

Ueber die quantitativen Verhältnisse des simultanen Helligkeits- und Farben-Contrastes.

Von

August Kirschmann.

Mit 9 Figuren im Text.

I. Einleitung.

1. Eintheilung der Contrasterscheinungen.

Nach den räumlichen und zeitlichen Bedingungen, unter welchen Contrasterscheinungen im Gebiete des Gesichtssinnes auftreten können, lässt sich nachstehende, rein äußerliche Eintheilung derselben aufstellen:

I. Die Contrasterscheinung entspricht hinsichtlich ihrer Localisation im Sehfelde der gereizten Netzhautstelle und wird nach Ablauf der Reizung wahrgenommen. Dies ist der sogenannte successive Contrast, welcher mehr oder minder mit den Nachbilderphänomenen zusammenfällt.

II. Die Contrastwirkung erfolgt in von der Reizung nicht getroffenen Netzhautstellen und gleichzeitig mit der Reizung. Bei diesem simultanen Contrast sind zwei Fälle auseinander zu halten:

- a) Die Contrastwirkung ist blos in der nächsten Umgebung der gereizten Netzhautstelle zu bemerken: Randcontrast¹⁾.

1) Fechner (Ueber die Contrastempfindung, Berichte der kgl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften, mathemat. phys. Classe. 1. Juli 1860, pag. 117) theilt den Randcontrast (Randschein) ein in:

1. decisiven Randschein, rasch sich verlierend, aber doch noch von merklicher Breite,
2. verwaschenen Randschein, sich allmählich verlierend,
3. Randlinie, von fast unmerklicher Breite.

- b) Der Contrasteinfluss tritt in entfernten Theilen auf, ist also nicht an die Berührung gebunden: der eigentliche simultane Contrast.

III. Die unter I und II erörterten Bedingungen treten vereint auf und rufen einen gemischten Contrast hervor¹⁾.

IV. Der Contrast tritt nach der Reizung und auf nicht gereizten Stellen auf. Diese Möglichkeit ist in den mir bekannten einschlägigen Arbeiten nicht berücksichtigt worden, vielleicht weil der auf solche Weise hervorgerufene Contrast am wenigsten Gelegenheit hat, zur Geltung zu gelangen.

V. Der Contrast besteht zwischen den Empfindungen beider Augen: binocularer Contrast²⁾.

Von den vorstehend genannten Contrastformen soll hier nur die unter IIb aufgeführte, der reine simultane Contrast, der Untersuchung unterworfen werden.

2. Ueber Pseudocontrast.

Dass der Contrast etwas Objectives, in den physikalischen Bedingungen des betreffenden Lichteindrucks Gegebenes sei, wie noch Osson³⁾ glaubte und zu beweisen suchte, nimmt nach der endgiltigen Widerlegung dieses Irrthums durch Fechner⁴⁾ Niemand mehr an. Es wäre indessen weit gefehlt, wenn man leugnen wollte, dass die objective Vertheilung des Lichtes zuweilen eine solche sein kann, dass sie den subjectiven Contrastphänomenen aufs täuschendste ähnlich sieht, ja von diesen ohne weiteres gar nicht zu unterscheiden ist. Ich werde dies durch einige Beispiele erläutern.

Wenn man bei tiefem Stande der Sonne, also früh morgens oder einige Zeit vor Sonnenuntergang an einer ausgebreiteten Rasenfläche oder einem Felde mit jungem Getreide vorübergeht und auf diesem seinen Schatten beobachtet, so sieht man den Kopf desselben häufig von einem lichten Saume, wie von einem Heiligen-

1) Wundt, *physiol. Psych.*³ I p. 427; auch Chevreul, *Comptes rendus* 1878 I p. 682.

2) Wundt, *ph. Psych.*³ II p. 183 ff.; auch Fechner, *Abhandlungen der kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften* VII p. 469 ff.

