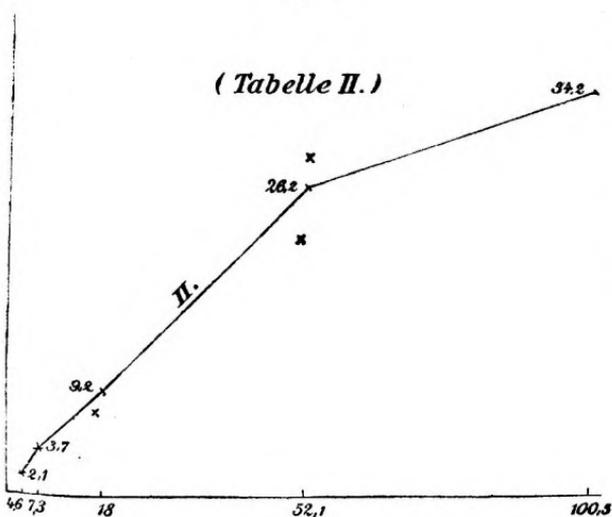
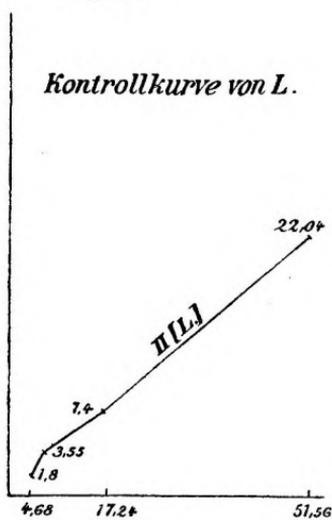


Fig. 6a.



entsprechen diesen vereinzelt Controllzahlen kleine Kreuzchen, die bei der zweiten Abtheilung für L. zu einer ganzen Nebencurve

(Fig. 6a) verbunden sind. Die einzelnen Verticalreihen der Tabellen entsprechen je einer reagirenden Helligkeitsstufe, welche als Ueberschrift in allgemeiner Weise bezeichnet ist. Die erste Horizontalreihe enthält die objectiven Helligkeitswerthe der verwendeten Papierflächen, die jenen einfachen Helligkeitsbestimmungen entstammen. Die zweite Horizontalreihe bringt dann den objectiven Helligkeitswerth der Rotationsscheibe, welcher in Folge der Nachbildwirkung der in jener Verticalcolumnne verzeichneten Umgebung subjectiv gleich erschien. Man braucht also nur beide Werthe einer Columnne voneinander zu subtrahiren, um das eigentliche Maß der Nachbildwirkung auf den verschiedenen Helligkeitsstufen eben in jenen Differenzen zu erhalten, die in der dritten Horizontalreihe angeführt sind.

Diese Differenzen bilden dann auch die Ordinaten in den beiden Curven, welche die Abhängigkeit jenes Nachbildwerthes von der reagirenden Helligkeit veranschaulichen. Die Abscissen werden von den objectiven Helligkeitswerthen jeder Stufe, also von der ersten Horizontalreihe, bestimmt. Man hätte ja ebenso gut die Werthe der Scheiben in ihrer Einstellung auf subjective Gleichheit nach Entstehung des Nachbildes als Abscissen wählen können. In der wirklichen Ableitung der Resultate bilden aber doch eben nicht diese letzteren, sondern jene ersteren Werthe den zunächst gegebenen Ausgangs- und Zielpunkt für die Einstellung auf subjective Gleichheit, sodass deren Wahl als Abscissen naturgemäß am nächsten lag. Zur besseren Erkennbarkeit der Eigenthümlichkeiten unserer Curven ist der Maßstab für die Ordinaten gegenüber den Abscissen verdoppelt. Das gegenseitige Verhältniss der Curvenrichtungen zwischen den einzelnen Punkten ist auch in der vierten Horizontalreihe der Tabelle noch zahlenmäßig angegeben, und zwar als Tangente und Bogenmaß des Neigungswinkels gegen die Abscissenaxe. Eine fünfte Horizontalreihe enthält schließlich noch das Größenverhältniss des Nachbildwerthes zur absoluten Höhe der reagirenden Helligkeit.

3. Diese letzte Reihe enthält also unmittelbar die Antwort auf die Frage, inwieweit der F.-H.'sche Satz Gültigkeit besitzt. Man erkennt sofort, dass in einer breiten Mittelzone der Werth des Nachbildes in dem oben bezeichneten Sinne thatsächlich zur absoluten Helligkeit der reagirenden Fläche in einem

annähernd constanten Verhältniss steht. Für diese Region, welche in der ersten Abtheilung noch etwas weiter hinaufreicht als in der zweiten, steht also die jeweilige Nachbildwirkung mit jenem Satze in bester Uebereinstimmung.

Zufällig beträgt dieses Verhältniss in beiden Abtheilungen annähernd den nämlichen Werth ca. 0,5, so dass beide Curven in diesen mittleren Regionen fast parallel laufen. Das hängt natürlich nur von der zufälligen Gleichheit der Nachbildwerthe überhaupt ab und hat für den F.-H.'schen Satz keine weitere Bedeutung. Doch lässt sich dieses Verhältniss der Werthe aus beiden Abtheilungen wenigstens beiläufig zu einer Controlle des Martius'schen Satzes über das Verhältniss des Nachbildwerthes zur Differenz der fixirten Helligkeiten verwenden. Hiernach müsste der Verlust oder Gewinn der Helligkeit ungefähr zu dieser Differenz proportional sein. Nach der Hering-Martius'schen Annahme wäre nun jeder der gemessenen Werthe aus Verlust und Gewinn zusammengesetzt, insofern die relativ hellere Fläche verliert, die dunklere gewinnt¹⁾. Es müsste nach Martius also überhaupt der gemessene Werth zur fixirten Differenz proportional sein. Obgleich die letztere in der ersten Abtheilung aber um 11 Einheiten kleiner ist als in der zweiten, bleibt der Nachbildwerth nicht hinter der zweiten Abtheilung zurück, sondern ist eher noch etwas größer. Sein Vorsprung wird noch vermehrt, wenn wir den nunmehr bewiesenen F.-H.'schen Satz selbst beiziehen. Die objective Helligkeit der Scheibe in der Einstellung auf subjective Gleichheit ist bei der ersten Abtheilung stets kleiner als bei der zweiten, weil dort die Erregbarkeit vor der Umgebung im Vorsprung ist, hier aber hinter ihr zurücksteht. Der absolute Werth der tieferen Stufe hat also an sich schon eine höhere Bedeutung. Somit müsste also außer jener Differenz der fixirten Helligkeiten zum mindesten noch die mittlere Stufe derselben in Betracht gezogen werden. Dass die Nachbildwirkung nach oben hin ungünstiger gestellt ist, scheint übrigens ganz allgemein, auch nach den v. Kries'schen Resultaten, gültig zu sein und wird bei der

1) Auch für die v. Helmholtz'sche Theorie träfe das nämliche wenigstens für die erste Abtheilung zu, da ja die Versuche bei Helladaptation vorgenommen wurden, so dass die Schwarz-Scheibe während der Fixation relativ an Helligkeit zunehmen musste.

näheren Prüfung der Function für den F.-H.'schen Satz ebenfalls zur Geltung kommen.

Die genauere Betrachtung der gewonnenen Curven zeigt natürlich zunächst schon in der mittleren Zone keine ideale Geradlinigkeit, also keine absolut genaue Proportionalität zwischen Nachbild und reagirender Helligkeit. In der ersten Abtheilung nimmt das Größenverhältniss zwischen beiden nach unten hin stetig zu, in der zweiten Abtheilung lässt sich diese Steigung des Werthes für die vierte oder fünfte Horizontalreihe nur bis Dunkelgrau verfolgen; unterhalb desselben besteht ein Wendepunkt, von welchem an die Wirkung nach unten hin verhältnissmäßig wieder abnimmt. Eine gewisse Steigung nach unten hin wird nun wahrscheinlich zum Wesen der Function selbst gehören, wie gleich weiter unten genauer ausgeführt werden soll. Sie würde also eine untere Abweichung vom F.-H.'schen Satze bedeuten. Dagegen muss dann in der zweiten Abtheilung offenbar noch eine besondere Ursache vorhanden sein, welche jenem Zuwachs an Helligkeitswirkung nach unten hin wieder entgegenwirkt und sogar die Wirkung hinter der reinen Proportionalität etwas zurückbleiben lässt. Vielleicht dürfte hier die positive Nachbildwirkung der hellen Scheibe zur Erklärung beizuziehen sein, die in der untersten Region des Schwarz trotz der langen Fixationszeit noch in gewissem Grade zur Geltung kommt. Jede größere Helligkeit in einem sonst dunkleren Gesichtsfeld erzeugt doch bereits eine Art Blendungswirkung, für welche die positive Nachbildwirkung von besonderer Bedeutung ist. In der ersten Abtheilung würde ja allerdings ein Beiziehen der positiven Wirkung des Normalgrau, welches dort die größere Helligkeit ausmachte, der in jener Abtheilung gefundenen Steigung ebenfalls entgegenwirken müssen; doch dürfte dieselbe den näheren Bedingungen gemäß einen viel geringeren Werth besitzen.

Dass nach unten hin der Helligkeitswerth des Nachbildes relativ immer mehr die reine Proportionalität zur reagirenden Reizhöhe übersteigen muss, lässt sich schon nach der allgemeineren Beobachtung mit Bestimmtheit erwarten, die von Hering als Thatsache des »Lichthofes« seinerzeit ausführlich beschrieben worden ist. Mag der gemessene Nachbildwerth nur aus Differenzen benachbarter Helligkeitsverluste oder aus Verlust einerseits und Gewinn andererseits zusammengesetzt sein, jedenfalls wäre die reine Proportionalität des

Nachbildwerthes zur reagirenden objectiven Helligkeit damit identisch, dass für absolute Dunkelheit überhaupt keine subjective Differenz im Sinne eines negativen Nachbildes vorhanden sein dürfte. Nun ist aber nach Fixation einer Helligkeitsdifferenz bekanntlich eine sehr deutliche Helligkeit an der vorher dunkleren Stelle im völlig verdunkelten Raume zu sehen, und müsste sich durch eine geeignete Vorrichtung eine Messung dieser Differenz im bisherigen Sinne anstellen und ein endlicher Nachbildwerth für die reagirende Helligkeit $= 0$ finden lassen¹⁾. Die Deutung dieser Einstellungs-differenz, die nach den Darlegungen Hering's bekanntlich als Aufhellung der vorher dunklen Stellen aufzufassen ist, kann uns an dieser Stelle ganz gleichgültig sein, da die gemessenen Differenzen niemals unmittelbar in ihre den benachbarten Stellen zugehörigen Summanden zerlegt werden können. Jedenfalls muss aber die Curve nach der unteren Grenzregion hin die volle Proportionalität immer mehr übersteigen, um überhaupt für den Nullpunkt der Abscisse nicht selbst auf Null, sondern auf einem endlichen Werth gelangen zu können. Denn es ist doch wahrscheinlich, dass diese Abweichung ebenfalls allmählich eintritt. Ich habe bis jetzt diese unterste Region, für welche natürlich eine andere, der später zu beschreibenden ähnliche Versuchsanordnung nothwendig wäre, noch nicht besonders untersucht. Aus der Betrachtung der mittleren Region, in welcher der F.-H.'sche Satz thatsächlich gilt, einerseits und des untersten Endpunktes bei voller Dunkelheit andererseits scheint mir dieser Verlauf mit Sicherheit hervorzugehen, was zunächst die bei Helladaptation gewonnenen Nachbilder anbelangt. Auch die besondere Deutlichkeit dieser Abweichung in der ersten und ihr Fehlen in der zweiten Abtheilung würde hiermit gut übereinstimmen. Denn auch der Lichthof wird gerade bei Begünstigung der positiven Nachbildwirkung, die bei längerer Fixationszeit nur durch Blendungswirkung zu erzielen ist,

1) Dass in diesem Falle die Helligkeit der vorher dunkleren Stelle von der Grenze der vorher helleren Stelle ab nach außen hin rasch abnimmt, ist natürlich für eine solche Messung völlig belanglos. Auch in den höheren Stufen zeigt sich oft eine solche allmähliche Aenderung der Helligkeit nach der Peripherie zu. Die Messung ist jederzeit vollendet, wenn die Continuität an der Grenze hergestellt ist. Als solche Bestimmungen des Werthes an der Grenze sind auch alle Messungen unmittelbar vergleichbar.

nicht so deutlich gesehen, während bei einer ähnlichen Anordnung wie in der ersten Abtheilung (mit Fixation einer kleinen dunklen Scheibe auf hellerem Grunde) die Differenz im dunklen Gesichtsfeld am besten hervortritt.

Oberhalb jener mittleren Region, in welcher der F.-H.'sche Satz annähernd ideale Gültigkeit besitzt, zeigt sich aber nun in beiden Abtheilungen gleichmäßig ein immer weiteres Zurückbleiben hinter der vollen Proportionalität. Dies liegt wohl ebenfalls im Wesen der Nachbilder selbst begründet. Die hohe Erregung, welche zugleich den größten absoluten Werth der Erregungsdifferenz mit sich bringt, scheint zugleich die intensivste Gegenwirkung in sich zu tragen. Die Differenz kommt also entweder von vornherein nicht in ihrer vollen Größe zu Stande oder sie vergeht schneller als auf anderen reagirenden Reizhöhen. Dies führt somit auf die wichtige Discussion der Bedeutung unseres Nachbildmaßes innerhalb des gesammten, zeitlich irgendwie ablaufenden Processes der Nachbildwirkung überhaupt¹⁾.