3) Poggendorff, *Annalen* XXVII p. 694 und XXXVII p. 287.

4) ebendasselbst XLIV p. 221 und L p. 433.

scheine umgeben. Gehen mehrere Personen in einiger Entfernung von einander, so sieht jede das seltsame Phänomen nur an dem eigenen Schatten. Weniger deutlich, aber doch sichtbar, tritt diese Erscheinung auch in dunkeln Räumen auf, wenn das Licht durch eine kleine Oeffnung eindringt und nicht so stark ist, dass von den Seitenwänden eine erhebliche Lichtmenge reflectirt werden kann. Es ist diese Beobachtung bei Gelegenheit der später zu berichtenden Versuche über den Einfluss der Größe auf den Contrast im Dunkelzimmer des hiesigen psychologischen Instituts verschiedentlich gemacht worden, wenn eins oder mehrere der weiter unten beschriebenen Diaphragmen hinlänglich weit geöffnet wurden und die experimentirenden Personen ihre auf die gegenüberliegende schwarze Wand projecirten Schatten betrachteten. Man kann übrigens auch sonst bei parallel auffallendem Lichte häufig bemerken, dass der Kopf des eigenen Schattens von einer sich allmählich verlierenden Zone umgeben ist, welche die übrigen Theile der den Schatten tragenden Fläche an Helligkeit, wenn auch nur schwach, übertrifft. Ich habe die nämliche Erscheinung sowohl im hellen Sonnenschein als auch bei Mondlicht beobachtet und will im Nachstehenden eine Erklärung derselben zu geben versuchen.

Jede das Licht völlig unregelmäßig reflectirende, d. h. von jeglicher Spiegelung freie Fläche ist als eine von unendlich vielen, sehr kleinen polyedrischen Körperchen bedeckte Fläche anzusehen. Jedes dieser Polyeder hat eine Anzahl sehr kleiner spiegelnder Flächen. Machen wir zunächst die Annahme, die Polyeder seien regelmäßige geometrische Körper, etwa Dodekaeder oder Ikosaeder. Wenn nun das Licht aus einer bestimmten Richtung kommt, so wird diejenige Fläche eines derartigen Körperchens am meisten zurückstrahlen können, welche am meisten Licht empfängt, d. h. diejenige, welche zur Einfallsrichtung des Lichtes senkrecht steht. Was für ein Körperchen gilt, das gilt auch für die Summe derselben, und zwar auch dann noch, wenn sie nicht reguläre, sondern völlig unregelmäßig gestaltete Polyeder sind. Sind auch die einzelnen Flächen ganz verschieden an Gestalt und Größe, so muss doch die Summe aller zu einer Einfallsrichtung des Lichtes senkrechten Flächen, von welcher Seite das Licht kommen mag, constant sein.

Denn, wäre dies nicht der Fall, besäße vielmehr für irgend eine Einfallrichtung die Summe der zu ihr senkrechten Flächen einen größeren Werth als für andere Richtungen, so handelte es sich nicht mehr um einen Körper von absolut unregelmäßig reflectirender Oberfläche, sondern es läge ein mehr oder minder hoher Grad von Spiegelung vor. Somit kann jede unregelmäßig reflectirende Fläche als ein Aggregat von unzähligen kleinen und unregelmäßig gestalteten Körperchen betrachtet werden, welche jeder beliebigen Richtung im Raume dieselbe Flächensumme zuwenden. Da aber diejenige Richtung, welche zum einfallenden Lichte senkrecht steht, eine größere Menge Licht empfängt, so muss sie auch mehr Licht reflectiren. Es lässt sich leicht nachweisen, dass auch hinsichtlich der aus mehrmaliger Reflexion entspringenden Zurückstrahlung die Einfallrichtung im Vortheil ist. Ebenso wird die Wirkung noch eine Erhöhung erfahren, wenn wir die Körperchen als durchsichtige betrachten und demnach für alle Richtungen nicht Flächen, sondern Flächenpaare in Rechnung kommen.