4. Der hier gemessene Unterschied zwischen Scheibe und Umgebung bei subjectiver Gleichheit stellt natürlich nicht die Nachbildwirkung des allerersten Momentes am Beginn der 21. Secunde dar. Dieses letztere Stadium kann wohl überhaupt niemals mit vollständiger Exactheit ermittelt werden, weil eben nach Aufhebung der ursprünglichen Reizverhältnisse immer eine gewisse Zeit bis zur Herstellung jener neuen Situation vergeht, welche wie hier in einer Einstellungsdifferenz ein Maß der Wirkung in sich schließen kann, ganz abgesehen von der bereits durch v. Kries hervorgehobenen Schwierigkeit, die in dem verschiedenartigen Ansteigen der neuen Erregungen nach dem Exner'schen Principe enthalten liegt. Die volle Veränderung, die durch eine Fixation von Farben- und Helligkeitsdifferenzen in einer bestimmten Zeit hervorgebracht wird, kommt also in Wirklichkeit nur in den Qualitäten der Ausgangslage selbst zur Geltung. Sie kann im allgemeinen wieder nur gesehen und geschätzt, aber nicht gemessen werden. In einer Einstellung auf subjective Gleichheit kann daher das volle Maß der Wirkung nur für

1) Die Veränderungen der Adaptation beim Wechsel der reagirenden Helligkeit konnte natürlich die Erscheinung der Function nicht wesentlich fälschen, da ja doch die objectiven Differenzen von Scheibe und Umgebung hierdurch selbst proportional verändert aufgefasst werden.

den ganz speciellen Fall vorhanden sein, dass diese subjective Gleichheit ausschließlich durch die Nachbildwirkung selbst herbeigeführt worden ist, d. h. nur dann, wenn die Fixation bis zur völligen Ausgleichung der Differenz angedauert hat, was ja bekanntlich bei kleineren Differenzen sehr leicht zu beobachten ist. Bei einem solchen Versuchsprincip wäre aber natürlich die Fixationszeit sozusagen nicht mehr als völlig unabhängige Variable behandelt, und es bestände Vergleichbarkeit nur zwischen denjenigen Fällen, wo eben dieses allerletzte Endergebniss der Fixation zufällig nach genau gleich langer Zeit eintritt. Für unsere Frage nach dem Verhältniss der Wirkung zur reagirenden Helligkeit und Farbe wäre außerdem ein solches Princip der Messung von vornherein unmöglich. Denn falls eine Scheibe nach langer Fixation etwa dem Normalgrau subjectiv gleich erscheint, müsste sie doch erst entsprechend anders eingestellt werden, um nun irgend einer anderen Umgebung ebenfalls wieder gleich zu erscheinen. Auch für irgend welche andere Messungen wäre der Zeitpunkt der völligen Ausgleichung schwierig zu verwenden, weil derselbe meistens höchstens in einem ungefähren Minimum bestimmt werden kann.

Aber man könnte nun wenigstens versuchen, die Zeit für die Einstellung der Scheibe auf eine andere Helligkeit möglichst zu beschleunigen, wie es schon vor der Darlegung der Selbsteinstellung (S. 42) angegeben wurde. In diesem Falle würde doch der Abfall der Wirkung als verschwindend klein betrachtet werden können. Zunächst darf man sich aber natürlich die Grenze der Exactheit hierbei nicht nur von der Schnelligkeit der Einstellung abhängig denken, da ja doch auch die Beurtheilung der Situation erst nach einer gewissen Dauer der neuen Lage in Frage kommen kann. Trotzdem steht so viel fest, dass diese Beurtheilung einer Einstellung mit einiger Sicherheit schon viel früher möglich ist, als die Zeit für die Selbsteinstellung in allen bisher erwähnten Versuchen beträgt. Für die letztere vergehen doch selbst bei Geübteren immer 2—5 Secunden, und bei den weniger Geübten kann es noch ein paar Secunden länger dauern. In Anbetracht der Erzielung möglichst exacter Resultate wäre natürlich der außerordentliche Mehraufwand an Zeit völlig belanglos, der für diese Methode der plötzlichen Einstellung in Verbindung mit Minimaländerungen nothwendig wäre. Dabei wäre aber

natürlich vor allem vorausgesetzt, dass der Beobachter gerade für den allerersten Moment in seiner Beurtheilung des Helligkeitsverhältnisses vollständig ungestört ist. Wenn man jedoch allein arbeitet, so lassen sowohl die Auslösung des »Scenenwechsels« als auch der Impuls zur Einstellungsbewegung wenigstens im allerersten Moment selbst für den Geübtesten leicht kleine Blickschwankungen entstehen, wodurch nach dem früher Gesagten ein völlig sicheres Urtheil über das Helligkeitsverhältniss im Sinne der Nachbildwirkung ausgeschlossen ist. Ganz das nämliche gilt sogar bei der bloßen Auslösung der Veränderung durch einen Gehülfen, sobald der Beobachter selbst nur hier und da in der Woche sich an den Vorgang gewöhnen kann. Es ist also ein stetiges Zusammenarbeiten von zwei Personen wenigstens für die hier verwendete Anordnung unbedingt erforderlich, wenn diese Methode der plötzlichen Einstellung wirklich einen wesentlich früheren Moment herausgreifen soll wie die Selbsteinstellung. Die verhältnissmäßig geringe Zeit, die ich mit anderen Herren zusammenarbeiten konnte, wollte ich eher auf die Nachprüfung meiner eigenen Resultate mit der nämlichen Methode verwenden, ganz abgesehen davon, dass sie zu hinreichend sicheren Resultaten nach der anderen Methode nicht ausgereicht hätte. Insbesondere ist hierzu auch eine absolut zuverlässige Beleuchtung erforderlich, da sonst natürlich die verschiedenen Einzelversuche einer Reihe minimaler Aenderungen nicht einmal einer einzigen Selbsteinstellung entsprechen würden. So wünschenswerth es mir aber auch erscheint, dass solche Controlversuche nach der anderen Methode später thatsächlich einmal mit einer großen Anzahl von Einzelversuchen angestellt werden, glaube ich doch mit den reducirten Werthen der Selbsteinstellung die Gültigkeit des F.-H.'schen Satzes mit jenen besonderen Abweichungen hinreichend sicher nachgewiesen zu haben. Es bestehen nämlich ausreichende Gründe dafür, dass in jenen reducirten Werthen wenigstens die Proportionalität der ursprünglichen Nachbildwirkung zu den reagirenden Reizen unverfälscht wiedergegeben ist.

Es liegt die Sache allerdings nicht so einfach, dass man bloß auf die durchschnittliche Gleichheit der Einstellungszeit für die verschiedenen Endresultate zu verweisen brauchte. Es ist ja zwar anzunehmen, dass die Function für die Abhängigkeit der Nachbildwirkung vom reagirenden Reiz für die gleichen Zeitpunkte des Verschwindens

jener Wirkung sich unter sonst gleichen Bedingungen ebenso gleich bleibt, wie nach den früheren Ausführungen für die verschiedenen Momente der Entstehung, d. h. also nach verschiedener Fixationsdauer, keine Aenderung der Function als solcher zu erwarten ist. Für die einzelnen Zeitpunkte der Entstehung sind nun die sonstigen Bedingungen abgesehen von eben dieser Fixationszeit völlig eindeutige. Das Verschwinden eines bestimmten Nachbildes kann jedoch, abgesehen von der Zeit nach Aufhebung der Entstehungsursachen, noch in der Besonderheit der reagirenden Fläche wechselnde Bedingungen für den Verlauf des Nachbildes in sich enthalten. Auch für die Selbsteinstellung könnte also nur dann aus der durchschnittlichen Gleichheit der Einstellungszeit ein unmittelbarer Schluss auf die unverfälschte Wiedergabe der fraglichen Function gezogen werden, wenn man zunächst während dieser Einstellungszeit jederzeit ein und die nämliche reagirende Helligkeit gehabt hätte und dann plötzlich auf die eigentlich zu untersuchende Helligkeit der verschiedenen Stufen übergegangen wäre. In Wirklichkeit ist hingegen bei dieser Methode vom Ende der 20. Secunde ab regelmäßig sofort in die nächste Nähe der jeweils zu untersuchenden Helligkeitsstufe fortgegangen worden, so dass also die kurze Dauer bis zur Vollendung der Einstellung jedesmal verschiedene Bedingungen enthielt, was zunächst allein die reagirenden Reize für die bereits vorhandene Wirkung anbelangt. Trotz dieser Unmöglichkeit einer so einfachen Rechtfertigung der Methode wäre aber natürlich der Schluss voreilig, dass nun die Resultate auch in entsprechender Weise entstellt sein müssten. Eine Analyse der einzelnen Momente, welche im Verlauf der Selbsteinstellung in Betracht kommen, wird vielmehr zeigen, dass der Reductionsfactor für sämmtliche reagirende Reizhöhen wegen der sonstigen Versuchsbedingungen als annähernd constant angenommen werden darf.

Zunächst wurden Versuche über das allmähliche Verschwinden des Nachbildes unter den verschiedenen Entwicklungsbedingungen angestellt. Schon v. Kries hat diesen Gang der »Erholung« auf seine Methode untersucht. Doch hat er dabei die Entwicklungsbedingungen, d. h. die reagirende Helligkeit, während des Verschwindens noch nicht variirt. Er schloss nur immer nach Entstehung des Nachbildes eine Zeit lang die Augen, worauf die Messung nach

Tabelle III. Rückgang der Nachbildwirkung. (Episkotister-Anordnung.)

Tabelle IIIa. Rückgang der Nachbildwirkung im Dunkeln.

360° S. + 0° W. neben 120° W. + 240° S. 15^{sec.} fixirt. Nach der Erholungszeit im Dunkeln Messung auf der reag. Helligkeit: 120° W. + 240° S.

Zwischenzeit von der Entstehung des Nachbildes bis zur Messung	0° (Methode der plötzlichen Einstellung)	3° gewöhnliche Selbst-einstellung	8°	13°	18°	33°	53°	120°
Maß der noch vorhandenen Nachbildwirkung (Helligkeitsdifferenz beider Hälften des Sehfeldes bei der Einstellung auf subjective Gleichheit)	98° (m. V. 4°)	80° (m. V. 0°)	75,5°	63°	58°	38,5°	34°	25,5°

W = durchsichtige Sektoren.
S = undurchsichtige Sektoren.

Controlleurve von E. Dürr.

Zwischenzeit u. s. w.	2°	5°	10°	20°	40°
Maß der noch vorhandenen Nachbildwirkung	89°	82°	65°	63°	31°

Tabelle IIIb. Rückgang der Nachbildwirkung im Hellen.

360° S. + 0° W. neben 120° W. + 240° S. 15^{sec.} fixirt. Nach der Erholungszeit im Hellen Messung auf der reag. Helligkeit: 120° W. + 240° S.

Zwischenzeit u. s. w.	0°	3°	8°	13°	23°	33°	53°	—
Maß der noch vorhandenen Nachbildwirkung	98° (m. V. 4°)	80° (m. V. 0°)	49,4° (m. V. 0,6°)	34,6° (m. V. 3,4°)	18,5°	kleiner als 10°	völlig verschwunden	—

Tabelle III c. Rückgang der Nachbildwirkung bei fortgesetzter Aufrechterhaltung einer subjectiven Ausgleichung der Nachbildwirkung (sonst wie in a und b).

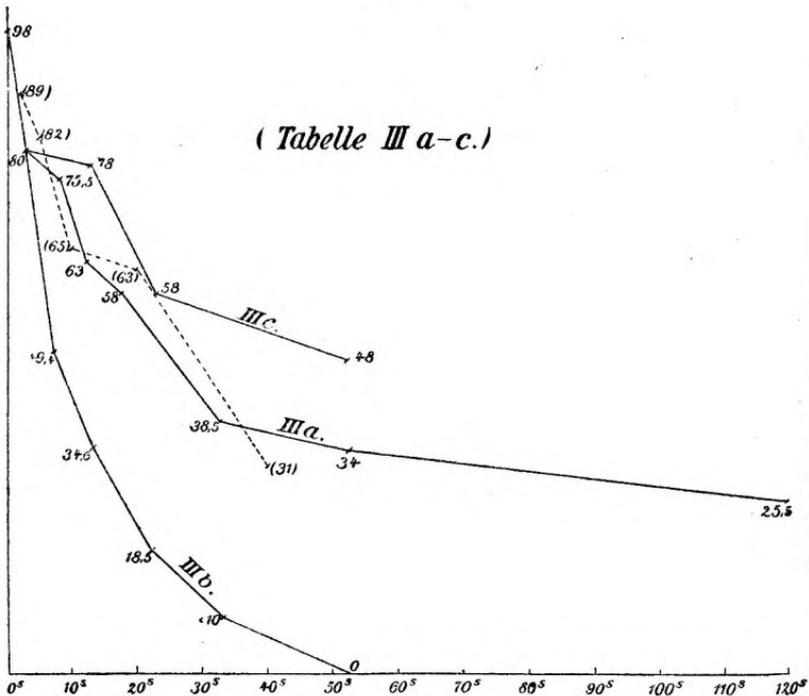
Zwischenzeit u. s. w.	0°	3°	13°	23°	53°
Maß der noch vorhandenen Nachbildwirkung	98°	80°	78°	58°	48°

Oeffnung der Augen in gewohnter Weise vorgenommen wurde. Mit einer neuen Anordnung, die ich des Zusammenhanges halber erst weiter unten beschreiben werde, habe ich nun eine constant erzeugte Nachbildwirkung sowohl nach einer Projection des Nachbildes auf Dunkel als auch auf Hell in verschiedenen Zeitabständen gemessen. Im ersten Falle wurde also nach Entstehung des Nachbildes die Projectionsfläche eine gewisse Zeit annähernd vollständig verdunkelt und erst hierauf eine Gleichheitseinstellung in einer constanten Helligkeitsstufe vorgenommen. Die Resultate dieser Versuche sind in Tabelle III a mit der dazugehörigen Curve (Fig. 7) zusammengestellt, wobei für letztere natürlich diesmal die Abscissen von den Zeitstrecken zwischen dem Abschluss der Entstehung des Nachbildes und seiner Messung gebildet werden. Nach der verschieden langen Entwicklung des Nachbildes in Schwarz ergab sich nun hier eine ganz analoge Curve wie bei v. Kries. In der zweiten Reihe wurde hingegen das Nachbild vor seiner Messung immer erst eine verschieden lange Zeit hindurch auf eine gleichmäßig helle Fläche projectirt. Aus der einschlägigen Tabelle III b mit ihrer graphischen Darstellung, die zum besseren Vergleich mit der anderen combinirt ist, ergibt sich nun hier ein viel rascherer Abfall der Wirkung. Zwischen der 40. und 50. Secunde nach der Entstehungszeit ist hier überhaupt nichts mehr von einer Nachbildwirkung zu erkennen gewesen, ohne dass auch später wieder irgend eine solche auftauchte.