Wenn somit jede matte Fläche am meisten Lichtstrahlen nach derjenigen Richtung reflectirt, aus welcher sie selber das Licht empfing, so ist für das Auge des Beobachters diejenige Stelle einer Fläche die hellste, welche mit ihm und der Lichtquelle in einer geraden Linie liegt. Eben an diese Stelle aber fällt der Schatten des Kopfes des Beobachters, und es bleiben als relativ günstigste Stellen nur die der directen Umgebung des Schattens übrig.

Dass es unter Umständen zur Bildung mehr oder minder scharf begrenzter Randscheine kommt, wie bei dem in der Morgensonne beobachteten Glorienscheine, rührt daher, dass es sich hierbei nicht um Flächen handelt, welche als ein Aggregat von unendlich kleinen Körperchen anzusehen sind, sondern um eine Zusammenhäufung von Objecten, bei welchen nicht nur die Reflexion, sondern auch die Schattenwerfung in Betracht zu ziehen ist. Stehen wir in der Morgensonne vor einem mit Grün bekleideten Rasen oder einem jungen Gerstenfelde (bei welchem das Heiligenscheinphänomen besonders deutlich zu Tage tritt), so ist es klar, dass wir nicht blos die beleuchteten Halme, sondern auch deren Schatten sehen müssen. Wenn wir die letzteren auch nicht einzeln erkennen können, so tragen sie doch mit ihrer geringeren Helligkeit, welche sich für das

Auge mit der größeren der belichteten Halme mischt, dazu bei, in uns die Vorstellung einer mittleren Helligkeit der Fläche hervorzurufen. Nur an der Stelle, welche mit dem beobachtenden Auge und der Sonne in einer geraden Linie liegt, können wir keine Schatten wahrnehmen. Diese Stelle setzt sich daher für unser Auge nur aus belichteten Theilen zusammen und muss somit ungleich heller erscheinen. Nun ist aber dieser Theil der Fläche selbst durch den Schatten des Kopfes bedeckt. In der Umgebung des letzteren addirt sich also die Aufhellung, welche durch das Wegfallen der Schatten entsteht, zu der oben erörterten aus den Verhältnissen der Reflexion herrührenden, und der Effect wird so ein gesteigerter. Auch sieht man leicht ein, dass, sofern die aus den Schattenverhältnissen resultirende Aufhellung der von der Zurückwerfung des Lichtes herrührenden nicht völlig proportional verläuft — was kaum anzunehmen ist — es zur Bildung einer mehr oder weniger gut begrenzten Zone von größerer Helligkeit kommen muss.

Nicht minder dürfte es leicht zu erklären sein, warum die Erscheinung vorzugsweise bei sehr niedrigem Stande der Sonne auftritt und bei hoher Mittagssonne nicht beobachtet wird. Die tiefstehende Morgen- und Abendsonne verursacht einen langen Schatten, dessen Kopf vom Beobachter weit entfernt ist und daher für ihn nur einen kleinen Gesichtswinkel besitzt. Der Schatten des Kopfes kann daher auch nur einen kleinen Theil der oben geschilderten für Reflexion und Schattenlosigkeit günstigsten Stelle verdecken. Bei hohem Stande der Sonne dagegen nimmt der Kopf des kurzen Schattens einen verhältnissmäßig großen Gesichtswinkel ein und verdeckt daher jene Stelle größtentheils oder ganz.

Wenn wir im Vorstehenden zu zeigen bemüht waren, dass die erwähnte Erscheinung in den objectiven Verhältnissen der Lichtvertheilung ihren Grund hat, so sollte damit keineswegs bestritten werden, dass auch der Contrast sich fördernd an derselben betheiligen könne, besonders was die Bildung einer begrenzten Zone anbelangt. Dass der Einfluss des Contrastes hier jedoch nicht größer ist als bei jedem unter anderen Nebenumständen entstandenen Schatten, geht deutlich genug daraus hervor, dass jeder Beobachter die Erscheinung nur an seinem eigenen Schatten, nicht aber an dem anderer Personen wahrnimmt.