Aus diesen Ergebnissen kann aber natürlich nicht etwa geschlossen werden, dass nun auch während der Dauer bis zur gelungenen Selbsteinstellung auf den höheren Helligkeitsstufen eine relativ stär-

kere Reduction stattfinden würde, als auf den niederen. Dies würde ja nur dann aus jenen Ergebnissen folgen, wenn eine objectiv gleichmäßig hellere oder dunklere Fläche so lange fixirt worden wäre, bis die Einstellung fertig war. Wie gesagt, geht aber die Einstellung sofort bis nahe an die subjective Gleichheit heran, um dann in den nächsten paar Secunden die kleinen Correcturen vorzunehmen, welche von dieser rohen Einstellung bis zur vollständigen Gleichheit noth-

Fig. 7.



wendig sind. Hieraus folgen aber wieder völlig andere Bedingungen für den Verlauf der Nachbildwirkung wie in den beiden anderen Reihen. Der Effect derselben kann nur dadurch genauer untersucht werden, dass man das Sinken der Wirkung unter fortwährender Aufrechterhaltung einer möglichst vollständigen Gleichheitseinstellung messend beobachtet. Ich habe dies nun für die nämliche Helligkeitsstufe vorgenommen, auf welcher vorher nach längerer Projection auf Dunkel oder Hell die Gleichheitseinstellung bewerkstelligt worden war. Nach Entstehung der Nachbildwirkung

wurde sofort subjective Gleichheit hergestellt und dann in den einzelnen Versuchen zu verschiedenen Zeitpunkten nachgesehen, welcher Werth bei fortgesetzter Einhaltung der subjectiven Gleichheit noch vorhanden war. Die reagirende Helligkeit war also in allen diesen Versuchen ebenso hoch wie diejenige, auf welche früher (in Tabelle III b) das Nachbild zur Beobachtung seines Rückganges im Hellen projectirt worden war. Nur war eben hier die Nachbildwirkung durch Verdunkelung der zuerst (bei Entstehung des Nachbildes) dunkleren Fläche zu subjectiver Gleichheit compensirt. Es zeigte sich nun, dass jetzt die Wirkung sogar sehr viel langsamer gefallen war, als selbst im vollständigen Dunkel. Ein Vergleich der einschlägigen Tabelle III c mit den beiden anderen III a und III b, (bzw. ein Vergleich der drei in einer Figur enthaltenen graphischen Darstellungen mit den drei Curvenästen *a*, *b* und *c*) lässt erkennen, dass bei Einhaltung subjectiver Gleichheit z. B. nach 55 Secunden erst die Hälfte der Wirkung verloren gegangen ist, während sie nach gleich langer Projection auf objectiv gleichmäßiges Dunkel bereits nur noch den dritten Theil aufweisen kann, und nach Projection auf Hell überhaupt ganz verschwunden erscheint¹⁾. Vor allem zeigte sich aber nun, dass die Curve vom Zeitpunkt der Vollendung einer gewöhnlichen Selbsteinstellung an (d. h. also etwa von der dritten Secunde nach Entstehung des Nachbildes an) bis zur zehnten Secunde annähernd parallel zur Abscissenaxe mit geringer Neigung verlief. Es ergab sich also, dass die Methode der Selbsteinstellung in sich selbst ein ganz besonderes Moment enthält, das die Messung des Nachbildwerthes in specieller Weise begünstigt.

Außerdem ließ sich aber nun auch erkennen, dass dieses relativ constante Stadium, welches eben auch in den Messungen nach der Methode der Selbsteinstellung enthalten ist, für die verschiedenen reagirenden Helligkeiten thatsächlich eine Reduction um einen annähernd constanten Factor bedeutet. Es ergab sich dies aus einigen

1) Damit hier nicht vielleicht angenommen werde, im letzteren Falle habe die conservirende Wirkung nur auf der Festhaltung der Fixation beruht, die bei der fortgesetzten Erhaltung subjectiver Gleichheit stattgefunden habe, will ich nur erwähnen, dass auch in den beiden anderen Reihen III a und III b bei so und so vielen Messungen die gleichmäßig dunkle oder helle Fläche in der Zwischenzeit bis zur Einstellung starr fixirt worden ist.

Bestimmungen des Nachbildwerthes mit plötzlicher Einstellung in der oben beschriebenen Weise. In der graphischen Darstellung zu Tabelle IIIa—c ist der hierbei gefundene Werth als höchstes Stadium der Wirkung sogleich nach Entstehung des Nachbildes eingetragen, welcher den Werth der gewöhnlichen Selbsteinstellung ungefähr um ein Viertel desselben übertrifft. Dieser Abfall um ungefähr ein Fünftel der ursprünglichen Wirkung bis zur Vollendung einer Selbsteinstellung wurde aber nun auch in den wenigen Versuchen gleicher Art auf anderen Helligkeitsstufen gefunden. Der rasche Rückgang im allerersten Moment um einen bestimmten Factor scheint also ebenfalls im Wesen der Nachbildwirkung selbst begründet zu sein, wie es seinen verschiedenen Entfaltungen auf den einzelnen Helligkeiten als gemeinsames Agens zu Grunde liegt, so dass er schon um dessentwillen für die Abhängigkeit von der reagirenden Helligkeit keine andere Function herbeiführen kann. Die Sonderstellung jenes ersten Stadiums ersieht man auch schon daraus, dass die Erhaltung auf subjectiver Gleichheit hier völlig machtlos gegen diese Abfallstendenz ist. Mag man auf irgend einer Helligkeitsstufe noch so rasch eine völlige subjective Gleichheit herbeigeführt haben, die Wirkung geht trotzdem jedesmal mit anscheinend gleicher Schnelligkeit auf ihr niedrigeres Niveau des zweiten Stadiums über, das unter jenen besonderen Umständen eine Zeit lang relativ constant bleibt. Der Gegensatz der beiden Stadien wird auch sozusagen schon im Verlauf des ganzen Vorganges unmittelbar anschaulich. Man sieht nach einer solchen plötzlichen Gleichheitseinstellung die benachbarten Helligkeiten sich rasch voneinander entfernen und dann plötzlich in einer gewissen Distanz innehalten. Der weitere Rückgang erfolgt unter diesen Bedingungen eben in einem ganz anderen Tempo, das für die allgemeine, nicht messende Betrachtung als relativer Ruhezustand erscheinen muss. Wenn also die Methode der Selbsteinstellung auch jenen schnellen Rückgang um einen constanten Proportionaltheil der Gesamtwirkung nicht verhindern kann, so fallen doch alle gelungenen Einstellungen sicher in jenes annähernd constante Stadium, das sich in seiner Anfangshöhe bei Aufrechterhaltung annähernder Gleichheit durch mehrere Secunden hindurchzieht. Die mittlere Variation der Messungen ist denn auch viel geringer, als sie bei dem thatsächlichen Spielraum der Einstellungszeiten sein

müsste, falls die Wirkung in jenem Stadium nicht annähernd constant wäre, sondern etwa in der Weise abfiel, wie bei Projection auf eine objectiv gleichmäßig helle Fläche in den verschiedenen Reizhöhen.

Man wird übrigens diese Unabhängigkeit der conservirenden Wirkung einer subjectiven Gleichheitseinstellung von der reagirenden Helligkeit ganz begrifflich finden, wenn man das besondere Verhältniss der Factoren berücksichtigt, welche dabei einerseits fortwährend noch auf die Fortsetzung einer gleichartigen Nachbildwirkung hinielen und andererseits den Rückgang derselben anstreben. Auf einer höheren Helligkeitsstufe scheint nach den früher erwähnten Resultaten zwar thatsächlich ein schnellerer Rückgang zu erfolgen, wenn innerhalb der benachbarten Reizverhältnisse kein Antrieb zu einer verschiedenen Gestaltung der Erregbarkeitsverhältnisse mehr vorhanden ist. Dafür wirkt aber auch diesem rascheren Abfall in den höheren Helligkeitsstufen bei einer subjectiven Gleichheitseinstellung eine um so größere Differenz der objectiven benachbarten Reize entgegen, die fortgesetzt noch im gleichen Sinne voneinander abweichen wie bei Entstehung der Wirkung. Dieses Verhältniss folgt eben gerade aus dem F.-H.'schen Satze selbst. Man braucht z. B. nur in jener ersten Hauptgruppe nach Fixation von Schwarz auf Normalgrau eine Einstellung auf das untere Hellgrau vorzunehmen, so fixirt man dabei während der Einstellung fortgesetzt noch ungefähr die objective Helligkeitsdifferenz = 49,40, die sogar noch etwas größer ist als die ursprüngliche = 48,56. Bei der Gleichheitseinstellung auf Weiß aber beträgt diese Differenz sogar fast das Doppelte = 82,52.

Die Größe dieser Differenz erscheint dann noch dadurch vermehrt, dass man doch nicht gleich auf die volle Gleichheit vorgeht, sondern eher noch ein klein wenig hinter ihr zurückbleibt. Auch dieser besondere Zuwachs wird aber zur absoluten Helligkeit der reagirenden Fläche etwa proportional sein, und zwar diesmal aus bekannten psychologischen Gründen. Die allgemeine Annäherung, die im ersten Moment kurz vor der vollen subjectiven Gleichheit innehalten lässt, ist eben eine solche, dass man von ihr immer ungefähr den gleichen Annäherungsgrad erreicht glaubt. Diese Distanzen, die in den verschiedenen Reizhöhen annähernd den gleichen Eindruck

machen, sind aber eben diesen Reizhöhen ungefähr direct proportional.

Gewisse Erfahrungen scheinen sogar dafür zu sprechen, dass die erhaltende Kraft einer annähernden Gleichheitseinstellung durch die besondere Wirkungsfähigkeit kleinerer Differenzen im Sehfeld noch begünstigt wird. Falls die Nachbildwirkung jederzeit nur proportionale Bruchtheile der ursprünglichen Differenzen aufheben würde (sei es nun durch verschieden große beiderseitige Herabsetzung oder durch gegenseitige Annäherung der Nachbar-Qualitäten), so müsste die vollständige Ausgleichung für alle Differenzen gleich lange Zeit erfordern. Nun scheint aber diese Ausgleichung bei kleineren Differenzen rascher einzutreten und überhaupt um so eher zu erfolgen, je mehr sie bereits ihrem Zielpunkt angenähert ist, so dass größere Differenzen zurückzustehen scheinen, zumal doch, abgesehen von dieser Annäherung an die Ausgleichung, die Wirkung mit der Zeit um so langsamer fortschreitet. Diese zuletzt genannten Bedingungen müssten allerdings selbst erst einmal besonders untersucht werden, wofür ebenfalls der Marbe'sche Apparat sehr geeignet wäre. Auch das v. Kries'sche Resultat, dass die Nachbildwirkung einer Helligkeit auf Schwarz hinter der Proportionalität zu ihrer Intensität nach oben immer mehr zurückbleibt, könnte theilweise unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten sein. Einstweilen füge ich dieses Moment nur als allgemeinere Erfahrung den exacter nachgeprüften Thatsachen beiläufig hinzu.

Sollte aber nun bei alledem trotz der raschen Einstellung auf annähernd subjective Gleichheit auf den verschiedenen Helligkeitsstufen nicht bloß jene Reduction um einen annähernd constanten Factor stattfinden, so wäre doch anzunehmen, dass diese Abweichung eine sehr geringe sei und dass sie selbst ebenso zur reagirenden Helligkeit in einem einfachen Verhältniss stehen müsse. Denn das letztere gilt ja auch von allen Wirkungen und Gegenwirkungen, die während der kurzen Einstellungszeit in Betracht kommen. Somit würde sich also höchstens noch eine niedrig verlaufende und relativ einfache Curve zur Hauptcurve hinzuaddiren, bezw. von ihr abziehen. Es müsste nun aber doch wohl der größte Zufall walten, wenn durch solche Reductionen eine vorher complicirte Curve erst zu einer solchen Einfachheit compensirt würde, wie sie sich thatsächlich ergeben hat.

Zu diesem Erfolge müssen vielmehr einerseits die Reductionen tatsächlich eine sehr einfache Proportionalität befolgen, andererseits muss aber die Nachbildwirkung auch ohne jene Herabsetzung ein einfachstes Verhältniss zur reagirenden Helligkeit einhalten.

Zweites Capitel.

Episkotister - Versuche.

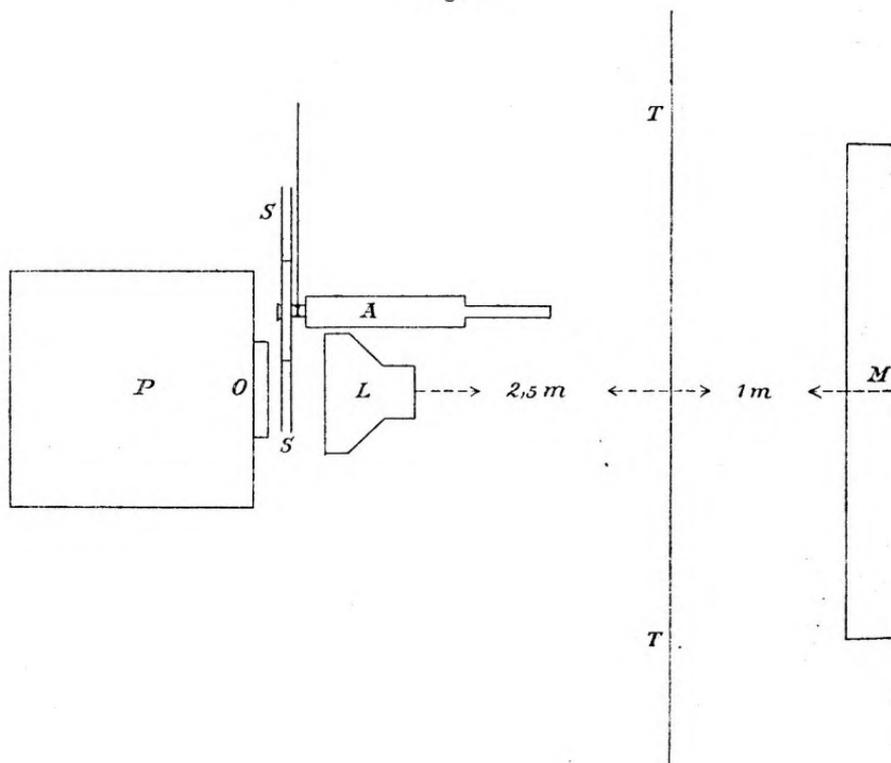
A. Eine neue Versuchsanordnung.

1. Die in ihren Resultaten bereits erwähnten Versuche über den Rückgang der Nachbildwirkung unter den verschiedenen Entwicklungsbedingungen waren nun mit einer besonderen Anordnung durchgeführt worden, die ich erst in der letzten Periode meiner Arbeit ausgebildet habe. Das Princip der Nachbildmessung stimmt mit dem bisherigen vollkommen überein, sodass die Ergebnisse über den Verlauf der Wirkung unmittelbar mit den früheren Ergebnissen verglichen werden konnten, was die farblosen Helligkeitsnachbilder anbelangt. Während aber jene erste Anordnung nur für Pigmentfarbe berechnet war, ist diese neue Methode nur durch Verbindung des Marbe'schen Apparates mit einem Episkotister möglich. Sie gestattet ebenfalls vor allem auch eine annähernd gleichmäßige Erhellung des ganzen Sehfeldes bei allen Verwandlungen der reagirenden Helligkeit, besitzt aber nun den Hauptvortheil, dass sowohl diese Verwandlung des gesammten Sehfeldes als auch die Einstellung auf subjective Gleichheit gleichzeitig durch die Veränderung am Marbe'schen Apparate selbst erzielt wird. Es braucht also nicht noch ein besonderer Mechanismus für diese Auswechslung der reagirenden Umgebung hinzutreten. Diese Vereinfachung der Einstellungsthätigkeit für alle reagirenden Helligkeitsstufen macht diese Anordnung auch für eine etwaige Nachprüfung nach der Methode der plötzlichen Einstellung (in Verbindung mit allmählicher Ausprobirung des Gleichheitspunktes) viel geeigneter als den bisherigen Mechanismus. Hierbei zeigt sich also erst die große Variations-

möglichkeit in der Verwendung des Marbe'schen Apparates im besten Lichte.

Der leitende Gesichtspunkt dieser Anordnung (s. Fig. 8) besteht nun darin, dass der mit einem Episkotister¹⁾ versehene Rotationsapparat (*A*) mit einer elektrischen Projectionslampe (*P*) combinirt wird, wie sie häufig zu Demonstrationszwecken verwendet zu werden

Fig. 8.



pfligt. Die Episkotisterscheiben (*S*), welche auf den Rotationsapparat aufgesetzt werden, müssen dabei nach einer geeigneten Stellung des Apparates zwischen der Projectionslinse (*L*) und der Lampenöffnung (*O*)

1) Der Episkotister besteht bekanntlich in einer sectorenförmig durchbrochenen Scheibe aus undurchsichtigem Material, die eine Variation der offenen Sektoren zulässt. Die hier verwendete Vorrichtung stimmt natürlich nur in ihrem Endzweck mit der von Aubert zum ersten Male beschriebenen (Physiologie der Netzhaut, S. 33f.) Anordnung überein. Sie kann also nur in einem allgemeineren Sinne des Wortes »Episkotister« genannt werden.

in derjenigen Ebene vorbeireiten, in welcher bei der sonstigen Verwendung des Projectionsapparates die Glasscheiben mit dem Bildobjecte eingeschoben liegen. Man stellt nun auch einen großen Papierschirm (*T'*) genau senkrecht zur Axe des Lichtkegels auf, so dass ein möglichst gleichmäßig erhellter Lichtkreis entworfen wird, und sorgt, abgesehen von der richtigen Größe dieses Kreises, auch dafür, dass die einzelnen Sektoren des Episkotisters möglichst scharf begrenzte Bilder auf dem Schirme erscheinen lassen. Bei der Rotation der Scheibe wird nun jeder Punkt der erleuchteten Schirmfläche in dem nämlichen Tempo nacheinander verdunkelt und beleuchtet, in welchem an dem conjugirten Punkte auf der anderen Seite der Projectionslinse undurchsichtige und durchsichtige Sektoren des Episkotisters wechseln. Bei hinreichender Drehungsgeschwindigkeit wird also die Schirmfläche ebenso gleichmäßig in einer beliebig variirbaren Helligkeit erscheinen, wie wenn man einen sehr großen Episkotister, der unmittelbar vor einer gleichmäßig erleuchteten Fläche vorbeireitet, durch einen Kreisausschnitt betrachtet.

Fertigt man den Projectionsschirm aus einem guten farblosen Transparentpapier, so kann man nun die ganze Erscheinung von der entgegengesetzten Seite des Schirmes aus betrachten, ohne dass sich ein wesentlicher Helligkeitsverlust bemerklich macht. Die völlig ungedämpfte Gesammthelligkeit erscheint sogar bei der gewöhnlichen Betrachtung einer weißen Projectionsfläche von der Vorderseite viel zu blendend. (Die Projectionslampe ist natürlich bei all diesen Versuchen als einzige Lichtquelle im sonst dunklen Raume vorausgesetzt. Da bei dieser Anordnung die Rotationsscheibe ohne Reibung an anderen Flächen frei läuft, so kommt natürlich auch jener Lärm in Wegfall, der früher die Benutzung des Dunkelzimmers um der benachbarten Räume willen ausgeschlossen hatte. Es konnte also diese Anordnung im Dunkelzimmer selbst eingerichtet werden.) Die Verwendung des Transparentschirmes bietet aber nun auch noch den besonderen Vortheil, dass eine symmetrische Placirung des Beobachters zur beleuchteten Kreisfläche ermöglicht wird. Jener Schirm verdeckt dann zugleich die ganze übrige Anordnung, so dass die Beobachtung noch ungestörter ist als bisher¹⁾.

1) Der Marbe'sche Apparat bedurfte natürlich wegen seines niedrigen Untergestelles eines kleinen hölzernen Unterbaues, um mit einer Scheibe von

Der Rotationsapparat war ebenfalls wieder durch eine Zügelvorrichtung, die vom Tische des Beobachters (*M*) unter dem Schirm hindurchführte und am Schlitten des Apparates angriff, zur Selbsteinstellung eingerichtet. Auch die Entfernung des Beobachters vom Projectionsschirm war als 1 m beibehalten worden. Der Lichtkreis betrug 1,70 m im Durchmesser und erfüllte somit den größten Theil des Sehfeldes. Einen großen Vortheil brachte zugleich die Leichtigkeit, mit welcher sich ein geeigneter Fixationspunkt in beliebiger Lage unmittelbar innerhalb der Projectionsfläche anbringen ließ. Bei den Pigmentversuchen, sowie bei den im späteren Theile zu besprechenden Transparentversuchen mit direct durchfallendem Lichte musste hingegen der Fixationspunkt jeder Zeit sehr complicirt auf einem Faden oder Draht in der Luft schwebend angebracht werden, falls man ihn nicht gerade im Scheibencentrum haben wollte.

2. Es handelte sich nun vor allem um die Herstellung solcher Scheiben, welche die Variation der durchsichtigen und undurchsichtigen Partien während der Rotation leicht ermöglichten. Ihr Halbmesser war durch die oben erwähnte größere Entfernung der Axe von der Lampenöffnung vorgeschrieben und betrug 13 cm. Bei dieser Größe musste natürlich auch das undurchsichtige Material so leicht gewählt werden, als es mit einer genügenden Dichtigkeit vereinbar war, da sonst eine Ueberlastung des Apparates stattgefunden hätte. Es wurde also hierzu ein kräftiges dunkles Aquarellpapier verwendet, welches diesen Anforderungen vollkommen genügte. Selbstverständlich konnte das Papier aber nun nicht etwa wie Metallblech einfach mit sectorenförmigen Ausschnitten ohne irgend welche Ausfüllung versehen werden, weil bei dieser Größe die leicht biegsamen Ecken und Kanten während der schnellen Rotation hin- und hergeschleudert und

mäßiger Größe den Strahlenkegel völlig abschließen zu können, welcher aus der gewöhnlich etwas höher gelegenen Lampenöffnung herausdringt. Dabei ist es auch nicht möglich, den langen rückwärtigen Theil des Apparates wie bei der vorigen Anordnung nach rückwärts zu nehmen, weil sonst die Rotationsaxe ebenfalls zu weit seitlich von der Oeffnung entfernt werden müsste, und weil zu große Scheiben erforderlich wären. Diese Umkehrung wäre natürlich vollständig gleichgültig gewesen, wenn nicht das äußerste Ende der Schlittenbahn am Apparat noch etwas in den periphersten Theil des Lichtkegels hineingereicht hätte. Die kleine Schattenecke verschwand jedoch für einen nach der Mitte gerichteten Blick fast vollständig in der Peripherie des Sehfeldes.

zerrissen worden wären. Die Ausschnitte mussten vielmehr mit einem durchsichtigen Medium ausgefüllt werden, und erwiesen sich hierbei aufgeklebte Sektoren aus farbloser Gelatine wegen der minimalen Vermehrung des Gesamtgewichtes als das geeignetste Mittel. Die mittlere Fläche der Scheibe konnte dabei immer aus undurchsichtigem Material bestehen; sie lag ja vor der festen Scheibe des Apparates, welche selbstverständlich nicht als Episkotister verwendet werden kann. Die Ausdehnung dieses völlig undurchsichtigen Centrums betrug 5,8 cm im Radius. Es gab zugleich den festen Halt, um den sich die übrige Scheibenfläche gruppirt. Die Variation der durchsichtigen Sektorengroße hätte nun zunächst wieder in der Weise versucht werden können, dass zwei Scheiben mit durchsichtigen Sektoren nach Art der Maxwell'schen Anordnung ineinander geschoben worden wären. Die eine von beiden wäre wieder an der Apparatscheibe, die andere am frei beweglichen Hebel befestigt worden. Nun ist aber schon die hier nothwendige einseitige Befestigung bei radial aufgeschnittenen Scheiben von solcher Größe für deren sichere Lage während der Rotation ungünstig. Ferner bringen Scheiben von der beschriebenen Zusammensetzung wegen der größeren Dicke und Unebenheit sehr leicht Hemmungen bei so naher Aneinanderlagerung mit sich. Endlich sind viele Anordnungen, in welchen die eine der beiden Scheiben ringsherum vollständig durchsichtig sein muss, bei dieser radialen Durchschneidung nur höchst mangelhaft durchzuführen. Man muss hierbei also gerade den großen Vortheil ausnützen, dass es bei einer Episkotisteranordnung überhaupt nicht darauf ankommt, ob diese oder jene Theile beider Scheiben obenauf zu liegen kommen. Es müssen nur eben überhaupt die durchsichtigen Sektoren der einen Scheibe neben den durchsichtigen, bzw. undurchsichtigen Sektoren der anderen Scheibe so gelagert sein, dass die gesammte Scheibencombination die richtige Ausdehnung transparenter Stellen besitzt. Man wird also beide Scheiben überhaupt nicht radial aufschneiden und ineinander stecken, sondern völlig getrennt gegeneinander verdrehen. Dadurch wird die Verschiebung so hemmungslos, dass man nun in der Scheibenconstruction viel freier verfahren kann. Natürlich kann bei dieser Anordnung die an der Apparatscheibe befestigte Scheibe, die kurz als »feste« Scheibe bezeichnet werden soll, nicht wie bei der Maxwell'schen Combination auf der nämlichen Seite wie die bewegliche

Scheibe aufgesetzt werden. Der bewegliche Hebel für die Drehung der letzteren liegt ja unmittelbar auf der Apparatscheibe auf und greift sogar noch mit einem Ansatzwinkel oben auf den Rand der Scheibe über. Es kann also zwischen der am Hebel befestigten (beweglichen) Scheibe und der Apparatscheibe nichts mehr eingefügt werden. Die feste Scheibe war daher bei all diesen Versuchen auf der Rückseite der Apparatscheibe befestigt, während die bewegliche Scheibe wie gewöhnlich vorne auf den Zapfen an der Hauptaxe aufgesetzt wurde¹⁾. Zu ihrer Befestigung am drehbaren Hebel war auf den letzteren ein dünnes Gewinde aufgeschraubt, welches die Scheibe durchstach und nach Aufschrauben einer Schraubenmutter sicher festhielt. Diese einfache Fixirung, welche insbesondere einen sehr raschen Wechsel der Scheiben gestattet, wäre natürlich bei der Maxwell'schen Anordnung wegen der entstehenden Unebenheit ebenfalls nicht verwendbar gewesen.

3. Diese Combination zweier Scheiben wird natürlich niemals eine so umfangreiche Veränderung der Helligkeit zulassen, dass vom tiefsten Dunkel der völlig undurchsichtigen Combination zur größtmöglichen Helligkeit der vollen Lichtwirkung des Projectionskreises übergegangen werden könnte, welche letztere nur bei vollkommener Durchsichtigkeit der Combination möglich wäre. Soll überhaupt bei irgend einer Stellung beider Scheiben zu einander volle Undurchsichtigkeit vorhanden sein, so müssen an beiden Scheiben zusammen mindestens 360 Bogengrade undurchsichtiger Sektoren vorkommen. Die größtmögliche Helligkeit kann dann aber höchstens die Hälfte der Gesammthelligkeit betragen. Sie ist offenbar dann vorhanden, wenn die undurchsichtigen Partien beider Scheiben gleich groß und gerade vollständig zur Deckung gebracht sind. Bei einer Summe der undurchsichtigen Partien beider Scheiben von 360° ergibt sich also die größte Helligkeit bei gleichmäßiger Vertheilung auf beide Scheiben

1) Dagegen ließe sich allerdings auch auf das vordere Ende der Axe ein größeres Gewinde aufschrauben, welches die feste Scheibe nun wenigstens unmittelbar vor der beweglichen anbringen lässt. Hierdurch würde sogar noch eine kleine Ungenauigkeit beseitigt, die bei der rückwärtigen Befestigung der festen Scheibe besteht. In letzterem Falle können die beiden Scheiben natürlich nicht unmittelbar aneinander liegen, weil die ca. 1 cm dicke Apparatscheibe dazwischen liegt. Doch scheint diese kleine Ungenauigkeit bei der geringen Distanz zwischen beiden Scheiben ohne Schaden vernachlässigt werden zu können.

zu je 180° . Die obige Regel zeigt außerdem, dass eine solche Vertheilung zugleich immer noch den größten Spielraum für die Helligkeitsvariation überhaupt zulässt. Jede Erhöhung des Helligkeitsmaximums ist nur durch Herabsetzung der undurchsichtigen Fläche der Scheiben zu erreichen. Dadurch wird aber unmittelbar der Umfang herabgemindert, in welchem nun von dem Helligkeitsmaximum nach abwärts gegangen werden kann. Denn der Umfang ist für jede derartige Scheibencombination bei günstigster, d. h. eben hier gleichmäßiger Vertheilung der undurchsichtigen Fläche auf beide Scheiben jederzeit nur so groß, dass von einem Helligkeitsmaximum zur Verdoppelung der in ihm noch enthaltenen undurchsichtigen Sektoren herabgegangen werden kann. Aus dem schon früher erwähnten Grunde ist nun die Herabminderung des Helligkeitsmaximums, welche bei unserer Anordnung zu einer möglichst großen Variation nothwendig ist, keineswegs als ein Nachtheil zu betrachten. Die volle Helligkeit des elektrischen Bogenlichtes wirkt auch bei so großer Ausdehnung des Projectionskreises noch so blendend, dass erst mit einer starken Herabsetzung dieser größtmöglichen Helligkeit jener störende Blendungsfactor ausgeschlossen erscheint.