Eine zweite Erscheinung, welche ebenfalls rein physikalischer Natur ist und daher mit dem Contrast nichts zu schaffen hat, die sich indessen häufig mit ihm vermischt, ohne eliminirt werden zu können, ist die folgende:

Man denke sich das Licht in der Richtung des mit a bezeichneten Pfeils (Fig. 1) kommend und einen Körper C treffend, dessen mehr oder weniger spiegelnde Oberfläche $\alpha\beta$ nicht ganz in die Richtung der Lichtstrahlen fällt. Die auf diese Fläche $\alpha\beta$ fallenden Strahlen werden zu einem großen Theile nach einer Stelle γ der Ebene AB reflectirt, und es erhält diese Stelle, welche der Grenze des von dem Körper C geworfenen Schattens $\delta\varepsilon$ um so näher liegt, je geringer der Neigungswinkel zwischen $\alpha\beta$ und der Richtung des Lichtes ist, eine größere Lichtmenge als die übrigen

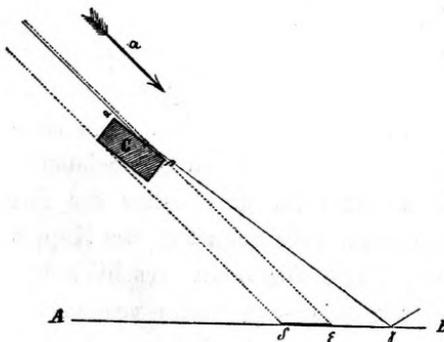


Fig. 1.

so kommt die erhellte Stelle sehr nahe an die Grenze des Schattens und innerhalb des Gebietes des Randcontrastes zu liegen.

Die in Figur 1 dargestellte Anordnung scheint auf den ersten Blick eine gesuchte und willkürliche zu sein. Bei genauerer Betrachtung wird man jedoch den Gedanken nicht abweisen können, dass ähnliche

Verhältnisse überall da eintreten müssen, wo es sich um schattenwerfende rundliche Gegenstände handelt, deren Oberfläche nicht als vollständig matt (d. i. völlig glanzlos) betrachtet werden kann. Eine Kugel, deren Oberfläche etwas spiegelt, ein glänzender, vielleicht polirter Stab werfen einen von einem hellen Saume umgebenen Schatten, und es dürfte im einzelnen Falle sehr schwer werden zu entscheiden, was davon Contrast und daher subjectiv, und was durch die Reflexion verursacht, also objectiv ist. Ich bin auf diesen Fall aufmerksam geworden, als ich an dem Schatten der lackirten hölzernen Fensterkreuze an einigen Stellen auffallend hellen Randcontrast bemerkte, und konnte nicht be-

greifen, warum nur einzelne Stellen und nicht alle, bei welchen der Randcontrast in Frage kam, diese Helligkeit zeigten. Bei genauerem Untersuchen konnte ich aber constatiren, dass jeder der betreffenden helleren Stellen eine der in Figur 1 geschilderten ähnliche spiegelnde Fläche an dem schattenwerfenden Objecte entsprach. Es ist leicht einzusehen, wie diese Verhältnisse bei Schattenversuchen, sofern nicht mit größter Vorsicht dafür gesorgt wird, dass die Oberfläche der schattenwerfenden Gegenstände von jedem Glanze, jeder Spiegelung frei sei, zu einer lästigen Fehlerquelle werden können.

Es wird übrigens noch so manches in Ermangelung besserer Erklärungen dem Contrast zugeschoben, woran er zum Theil oder ganz unschuldig ist.