Die Gesamtausdehnung der durchsichtigen Fläche wurde nun zur besseren Verschmelzung der Helligkeitsempfindung bei der Rotation auf zwei gleiche Sektoren vertheilt, welche durch gleich große undurchsichtige Partien getrennt waren. Da diese Vertheilung der verschiedenen Qualitäten in beiden Scheiben in ganz entsprechender Weise geschah, so war der Wechsel des Transparenteffectes bei der gegenseitigen Verdrehung der Scheiben ganz der nämliche, als wenn die verschiedenen Qualitäten einer Scheibe in je einem einzigen Sector vereinigt gewesen wären. Neben dem Vortheil einer leichteren Verschmelzung besitzt diese Zerlegung in mehrere gleiche Einzelsektoren allerdings den Nachtheil, dass die manuelle Einstellung auf eine bestimmte Helligkeit nicht mehr die nämliche Genauigkeit besitzt. Bei dieser Halbierung der verschiedenen Sektoren reicht schon eine nur halb so große Drehung hin, um vom Minimum der Helligkeit zum Maximum fortzuschreiten, und die nämliche Erhöhung des Drehungseffectes gilt natürlich auch für Bruchtheile dieser Verdrehung. Allerdings fällt die Genauigkeit der Einstellung nicht etwa direct proportional mit dieser Erhöhung des Drehungseffectes. Denn die

willkürlichen Bewegungen sind ja doch hier von den Gesichtswahrnehmungen abhängig, und die unmittelbare Erfahrung über die größere Wirksamkeit der Bewegung wird die relative Sorgfalt derselben erhöhen, so dass hierdurch der größere Einfluss der motorischen Fehler durch deren Herabminderung wieder einigermaßen ausgeglichen wird. Für die Methode der plötzlichen Einstellung mit allmählicher Ausprobirung des Gleichheitspunktes würde diese rasche Variation bei mehrfacher Theilung sogar noch einen besonderen Vortheil bieten, da es hier auf besonders rasche Veränderung ankommt. Andererseits würden die Einstellungsfehler hier wegen der ganz bestimmten Fixirung des Enderfolges der Bewegung viel weniger in Betracht kommen. Für beide Methoden treffen aber natürlich diejenigen Nachtheile gleichmäßig zu, welche bei der mehrfachen Theilung der Sektoren in den unvermeidlichen Herstellungsfehlern und Ablesungsfehlern bestehen. Jede neue Grenzlinie der Sektoren bringt solche Herstellungsfehler hinzu, ganz abgesehen von den Ungleichmäßigkeiten der Licht- und Farbenwirkung, welche an diesen Grenzen der transparenten und undurchsichtigen Theile niemals zu vermeiden sind, und abgesehen von der Erhöhung dieses Fehlers in unserer Anordnung durch die allerdings geringe Entfernung beider Scheiben voneinander. Da ferner hier keine wesentliche Erhöhung der Messungssicherheit mit der Verkleinerung der Strecken in Betracht kommt, so wird auch die Nothwendigkeit einer mehrfachen Ablesung nur die Fehler mehren. Dies alles sind hinreichende Gründe für eine Beschränkung der Zerlegung auf das nothwendigste Maß. Dennoch muss die Möglichkeit einer solchen Zerlegung überhaupt ebenfalls als ein besonderer Vortheil der Episkotister-Anordnung hervorgehoben werden, der mit der Verwendung des Maxwell'schen Scheibenpaares am Marbe'schen Apparat bei Pigmentfarben nicht vereinbar ist.

4. Was bisher über die Construction der Scheiben gesagt wurde, bezog sich nur ganz allgemein auf die Variation der Helligkeit überhaupt. Um der Einfachheit willen war dabei von einer gleichmäßigen Aenderung des gesammten Projectionskreises die Rede, wozu man nur in sich gleichartige Sektoren benöthigt, die im ganzen durchsichtig oder undurchsichtig sind. Bei der Nachbildmessung handelt es sich aber natürlich überall um Contraste innerhalb des Sehfeldes, die später in subjective Gleichheit übergeführt werden müssen. Es

bedarf also einer ganz bestimmten Gliederung der Projectionsfläche, bezw. der Scheibencombination. Selbstverständlich gibt es bei dieser Anordnung keine solche Gliederung, die während der Rotation eine kleine, mit der sonstigen Projectionsfläche contrastirende Scheibenfläche auf dem Schirme erscheinen und selbständig gegenüber der Umgebung sich verändern ließe, wie es bei den Pigmentversuchen gesehen wurde. Aber natürlich ist es für die ganz allgemeine Fragestellung, wie die Nachbildwirkung sich zur reagirenden Helligkeit verhält, zunächst ziemlich gleichgültig, welche Form die contrastirenden Flächen einnehmen. Letzteres kommt höchstens bei Specialfragen hinsichtlich des Einflusses der Ausdehnungsverhältnisse und der Lage im Sehfelde in Betracht. Man konnte daher mit denjenigen Formen der contrastirenden Flächen vorlieb nehmen, die sich mit einer Projectionslampe und einem Marbe'schen Rotationsapparat allein herstellen lassen. Dies sind aber ausschließlich segment- und streifenförmige Flächen, die von der Peripherie des Projectionskreises selbst und von denjenigen Kreisbögen begrenzt werden, welche von der Projection der concentrischen Ringe auf den Episkotisterscheiben herrühren. Die einzelnen homogenen Flächenstücke sind also jederzeit Projectionen von Ausschnitten aus Kreisringen der Episkotisterscheiben. Bei unserer Aufstellung der Apparate wird z. B. die Halbierung des Sehfeldes (durch eine mittlere Grenzlinie von der beschriebenen Art) die linke Hälfte von der Sectoreneintheilung eines inneren Kreisringes der Scheiben abhängig sein lassen, während die rechte Hälfte von der Eintheilung des äußeren Kreisringes bestimmt wird.

Die Variation der Helligkeiten dieser Flächenstücke muss also in der Weise bewerkstelligt werden, dass alles, was oben über die ganzen Sectoren gesagt worden ist, auf die Sectorenausschnitte innerhalb eines Kreisringes übertragen wird. Wenn sich nun die Helligkeitsvariation immer nur zwischen vollständiger Dunkelheit und halber Gesammthelligkeit oder einem noch geringeren Helligkeitsmaximum zu bewegen braucht, so können sämtliche Streifen der Projectionsfläche, wie sie einzeln einem Kreisringe der Episkotisterscheibe entsprechen, nach einer gewissen Drehung der einen Scheibe gegen die andere von einer beliebigen Ausgangshelligkeit zu einer beliebigen Endhelligkeit übergeführt werden. Dabei

braucht noch dazu nur die eine der beiden Scheiben in ihren Kreisringen verschieden beschaffen zu sein. Die andere Scheibe darf hingegen in ihrem ganzen für die Projection in Betracht kommenden Ringe eine einheitlich durchgehende Sectoreneintheilung tragen. Soll das Helligkeitsmaximum in der halben Gesammthelligkeit bestehen, so muss diese letztere Scheibe also eine durchsichtige Fläche von 180° , bzw. zur besseren Verschmelzung eine Quadranteneintheilung mit abwechselnden Qualitäten tragen. (Für geringere Maxima braucht natürlich die Gesammtsumme ihrer durchsichtigen Sectoren nur entsprechend geringer sein.) Diese letztere einfach eingetheilte Scheibe mit homogenen Sectoren soll weiterhin die »feste Scheibe« heißen. Da sie für diese Anordnung constant bleiben durfte, solange ihr Helligkeitsmaximum zureichte, wurde sie nämlich zur festen, rückwärtigen Scheibe gewählt, die nicht so leicht auszuwechseln ist wie die vordere bewegliche Scheibe. Als letztere wurde die complicirtere Scheibe genommen, die von einem Versuch zum anderen wechselte. Die Theile dieser beweglichen Scheibe, die gerade hinter den durchsichtigen Sectoren der festen Scheibe stehen, können nun hinsichtlich des Helligkeitswerthes der einzelnen concentrischen Ringe ganz beliebig beschaffen sein; jedenfalls ist hinter dem mindestens gleich großen undurchsichtigen Sector der festen Scheibe gerade so viel Platz, um ihn durch eine Viertelsdrehung oder weniger völlig dahinter verschwinden und vor den durchsichtigen Sectoren der festen Scheibe durch einen benachbarten Theil vertreten zu lassen, der wieder in jedem einzelnen Ringe ganz beliebig beschaffen sein kann. Innerhalb der angegebenen Variationsgrenzen ist also in dieser Weise offenbar thatsächlich je nach Beschaffenheit der beweglichen Scheibe die beliebige Anfangssituation mit einer beliebigen Endsituation zu vertauschen.

Diese Variationsmöglichkeit reicht allerdings nicht zur Messung einer Nachbildwirkung aus, die aus einer ganz beliebigen Combination von Helligkeiten auf beliebig vielen Nachbarstreifen des Projectionskreises entsteht, wenn die Nachbildmessung in einem einzigen Versuch (nach der Methode der Selbsteinstellung) vollzogen werden soll. Hierzu wäre ja eine Einstellung auf subjective Gleichheit innerhalb des ganzen Sehfeldes erforderlich. Nun kann zwar von jener beliebigen Combination auf eine objective Gleichheit des ganzen Fel-

des in jeder beliebigen Helligkeitsstufe (zwischen den früher erwähnten Grenzen) übergegangen werden. Die Annäherung an diese objective Gleichheit geschieht aber natürlich nicht in der Weise, dass in irgend einer Zwischenstellung die noch vorhandenen objectiven Differenzen aller Einzelstreifen die zugehörigen Erregbarkeitsdifferenzen alle miteinander gleichzeitig ausgleichen würden. Es würde vielmehr wohl im allgemeinen immer nur für zwei benachbarte Streifen subjective Gleichheit eintreten. Erst in mehreren Einzelmessungen könnten also nacheinander sämtliche Streifenpaare durchgenommen sein, falls man sich jedesmal auf bestimmte Paare zu concentriren vermöchte. Diese Möglichkeit ist nun offenbar für eventuelle spätere Untersuchungen über das Zusammenwirken mehrfacher Differenzen immerhin von ziemlicher Bedeutung. Sind jedoch überhaupt nur zwei verschiedene Ausgangshelligkeiten vorhanden, so dass es sich auch nur um eine einzige Erregbarkeitsdifferenz handelt, so wird sich dieser Vorgang natürlich auf die Messung eines einzelnen Nachbildes auf beliebigen reagirenden Helligkeiten mittelst eines einzigen Versuches wie bisher vereinfachen.

B. Anordnung zur Untersuchung des Rückganges der Nachbildwirkung unter verschiedenen Bedingungen.

Bei den schon früher erwähnten Erholungsversuchen wurde nun zunächst die Nachbildwirkung jedesmal nur auf ein und der nämlichen Helligkeitsstufe gemessen, da es ja hier überhaupt nicht unmittelbar auf die Untersuchung des F.-H.'schen Satzes ankam. Das Nachbild entstand hierbei aus dem Contrast von nur einem Drittel der Gesamthelligkeit mit reinem Schwarz, damit die Ausschließung allzu großer Contraste beibehalten würde. Jede Qualität erfüllte die Hälfte des Projectionskreises, und befand sich der Fixationspunkt auf der mittleren Grenzlinie. Zur Messung wurde dann die vorher dunkle Fläche jedesmal der hellen, constant erhaltenen subjectiv gleich gemacht. Die feste Scheibe trug also zwei durchsichtige Sextanten, d. h. Sektoren zu je 60° , die sich als Scheitwinkel gegenüberlagen. Die bewegliche Scheibe war vollständig durchsichtig mit Ausnahme zweier Ringausschnitte von mehr als 60° , welche die innere Hälfte zweier gegenüberliegender Sektoren undurchsichtig

machten. Die auf Tafel III beigefügten Abbildungen zeigen in Fig. 1 und 2 beide Scheiben nebeneinander in derjenigen Stellung, dass sie, durch eine Parallelverschiebung zur Deckung gebracht, die Ausgangslage darstellen, deren gesammter Transparentwerth in Fig. 3 zu sehen ist. Nun wurde durch eine 15 Secunden lange Fixation des zugehörigen Projectionsbildes dieser Ausgangslage das Nachbild erzeugt. Durch die Verdrehung der beweglichen Scheibe konnten hierauf die undurchsichtigen Ringsectoren derselben immer mehr aus dem Bereich der durchsichtigen Sextanten der festen Scheibe entfernt und durch transparente Partien ersetzt werden. Die linke, vorher dunkle Hälfte des Projectionskreises hellte sich also immer mehr auf, bis subjective Gleichheit bei einer bestimmten restirenden Differenz der objectiven Helligkeiten eintrat.

Sollte nun ferner die Wirkung erst nach einer bestimmten Erholungszeit im Dunkeln in gleicher Weise gemessen werden, so wurde die Oeffnung des Projectionsapparates nach der 15. Secunde von einem Gehülfen durch eine Pappscheibe verschlossen und erst nach einer bestimmt verabredeten Erholungszeit wieder geöffnet, worauf sofort unter Festhaltung des alten Fixationspunktes die Einstellung wie vorhin erfolgte. Man hätte zur Noth auch ohne Gehülfen auskommen können, falls man sich einer anderen beweglichen Scheibe bedient hätte, wie sie in Fig. 4 skizzirt ist. An die beiden Ringsectoren hätten sich auf entsprechenden Seiten zwei völlig undurchsichtige Sectoren von mindestens 60° Bogenweite anschließen müssen. Durch Drehung dieser beweglichen Scheibe um 60° in Richtung des gegebenen Pfeiles wäre dann zunächst eine völlige Verdunkelung entstanden, indem die beigefügten undurchsichtigen Sectoren der beweglichen Scheibe die Sextanten der festen Scheibe ganz verdeckt hätten. Eine weitere Drehung nach der Erholungszeit hätte dann über objective Gleichheit des Sehfeldes hinweg rasch zu der früheren Gleichheitseinstellung geführt.

In entsprechender Weise wurde nun der Verlauf des Nachbildes gemessen, welcher bei Einschlebung der Betrachtung einer (objectiv) gleichmäßig hellen Fläche eintritt. Hier war nicht einmal eine besondere Scheibe für diesen Zweck erforderlich. Nach Entstehung des Nachbildes entfernte eine rasche Drehung um mindestens 60° die undurchsichtigen Ringsectoren der beweglichen Scheibe von den Sex-

stanten der festen Scheibe, wodurch sich das Sehfeld auch auf der vorher dunklen Hälfte bis zur vollen objectiven Gleichheit mit der (constant erhaltenen) hellen Hälfte veränderte.

Nach einer bestimmten Wartezeit, in welcher diese helle Fläche betrachtet, bezw. fixirt wurde, erfolgte dann durch weitere Drehung in der nämlichen Richtung die nämliche Nachbildmessung wie früher. Die undurchsichtigen Ringsectoren kamen nämlich von der anderen Seite her wieder herein und glichen die subjective Aufhellung der vorher dunkleren Hälfte aus, so weit eine solche noch vorhanden war.

Jene Verdrehung bis zu einer objectiven Gleichheit im Dunkeln oder Hellen erfordert natürlich ohne Gehülfen noch eine besondere Vorrichtung, um mit hinreichender Schnelligkeit ausgeführt werden zu können. Soll dabei von dieser Einstellung aus in der nämlichen Richtung zur darauffolgenden subjectiven Gleichheitseinstellung weitergegangen und nicht vielleicht mit der selbstthätigen Rückwärtsbewegung das Nachbild gemessen werden, was um der geringeren Raschheit dieser Bewegung willen im allgemeinen zu vermeiden ist, so darf natürlich der Endpunkt für jene erste Einstellung nicht durch eine absolut feste Marke, wie bei der Methode der plötzlichen Einstellung, festgelegt sein. Es muss vielmehr in die Schlittenbahn ein Widerhalt eingefügt werden, der einen raschen Anprall sicher aufhält und doch einem weiteren constanten Zug auch wiederum nachgibt. Als bestes Hilfsmittel hierzu erschien ein Holzschlitten geeignet, der in das nämliche Geleise wie der Apparatschlitten hinter denselben eingesetzt wurde und sich etwas schwerer verschieben ließ. Man stellte nun diesen Holzschlitten zunächst so ein, dass er den Apparatschlitten bis zur Herstellung objectiver Gleichheit kommen ließ. Dabei fühlte die Hand augenblicklich jenen Moment des Anschlages heraus, zumal der Apparatschlitten auf leichteste Beweglichkeit gestellt war, und hielt zunächst inne. Ein kleines Hinausgehen über den Punkt war bei der Ausdehnung des durchsichtigen Sectors der beweglichen Scheibe sogar gänzlich belanglos. Ein nur wenig kräftigeres Weiterziehen schob dann später beide Schlitten hintereinander beliebig weiter ¹⁾.

1) Je geringer also bei dieser Anordnung die Ausdehnung der durchsichtigen Sektoren in der festen Scheibe ist, um so öfter kann das Sehfeld in allen seinen Theilen nach Farbe und Helligkeit (innerhalb des überhaupt noch vorhandenen Umfanges der Intensitätsvariation) beliebig verändert werden.

Die Ergebnisse dieser Anordnung sind schon bei der Theorie der Selbsteinstellung (S. 531 ff.) hinreichend discutirt worden, wie ja ihre Zuordnung zu den früheren Resultaten bei der Gleichartigkeit des Principis der Methode völlig berechtigt ist. Auch hier wurde nicht etwa mit Dunkeladaptation gearbeitet, schon deshalb, weil dieselbe bei Verwendung einer gleichmäßigen Helligkeit des Sehfeldes mit einer sehr großen Blendung und Schädigung des Auges verbunden gewesen wäre. Das Zimmer war vielmehr während der Pausen, die ebenfalls wieder etwas mehr als 10 Minuten betragen, hinreichend und constant erhellt, so dass die folgende Helligkeit der fixirten Combination niemals als Blendung empfunden wurde. Dass hierin zugleich die besten Bedingungen für ein Verschwinden der früheren Nachbilder gegeben sind, geht eben aus dem Resultat dieser Versuche selbst am besten hervor, welche bei Ausfüllung der Erholungszeit mit Helligkeit einen viel schnelleren Rückgang der Wirkung zeigen als bei Dunkelheit. Was die Adaptation anbelangt, so handelt es es sich ja für diese Bestimmungen immer nur um die relative Constanz derselben, und diese letztere war eben bei dieser Anordnung immer erfüllt. Kurz vor Beginn der Fixation wurde die übrige Beleuchtung des Zimmers während der Pause ausgeschaltet und gleichzeitig die Projectionslampe geöffnet. Für die Unterstützung bei diesen Erholungsversuchen bin ich auch Herrn E. Dürr zu Danke verpflichtet, der jene exactere Art der Messung des Verlaufes der Nachbildwirkung im Dunkeln ermöglichte und hierfür außerdem selbst mehrere Controllversuche lieferte, die in Tabelle IIIa und der zugehörigen Curvendarstellung beigelegt sind und eine hinreichende Uebereinstimmung zeigen. Ich kann noch hinzufügen, dass die Messung des Nachbildes während seines Rückganges bei fortwährender Erhaltung der subjectiven Gleichheit (Tabelle IIIc) viel eingehender und bequemer untersucht werden kann, wenn nicht für jeden Zeitpunkt des Rückganges die Einstellung nach Abbruch des Versuches an der Sectorenstellung abgelesen wird. Ein Gehülfe könnte vielmehr auch fortlaufend die Schlittenstellungen notiren, bei denen nach Angabe der Versuchsperson noch subjective Gleichheit besteht.¹⁾ Somit könnte

1) Dieser Vortheil des Apparates ist ja vom Erfinder selbst in die Ueberschrift seiner eigenen Beschreibung (a. a. O.) aufgenommen worden (s. S. 505).

eine einzige Nachbildwirkung in dieser Weise zur Untersuchung des ganzen Vorganges ausreichen, der bei Vermehrung solcher Versuche viel eher in allen seinen Punkten festgestellt werden würde. Auch für die sonstigen Erholungsbedingungen lassen sich hieraus gewisse Analogien für eine mehrfache Ausnützung eines Versuches ableiten.

C. Vergleichung eines farbigen Helligkeitsnachbildes mit dem Nachbilde einer entsprechenden farblosen Helligkeitsdifferenz.

1. Die nämliche Anordnung wurde nun ferner dazu verwendet, um den F.-H.'schen Satz auch für das Nachbild eines farbigen Helligkeitsunterschiedes wenigstens an einem möglichst einfachen Beispiel zu erproben. Der Helligkeitscontrast, welcher ebenfalls 15 Secunden lang fixirt wurde, bestand hierbei aus Grün neben Weiß zu je einer Hälfte des Projectionskreises. Der Fixationspunkt lag wieder auf der Grenze. Man braucht sich also nur das Schwarz der vorigen Erholungsversuche durch Grün ersetzt zu denken. Die feste Scheibe war die nämliche wie dort mit zwei farblos durchsichtigen Sextanten, und ebenso war die bewegliche Scheibe zunächst in analoger Weise vollständig durchsichtig, mit Ausnahme zweier aus grüner Gelatine bestehender Ringsausschnitte von je 90° auf dem inneren Kreisringe ihrer Transparentfläche. Die Fig. 5 d. Taf. zeigt diese Scheibe mit Angabe ihrer Lage zu der festen Scheibe in der Ausgangssituation, welcher das Nachbild entstammte. Die feste Scheibe ist dabei ebenso, wie es bereits in Fig. 4 geschehen ist, durch die stark ausgezogenen Bögen markirt, welche die abgebildete bewegliche Scheibe umfassen und die Lage der undurchsichtigen Sektoren der festen Scheibe angeben. Diese Darstellungsweise wird auch im späteren Theile für die Scheiben zu farbigen Nachbildern immer wiederkehren. Das Grün ist durch schräge Schraffirung gekennzeichnet, während alle undurchsichtigen Partien ein für alle mal schwarz oder gleichförmig grau angegeben sind.

Anmerkung. Die Technik dieser Farbscheiben soll gleich an dieser Stelle näher beschrieben werden, obgleich später bei den complicirteren Scheiben nochmals genauer darauf zurückzukommen ist. Die farbige Gelatine, die beiläufig viel feiner ist als die farblos durchsichtige Gelatine der festen Scheibe, durfte natürlich nicht etwa einfach auf eine Scheibe aus fester Gelatine aufgeklebt

werden. Dadurch wäre ihr Sättigungs- und Helligkeitscharakter an den Klebstellen wesentlich verändert worden. Ein Ankleben war immer nur an denjenigen Stellen möglich, die nicht zur projectirten Transparentfläche gehören, d. h. also, an der inneren und äußeren Grenze des Transparentringes. Kamen solche Grenzen jedoch innerhalb des letzteren in radialer Richtung oder als concentrische Kreislinien vor, so war ein Ankleben ausgeschlossen. Damit nun die hier freiliegenden Grenzen während der Rotation genau ihre Lage beibehielten, wurde der ganze zur Projection gelangende Transparentring auf beiden Seiten von farblosen Gelatineflächen umgeben, die innen auf dem undurchsichtigen Centrum und an der äußeren Peripherie des Transparentringes an einander festgeklebt waren. Zu dieser beiderseitigen Bedeckung diente eine besonders feine Sorte farbloser Gelatine. So ergaben sich dauerhafte Scheiben, die an ihrer Oberfläche völlig glatt waren und dem Luftwiderstand bei der Rotation keinen Anhaltspunkt gaben, von dem aus eine Zerreißung hätte stattfinden können. Die Conturen innerhalb der Hülle lagen dabei während der Rotation ebenso genau wie in der Ruhelage; vor allem mussten natürlich die concentrischen Grenzlinien von vorn herein sehr genau gearbeitet sein, weil diese die Exactheit der Grenzen innerhalb der Projectionsfläche bestimmten. Die genaue Centrirung der Scheibe zur Axe wurde trotz mehrfacher Auswechslung durch eine besondere Steifung der Durchbohrung im Centrum aufrecht erhalten. Die ganze Herstellung war übrigens ziemlich mühevoll und zeitraubend. In Fig. 5a ist ein Modell zur Anfertigung mit Angabe der Klebestreifen beigefügt.

Wurde nun die bewegliche Scheibe nach Entstehung des Nachbildes in Richtung des Pfeiles verdreht, so wurde der grüne Ringsector von dem durchsichtigen Sextanten der festen Scheibe allmählich weggezogen und durch farblose Scheibentheile ersetzt. Diese anfangs grüne Hälfte des Sehfeldes wurde also immer heller und weniger gesättigt, bis wenigstens hinsichtlich der Helligkeit subjective Gleichheit mit der farblosen Hälfte vorhanden war, wobei der Farbenton überhaupt nicht mehr sehr ausgesprochen erschien. Die objective Beschaffenheit der anfangs grünen Hälfte enthielt bei dieser subjectiven Ausgleichung der Helligkeit noch ein relativ gesättigtes Grün, das der anderen Hälfte an Helligkeit bedeutend nachstand. Durch diese Differenz war also das farbige Helligkeitsnachbild ausgeglichen, bezw. gemessen worden, welches sich bei Projection auf eine gleichmäßige farblose Fläche als hellröthliches Bild von der dunkleren Nachbarschaft abhebt. Dabei war diese Messung auf der nämlichen reagirenden Helligkeitsstufe erfolgt, welche auf der ursprünglich weißen Hälfte des Sehfeldes zur Entstehung des Nachbildes beigetragen hatte. D. h. es reagirte diese objective Helligkeit auf der auch ursprünglich weißen Fläche, und da für die Herstellung der Abhängigkeitsbeziehung doch wieder bei einer Sehfeld-

stelle geblieben werden muss, soll wieder die ursprünglich weiße Fläche dazu ausgewählt werden. Sie ist sowohl hier als in den folgenden Messungen auf anderen Helligkeitsstufen die fest gegebene Helligkeit und entspricht der »Umgebung« in den Pigmentversuchen, während die zur Ausgleichung hinzugehörige Intensität der früher grünen Hälfte des Sehfeldes erst durch die Einstellung selbst aufgefunden wird und insofern der Intensität der Scheibe bei den Pigmentversuchen entspricht.

Sollte das nämliche Nachbild auf einer geringeren reagirenden Helligkeitsstufe gemessen werden, so bedurfte es nur einer neuen beweglichen Scheibe, die bei der Drehung (in Richtung des Pfeiles) je einen undurchsichtigen Sector von bestimmter Ausdehnung vor die durchsichtigen Sextanten der festen Scheibe vorschiebt, sodass hierdurch im gesammten Sehfeld die Helligkeit um gleich viel herabgesetzt wird. In Fig. 6 der Tafel ist eine solche Scheibe abgebildet, die je einen undurchsichtigen Sector von 30° vor die Sextanten der festen Scheibe vorschieben lässt, nachdem anfangs wieder ein innen grüner und außen farbloser Sextant davor gestanden hat. Nach der ursprünglichen Fixation von Grün neben Weiß lässt also hier ein rasches Anziehen bis zu einem gewissen Punkte zunächst nur eine Herabsetzung der Helligkeit des gesammten Sehfeldes auf die Hälfte der bisherigen bewirken. Verdreht man hierauf die bewegliche Scheibe in der nämlichen Richtung noch weiter, so behält die anfangs weiße Fläche ihre herabgesetzte Helligkeit bei, weil ja hinter dem undurchsichtigen Sector von 30° wieder farblose Sektoren nachfolgen. Die andere Hälfte des Sehfeldes aber, die durch das erste Stadium der Verdrehung ihren Grünwerth zur Hälfte durch Ersetzung der grünen Gelatine durch Schwarz verloren hat, nähert sich dabei infolge der Ersetzung des noch übrigen Grün durch farblose Gelatine immer mehr der ersteren Hälfte an, und schließlich ergibt sich auch auf dieser geringeren Helligkeitsstufe eine subjective Ausgleichung, in welcher der Helligkeitswerth des farbigen Nachbildes in dieser Reizlage gemessen wird.

Natürlich braucht man für diese Messungen auf anderen Helligkeitsstufen nicht immer wieder besondere Gelatinescheiben herzustellen. Vielmehr unterschieden sich die hierzu nothwendigen beweglichen Scheiben von jener ersten in Fig. 5 der Tafel nur durch jenen un-

durchsichtigen Doppelsector, der sich von rechts her an die grünen Ringsectoren anschließt und in der Ausgangslage eben noch hinter dem durchsichtigen Sextanten der festen Scheibe versteckt liegt. Dieser Doppelsector kann nun in der angegebenen Form (Fig. 6a) für sich aus starkem Carton gearbeitet und dann auf die bewegliche Scheibe oben aufgesetzt werden. Er muss nur möglichst glatt gearbeitet sein, um gut anzuliegen und bei der Rotation nicht umgebogen zu werden, und wird ebenfalls auf das am Hebel befindliche Schraubengewinde aufgesteckt, welches die Scheibe selbst durchbohrt. Die aufgesetzte Schraubenmutter hält dann beide Theile fest zusammen¹⁾. Durch Verwendung von drei solchen Doppelsectoren zu je $2 \cdot 15^\circ$, $2 \cdot 30^\circ$ und $2 \cdot 40^\circ$ wurde also das farbige Helligkeitsnachbild auf drei Helligkeitsstufen gemessen, welche fortschreitend dunkler waren als die ursprüngliche Helligkeit der weißen Hälfte des Sehfeldes.

Außerdem wurde aber auch noch eine größere Helligkeit als die Ausgangsstufe beigezogen. Zu diesem Zweck war natürlich auch eine neue feste Scheibe erforderlich, da ja für die bisherige die Ausgangshelligkeit der weißen Fläche zugleich das Helligkeitsmaximum der Variation enthielt. Es wurde also eine feste Scheibe mit durchsichtigen Sektoren zu 90° , also mit jener für den Variationsumfang günstigsten Quadranteneintheilung aufgesetzt. Als bewegliche Scheibe konnte hingegen wieder die bisherige Gelatinescheibe zur Verwendung kommen. Nur musste noch einer jener Doppelsectoren von mindestens $2 \cdot 30^\circ$ in der Weise angefügt werden, dass er in der Ausgangsstellung von den beiden durchsichtigen Quadranten der festen Scheibe je 30° verdeckte und nur zwei Sextanten freiließ, vor denen die innen grünen und außen farblosen Sextanten der beweglichen Scheibe ebenso standen, wie es zur Entstehung des nämlichen Nachbildes nothwendig war. Fig. 7 d. Taf. zeigt diese Combination, wobei die Stellung zur festen Scheibe wieder durch die außen angesetzten Bögen (vergl. S. 553) markirt ist, wie in Fig. 5. Durch eine Drehung der be-

1) Auch ist es nothwendig, das innerste Centrum dieses Doppelsectors herauszunehmen und durch dünneres, aber haltbares Papier zu ersetzen, damit der Zapfen an der Axe vorn nicht zuviel Spielraum für die aufgesetzte Schraubenmutter verliert. Die sichere Befestigung der letzteren muss nämlich ein Herausschnellen der im Apparat enthaltenen gespannten Feder verhindern.

weglichen Scheibe um 30° in Richtung des Pfeiles verschwand dann zunächst der undurchsichtige Doppelsector der beweglichen Scheibe hinter dem undurchsichtigen Quadranten der festen Scheibe und ersetzte sich von der anderen Seite her durch farblose Gelatine. Die reagirende Helligkeit der ursprünglichen weißen Hälfte des Sehfeldes stieg somit von einem Drittheil auf die Hälfte der unvermischten Lichtwirkung. Auf dem inneren Kreisringe, welcher der ursprünglich grünen Hälfte des Sehfeldes entsprach, befanden sich zunächst noch 60° Grün mit 30° farbloser Gelatine. Durch die weitere Drehung verschwand auch das Grün mehr und mehr aus dem Bereich des durchsichtigen Quadranten der festen Scheibe vor der nachfolgenden farblosen Gelatine, während die andere Hälfte constant auf der erhöhten Helligkeitsstufe erhalten blieb. Endlich stellte sich auch auf dieser höheren Helligkeitsstufe subjective Gleichheit hinsichtlich der Helligkeit ein. Die reagirende Qualität war also in allen Versuchen auf die denkbar einfachste Weise hinsichtlich ihrer Helligkeit variirt worden. Es hätte ja z. B. auch anstatt der undurchsichtigen Partien grüne Gelatine eingeführt werden können. Doch musste sich die Abhängigkeit des Helligkeitswerthes jenes farbigen Nachbildes von der reagirenden Qualität auch in diesen möglichst farblosen Helligkeiten zeigen. Ja es bestand hierbei sogar noch der besondere Vortheil, dass die Herabsetzung der Farbenqualität und die hiermit verbundene Herabsetzung der Farbdifferenz die Einstellung auf subjective Gleichheit hinsichtlich der Helligkeit bei verschiedenem Farbencharakter noch mehr erleichterte.

2. Die Resultate dieser Versuche sind in Tabelle IVa zusammengestellt, wozu die mit a bezeichnete Curvenlinie der graphischen Darstellung (Text-Fig. 9) hinzugehört. Die Versuche wurden nur von mir selbst ausgeführt und enthalten nur eine geringere Zahl von Einzelversuchen. Doch berechtigte die geringe mittlere Variation zu dieser Beschränkung. Gleichzeitig sollte hiermit nur einmal vor allem die Methode ausgebildet werden, nach welcher man um des theoretischen Interesses dieser Frage willen complicirtere Combinationen in größerer Zahl vornehmen müsste. Trotz jener Erleichterung der Helligkeitsvergleichung in den Einstellungsregionen, die auf der geringeren Farbdifferenz beruht, ist natürlich für das Gelingen der Versuche einige Uebung in der ausschließlichen Helligkeitsver-

Tabelle IV. Vergleichung eines farbigen Helligkeitsnachbildes mit dem entsprechenden farblosen.

Helligkeitsverhältniss des verwendeten Grün: 120° Grün + 240° S. = 39,2° W. + 320,8° S. (m. V. 2,96°).

Tab. IV a. Helligkeitsnachbild von Grün neben Weiß.
120° Grün + 240° S. neben 120° W. + 240° S. 15^{sec.} fixirt.

Objectiv Helligkeit der ursprünglich weißen Hälfte des Sehfeldes	40° W. + 320° S.	60° W. + 300° S.	90° W. + 270° S.	120° W. + 240° S.	180° W. + 180° S.
Qualität der ursprünglich grünen Hälfte des Sehfeldes bei subjectiver Helligkeitsgleichheit mit der anderen Hälfte	6,88° W. + 33,12° Gr. + 320° S. (m. V. 3,6°)	18,26° W. + 41,74° Gr. + 300° S. (m. V. 0,74°)	32° W. + 58° Gr. + 270° S. (m. V. 2°)	47,76° W. + 72,24° Gr. + 240° S. (m. V. 0,76°)	71° W. + 109° Gr. + 180° S. (m. V. 0°)
Größe des grünen Sectors, der an die Stelle von Weiß treten muss, um die subjective Differenz auszugleichen	33,12° Gr.	41,74° Gr.	58° Gr.	72,24° Gr.	109° Gr.
Absolute Differenz der Helligkeit beider Hälften in der Ausgleichung	22,80°	28,1°	39°	48,6°	73,2°

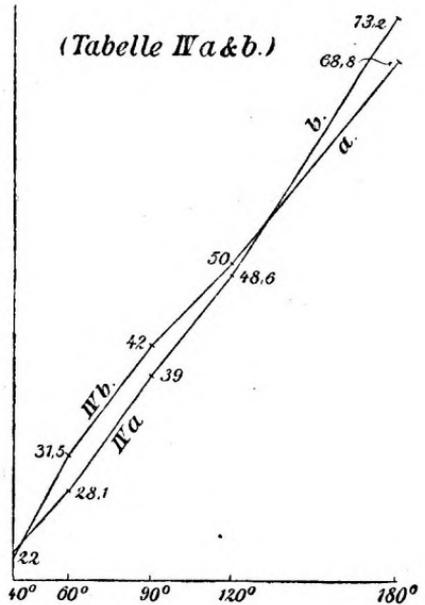
W. = durchsichtige Sektoren
S. = undurchsichtige S.
Gr. = grüne S.

Tab. IVb. Helligkeitsnachbild des Grau (von gleicher Helligkeit wie Grün) neben Weiß
 2 · 19,6° W. + 2 · 160,4° S. neben 2 · 60° W. + 2 · 120° S. 15sec. fixirt.

Objective Helligkeit der ursprünglich weiß en Hälfte des Sehfeldes (wie oben)	40° W. + 320° S.	60° W. + 300° S.	90° W. + 270° S.	120° W. + 240° S.	180° W. + 180° S.
Helligkeit der ursprünglich grauen Hälfte des Sehfeldes bei subjectiver Gleichheit mit der anderen Hälfte	18° W. + 342° S. (m. V. 6,6°)	28,5° W. + 331,5° S. (m. V. 0°)	48° W. + 312° S. (m. V. 2°)	70° W. + 290° S. (m. V. 2°)	111,2° W. + 248,8° S. (m. V. 9,4°)
Differenz beider Helligkeiten als Maß des Helligkeitsnachbildes	22°	31,5°	42°	50°	68,8°

gleichung zwischen Farben oder wenigstens zwischen Farben und ziemlich farblosen Helligkeiten erforderlich, worin ich durch frühere Versuche einige Geläufigkeit erlangt hatte. Dabei ist hier überall thatsächlich nur auf die Helligkeitsverhältnisse

Fig. 9.



Rücksicht genommen worden, weil die Farbenwerthe der Nachbilder in dem späteren Theile der Arbeit ihre gesonderte Betrachtung finden werden.

In Tabelle IVa enthält also die erste Horizontalreihe die reagirenden Helligkeiten der ursprünglich weiß en Fläche, die bei der zuerst beschrie-

benen einfachen Einstellung zugleich reagirende Helligkeit war. (Diese Ausgangshelligkeit selbst steht dabei mit $2 \cdot 60^\circ$ Weiß $+ 2 \cdot 120^\circ$ S erst in der vierten Verticalreihe.) Die zweite Horizontalreihe bringt die objectiven Werthe der ursprünglich grünen Fläche, welche diesen Reizen der ersten Horizontalreihe subjectiv gleich erschienen, mit Angabe ihrer mittleren Variationen. Sie sind den bisherigen Darlegungen entsprechend mit Weiß $+$ Grün $+$ Schwarz angegeben, wobei der Schwarzwerth demjenigen der ersten Horizontalreihe natürlich gleich ist. Die dritte Horizontalreihe enthält dann das Maß der Nachbildwirkung in den verschiedenen Stufen zunächst in Graden von Grün ausgedrückt. Die Werthe der vierten Horizontalreihe kommen erst später zur Besprechung.

Man kann schon hieraus ganz allgemein erséhen, ob der Helligkeitswerth des Nachbildes den reagirenden Reizhöhen proportional geht. Hierzu ist ja gar nicht erforderlich, dass man den absoluten Helligkeitswerth der grünen Gelatine selbst kennt. Die Bogenlänge des grünen Ringsectors in der dritten Horizontalreihe muss ja der absoluten Helligkeitsdifferenz der Einstellung proportional gehen. Bei dieser Betrachtung findet man nun, dass in der That eine sehr gute Uebereinstimmung mit dem F.-H.'schen Satze vorhanden ist. In der beigefügten Curve IVa, in welcher die Ordinaten als Maß der Nachbildwirkung eine Verdoppelung der absoluten Helligkeitswerthe dieser Einstellungsdifferenzen darstellen, tritt diese Proportionalität am deutlichsten in einer sehr großen Annäherung an die gerade Linie hervor, die, beiläufig bemerkt, erst nach Abschluss der Versuche selbst festgestellt worden ist.

3. Nun fragt es sich aber, ob sich das Nachbild einer farbigen Helligkeitsdifferenz auch hinsichtlich seines absoluten Werthes ebenso verhält, wie ein Nachbild, das durch die Fixation einer Differenz entsprechender farbloser Helligkeiten entstanden ist. Erst durch Auffindung einer solchen Uebereinstimmung wäre die allgemeinere Regel für diejenigen Thatsachen gegeben, die bereits Martius zum Ausgangspunkt für seine Methode zur Bestimmung der Helligkeit der Farbe genommen hat. Natürlich durfte ich hierbei zur Feststellung der entsprechenden farblosen Helligkeit nicht schon zu einer solchen Nachbildmethode greifen, welche die absolute Helligkeit der Farben danach bemisst, ob dieselben ein aufhellendes

oder verdunkelndes Nachbild erzeugen, wenn sie inmitten einer Umgebung von bestimmter absoluter Helligkeit fixirt werden. Es wäre ja sonst der Helligkeitswerth der farbigen Nachbilder doch schon irgendwie den farblosen Nachbildern entsprechend vorausgesetzt gewesen, was erst allgemeiner zu beweisen war. Die Helligkeit desjenigen Grau, welches zum Vergleich der farbigen und farblosen Nachbildwirkung an Stelle von Grün mit Weiß zusammengestellt werden musste, konnte also nur im unmittelbaren Vergleich des Grün mit farblosen Helligkeiten nach der gewöhnlichen Methode festgestellt werden. Um diese Aufsuchung eines Grau von gleicher Helligkeit wie jenes Grün unter ganz den nämlichen Versuchsbedingungen zu vollziehen, wurde die bisher verwendete bewegliche Scheibe selbst (Fig. 5 der Tafel) mit einer anderen Scheibe aus schwarzem Carton in gleicher Weise wie früher mit den Doppelsectoren verbunden. Die Cartonscheibe, die in Fig. 8 in ihrer Verbindung mit der Gelatinescheibe abgebildet ist, trug zwei ringförmige Ausschnitte von je 90° , welche bei der Combination mit der Gelatinescheibe gerade auf die grünen Ringsectoren passten, und neben diesen Ausschnitten nach der Peripherie zu noch zwei kleinere Ausschnitte von nur je 40° Bogenmaß, eine Ausdehnung, die nach einigen Vorversuchen weit über das zur gleich hellen Graumischung nöthige Maß farbloser Helligkeit hinausging. Bei genauer Deckung der ersteren Ringsectoren mit dem Grün der Gelatinescheibe, welche in Fig. 8 mit Angabe der Ausgangsstellung zu den undurchsichtigen Sektoren der festen Scheibe von je 120° dargestellt ist, entstand also bei der Rotation auf der einen Hälfte des Sehfeldes das nämliche Grün, wie bisher zur Entstehung des Nachbildes; auf der andern Hälfte sah man hingegen ein zunächst wesentlich helleres Grau. Durch Verdrehung der (mit jener Cartonscheibe combinirten) beweglichen Scheibe in Richtung des Pfeiles konnte das Grau verdunkelt werden, indem nun immer mehr von den durchsichtigen Ringausschnitten zu je 40° hinter den undurchsichtigen Theilen der festen Scheibe verschwand. Die grüne Hälfte blieb jedoch constant, weil die grünen Ringsectoren von 90° die Sextanten der festen Scheibe bis zu einer Verdrehung von 30° immer noch mit Grün besetzt hielten. Dieser Umfang der Verdrehung führte jedoch bereits auf ein sehr wesentlich dunkleres Grau. Durch häufige Selbsteinstellung in größeren Pausen unter möglichster Vermeidung

von Fixation wurde die Helligkeit des Grau, welche derjenigen des Grün (mit $2 \cdot 60^\circ$ Grün) gleich erschien, als $2 \cdot 19,6^\circ$ Weiß ermittelt. Die mittlere Variation war verhältnissmäßig gering und betrug $2,96^\circ$, ein Beweis für die Bestimmtheit des Helligkeitseindruckes, welchen das Grün hervorrief, das trotz seiner Dämpfung durch den Episkotister noch sehr gut gesättigt erschien.

4. Ein Grau von dieser Helligkeit wurde nun an der Stelle jenes Grün neben dem Weiß (von einem Drittel der Gesamthelligkeit) ebenfalls 15 Secunden lang fixirt, worauf die Nachbildwirkung auf den nämlichen reagirenden Helligkeitsstufen wie vorhin beim farbigen Nachbild gemessen wurde. Zu diesem Zwecke war nur die bewegliche Gelatinescheibe mit den grünen Ringsectoren durch eine solche mit undurchsichtigen Ringsectoren von je $19,6^\circ$ an der nämlichen Stelle ersetzt worden. Die feste Scheibe trug für die Messung auf den vier unteren Helligkeitsstufen wieder zwei durchsichtige Sextanten, für die oberste Helligkeitsstufe zwei durchsichtige Quadranten. Auch die Doppelsectoren wurden für die entsprechenden Helligkeitsstufen in analoger Weise aufgesetzt wie bei der Messung des farbigen Nachbildes. Fig. 9a der Tafel zeigt die Ausgangslage der einfachen beweglichen Scheibe für die Einstellung auf der Ausgangshelligkeit der ursprünglichen weißen Hälfte selbst, d. h. also für die vierte Stufe von unten her. In Fig. 9b ist der Doppelsector von 30° aufgesetzt, der nach Entstehung des Nachbildes durch die Verdrehung in Richtung des Pfeiles die Messung auf der zweituntersten Helligkeitsstufe ermöglicht. Endlich sieht man wieder in Fig. 9c die Combination mit einem Doppelsector von mindestens 30° , welche nothwendig ist, um die Messung auf einer höheren Helligkeitsstufe als der Ausgangshelligkeit ausführen zu können. Die außen angesetzten Kreisbögen, welche jederzeit in der Darstellung die Stellung der undurchsichtigen Sektoren der festen Scheibe angeben, zeigen hier die Quadranteneintheilung, von welcher zunächst in Folge einer entsprechenden Befestigung der Doppelsectoren der beweglichen Scheibe wieder nur je 60° zur Geltung kommen. Die Verdrehung in Richtung des Pfeiles lässt dann wieder eine Gleichheitseinstellung zu, bei der die reagirende Helligkeit der ursprünglichen Fläche um die Hälfte gestiegen ist.

Die Resultate dieser Versuche, die im Anschluss an die eigene

Messung des farbigen Nachbildes natürlich ebenfalls nur von mir selbst ausgeführt zu werden brauchten, sind in Tabelle IVb zusammengestellt. Dieselbe ist in analoger Weise wie IVa ausgefüllt. Die obere Horizontalreihe enthält die nämlichen Werthe wie dort, wegen der UeberEinstimmung der reagirenden Helligkeiten (der ursprünglich weißen Hälfte des Sehfeldes) mit den damaligen Helligkeitsstufen. Die zweite Horizontalreihe zeigt den objectiven Werth der ursprünglich grauen Hälfte des Sehfeldes in den verschiedenen Stufen der GleichheitsEinstellung, während die dritte Horizontalreihe das Maß des Helligkeitswerthes der Nachbildwirkung als Differenz der beiden anderen Reihen enthält. Die geringen mittleren Variationen lassen auch hier eine hinreichende Genauigkeit der Messungen unter den gegebenen Bedingungen annehmen.

Aus diesen Resultaten sind aber natürlich die absoluten Helligkeitswerthe der Projectionsfläche, in welchen man das Nachbild jeweils ausglich, nicht so unmittelbar abzuleiten wie bei den früheren Pigmentversuchen durch Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses zwischen dem schwarzen und weißen Pigment nach der Kirschmann'schen Methode. Bei kleinen Episkotister-Vorrichtungen, wie sie bisher gewöhnlich zur Verwendung kamen, ist zwar bei völligem Ausschluss anderer Lichtquellen und möglichster Herabsetzung der Reflexion im Raum die Annahme zulässig, dass die Helligkeit der undurchsichtigen Sektoren verschwindend klein ist. Die absolute Helligkeit der Mischung kann also in diesem Falle unmittelbar in der Größe der durchsichtigen Sektoren angegeben werden. Da jedoch bei unserer Anordnung die Wirkung des Episkotisters auf einer sehr großen Fläche sich entwickelte, und außerdem der Raum nicht von lauter schwarzen, reflexionslosen Flächen begrenzt war, so kommt zur höheren Helligkeitsstufe immer noch der nach oben hin gleichfalls wachsende Zuschuss hinzu, welcher aus dem reflectirten Licht der höheren Intensität resultirt.

Die objectiven Helligkeitsdifferenzen, welche die Nachbildwirkung in den verschiedenen Stufen ausgleichen, werden allerdings von diesem Zuschuss nicht beeinflusst, da ja kein Grund für die Annahme besteht, dass die beiden Hälften des Sehfeldes wesentlich verschieden vom reflectirten Lichte erhellt werden. Nur die reagirenden Helligkeiten, auf die sich jene Differenzen als zugehöriger Nach-

bildwerth beziehen, müssen nach oben hin ungefähr dem arithmetischen Mittel der Helligkeiten beider Sehfeldhälften proportional vergrößert werden. Durch diese Rectificirung derjenigen Werthe, welche in der zugehörigen Curve die Abscissen bilden, wird aber natürlich nur der relative Maßstab der Abscissen gegenüber den Ordinaten geändert, welcher für die Erkenntniss der Gültigkeit des F.-H.'schen Satzes belanglos ist. Die Linie würde also gegen die Abscissenaxe etwas flacher verlaufen müssen, als sie bei Verwendung der ersten Horizontalreihe als Abscissenwerth mit Verdoppelung der Ordinaten in unserer Darstellung thatsächlich verläuft. Die große Annäherung dieser Curve an die Gerade bliebe also erhalten, und man kann daher auch aus diesen Versuchen eine schöne Bestätigung der früheren Resultate mit Pigmentfarben entnehmen¹⁾. Alles, was an jener Stelle sonst noch zur Discussion der Werthe gesagt ist, gilt natürlich bei der principiellen Uebereinstimmung der Methode auch hier.

5. Rechnet man nun (ohne weitere Rectificirung der Tabellenwerthe) die Helligkeitswerthe des Nachbildes von Grün neben Weiß nach der Gleichung, die vorher für die Helligkeit des Grün durch Vergleichung mit Grau gewonnen wurde, in die absoluten Helligkeitswerthe um, so erkennt man sofort die gute Uebereinstimmung derselben mit denjenigen Werthen, die zuletzt für das Nachbild von der entsprechenden farblosen Helligkeitsdifferenz abgeleitet wurden. Diese absoluten Helligkeitswerthe des farbigen Helligkeitsnachbildes, welche der dritten Horizontalreihe in Tabelle IVb entsprechen, sind nun in der vierten Horizontalreihe von Tabelle IVa eingetragen. Zur besseren Veranschaulichung dieser großen Aehnlichkeit der entsprechenden Werthe sind beide Curven nach gleichem Helligkeitsmaß in das nämliche System eingezeichnet, wodurch dem prüfenden Blick andererseits auch wiederum nicht die gegenseitigen Abweichungen unterschlagen sind. Bei der Genauigkeit, die vorläufig erreicht worden ist, kann natürlich kein absolutes Zusammenfallen beider Curven erwartet werden, auch wenn die Wirkungen selbst thatsächlich vollkommen zusammenfielen. Schon die Herstellung des

1) Jedenfalls sind diese Messungsfehler für die Vergleichung des farbigen und farblosen Helligkeitsnachbildes völlig belanglos. Denn in beiden Reihen ist die Menge des reflectirten Lichtes für die nämlichen reagirenden Helligkeitsstufen die gleiche.

undurchsichtigen Sectors, der ein Grau von ganz der nämlichen Helligkeit wie diejenige des Grün mischen lassen soll, ist von vornherein gewissen Ungenauigkeiten unterworfen. Die Zufälligkeit der Abweichungen, welche bei Steigerung der Genauigkeit und der Versuchszahl eine wachsende Uebereinstimmung erwarten lässt, ersieht man vor allem aus der wechselnden positiven und negativen Abweichung der Einzelversuche, die hierbei verrechnet wurden. Außerdem scheint die Curve des farbigen Nachbildes noch etwas genauer dem F.-H.'schen Satze zu folgen und die Hauptrichtung zu bestimmen, von welcher die Curve des farblosen Nachbildes nach oben und unten abweicht. Nachdem aber durch frühere Versuche für die farblose Nachbildwirkung ebenfalls die genauere Befolgung des F.-H.-schen Satzes mit zahlreichen Versuchen nachgewiesen ist, kann man ziemlich sicher annehmen, dass sie sich auch hier der vom farbigen Nachbild eingehaltenen Geraden in Wirklichkeit ebenfalls noch mehr annähert. Eine Häufung der Versuchszahl in der zweiten Gruppe müsste allerdings zuerst auch wieder eine Häufung der Versuche für das Nachbild von Grün um der vollen Vergleichbarkeit der Resultate willen voraussetzen.

Diese nahe Uebereinstimmung des Helligkeitswerthes eines farbigen Nachbildes mit dem Nachbild einer entsprechenden farblosen Helligkeitsdifferenz, die hier an einem ganz beliebigen Falle eingehender nachgewiesen worden ist, bildet zugleich eine wichtige Bestätigung für die Selbständigkeit des Helligkeitsfactors in der Lichterregung überhaupt, welche in allen neueren Farbentheorien auf Grund allgemeinerer Erfahrungen angenommen worden ist. Auch findet hier jene Selbständigkeit nicht etwa in der bloßen Möglichkeit und Sicherheit einer gesonderten Helligkeitsvergleichung ohne Rücksicht auf die anderen Farbeigenthümlichkeiten ihren Ausdruck, sondern in einer besonderen Wirkung, die sich an diesen Helligkeitsfactor anschließt und völlig unabhängig von der ursprünglichen Farbenqualität eine besondere Messung zulässt. Dabei ist jene Messung sogar noch viel eindeutiger als jene unmittelbare Helligkeitsvergleichung der ursprünglichen Farben, da bei den beschriebenen Gleichheitseinstellungen der Farbencharakter (durch die Herabsetzung der ursprünglich fixirten Farbe einerseits und durch die gleichfarbige Induction der anderen Sehfeldhälfte andererseits) in beiden Vergleichsobjecten viel weniger differirt.

Es geht auch nicht an, diese selbständig messbare Wirkung in der Weise in die chromatische Componente der Erregung mit hineinzunehmen, dass man nach Art der Helmholtz'schen Farbentheorie die entstandenen Differenzen der Helligkeitserregbarkeit aus den veränderten Erregbarkeiten der einzelnen Grundfarben abzuleiten sucht. Es werde z. B. ein Theil des Sehfeldes mit schwachem, der Grundfarbe möglichst entsprechendem Grün erfüllt, ein anderer hingegen mit möglichst reinem Roth von größerer Intensität. Man würde alsdann ein dunkles Grün neben einem helleren Roth fixiren und infolgedessen ein Helligkeitsnachbild erhalten, welches das vorher grüne Feld heller, das ursprünglich rothe Feld dunkler sehen ließe, und zwar um ganz bestimmte Helligkeitseinheiten, die für alle reagirenden Reize übereinstimmen müssten. Auch für reines Grün als reagirende Fläche müsste dies zutreffen. Das objectiv gleichmäßige Grün müsste also auf der vorher von reinem Roth getroffenen Stelle dunkler gesehen werden, als auf der schon vorher fortwährend von reinem Grün gereizten Stelle, wenn es diesem subjectiv helleren Grün auch hinsichtlich seiner Sättigung überlegen ist. Nur bei Projection des Nachbildes auf reines Roth würde die vorher fortwährend schon von Roth gereizte Stelle nicht nur die weniger gesättigte, sondern auch die dunklere Fläche sein. Der Vorsprung hinsichtlich der Helligkeit, der bei Projection auf reines Grün an der von Grün »ermüdeten« Stelle stattfindet, wäre auch nicht etwa mit Beziehung des Eigenlichtes zu erklären, da ja an der einen Stelle Grün und Violett sich ebenso erholen konnte wie das Roth und Violett an der anderen. Es wäre also höchstens an die größere Ermüdung durch die bekanntlich ebenfalls beigezogene größere Miterregung an der ursprünglich intensiver erregten Stelle zu denken. Von der letzteren darf aber deshalb wiederum kein Gebrauch gemacht werden, weil sonst die größere Sättigung des (zwar dunkleren) Grün auf der ursprünglich mit Roth gereizten Stelle nicht mehr erklärt werden könnte. Diese selbständigen Erregbarkeitsveränderungen hinsichtlich der Helligkeit und des Farbengrades werden uns natürlich auch bei der Anordnung zu dem Nachweis analoger Gesetzmäßigkeiten auf dem Gebiete des Farbenwerthes der farbigen Nachbilder noch näher zu beschäftigen haben, denen die weiteren Abschnitte dieser Arbeit gewidmet sind.

Wie schon erwähnt, gebührt G. Martius¹⁾ das Verdienst, diese Selbständigkeit des farbigen Helligkeitsnachbildes zu einer Methode der indirecten Helligkeitsbestimmung von Farben verwerthet zu haben, und bilden meine Versuche dieses letzten Abschnittes zugleich eine volle Bestätigung derselben von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus. Auch diese (mit großer Genauigkeit ausführbare) quantitative Bestimmung der farblosen Helligkeitsnachbilder kann natürlich sogleich zu einer solchen indirecten Bestimmungs- oder Controllmethode verwendet werden²⁾, wenn nur erst einmal möglichst viele farblose Helligkeitsdifferenzen nach den angegebenen Methoden auf die Quantität ihres Nachbildes hin genauer untersucht worden sind.

1) G. Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, a. a. O.

2) Dabei dürfte dann natürlich das farbige Helligkeitsnachbild nicht mit farbiger Gelatine ausgeglichen werden, deren Helligkeitswerth erst gesucht werden soll. Die Ausgleichung müsste vielmehr mit Schwarz, bezw. Weiß erfolgen

(Schluss folgt.)