So theilt von Zahn¹⁾ mit, dass Gelb auf blauem, Grün auf rothem Grunde leichter erkannt werde als umgekehrt Roth auf Grün und Blau auf Gelb, und schreibt die Ursache dieser Verschiedenheit in dem Verhalten der Farben dem Einflusse des Contrastes zu. Indessen liegt hier außer der Contrastwirkung auch eine directe Folge der verschiedenen Helligkeitsverhältnisse zu Grunde.

Jedermann weiß, dass Weiß auf schwarzem Grunde leichter zu erkennen ist als Schwarz auf Weiß²⁾. Dies hat folgenden einfachen Grund. Wenn ich ein schwarzes Quadrat von 1 cm Seite auf ein weißes Quartblatt von 20 cm Seitenlänge lege, so ist die Gesamthelligkeit beider Objecte — wenn wir die Reflexionsfähigkeit des schwarzen Papiers, welches mit chinesischer Tusche geschwärzt³⁾ sei, = 1, die des weißen Papiers = 23 setzen — = $23 \cdot 399 + 1 = 9178$; bei Abwesenheit des schwarzen Objects beträgt dieselbe $400 \cdot 23 = 9200$. Der Unterschied, welchen das schwarze Quadrat hervorbringt, beträgt demnach $\frac{22}{9200}$ der Gesamthelligkeit. Habe ich dagegen ein schwarzes Blatt von 20 cm Seite, so besitzt dies die Helligkeit 400. Befestige ich darauf einen Quadratcentimeter weißen Papiers, so beträgt die Helligkeit des Ganzen $399 + 23 = 422$. Das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des weißen Objectes bedingt

1) v. Zahn, Sitzungsberichte der Leipziger naturforschenden Gesellschaft, 1877 p. 25; auch Fechner; In Sachen der Psychophysik p. 101.

2) Aubert, Physiologie der Netzhaut p. 73.

3) Philosoph. Studien Band V p. 300.

somit einen Unterschied in der Gesammthelligkeit, welcher sich auf $\frac{22}{400}$ berechnet. Dass aber ein Unterschied von $\frac{22}{400}$ leichter erkannt wird als ein solcher von $\frac{22}{9200}$, ist selbstverständlich.

Ganz ähnlich verhält es sich nun mit den Farben, deren Helligkeiten zu große Verschiedenheiten zeigen, wenn sie auch nicht so weit auseinander liegen wie Schwarz und Weiß. Ich fand für die von mir benutzten Pigmentpapiere die nachstehenden Helligkeitswerthe.

Roth	=	25
Gelb	=	42
Grün	=	36
Blau	=	19 ¹⁾ .

Ein grüner Grund mit rothem Quadrat (Dimensionen wie oben bei Schwarz und Weiß) wird demnach die Gesammthelligkeit $399 \cdot 36 + 25 = 13\,389$ aufweisen, während der grüne Grund allein eine Helligkeit von $400 \cdot 36 = 13\,400$ repräsentirt. Demnach vermindert das rothe Object die Gesammthelligkeit um $\frac{11}{13\,400}$. Ein rother Grund mit grünem Viereck dagegen hat einen Helligkeitswerth von $399 \cdot 25 + 36 = 10\,011$, während die Intensität des rothen Grundes allein nur $400 \cdot 25 = 10\,000$ ausmacht. Es handelt

1) Wird Pariser Schwarz = 1 gesetzt, so finden sich für weiße Papiere und Cartons, wie an anderer Stelle berichtet worden ist, Werthe zwischen 52 und 66. Die Helligkeit farbiger Papiere kann man in nachstehender Weise annähernd ermitteln: Wenn man einer weißen oder grauen Scheibe eine geringe Winkelbreite einer Farbe zusetzt, so wirkt diese in der Mischung nur als Helligkeit und die Scheibe hat, in Rotation versetzt, ein graues Aussehen. Nun kann man mittelst einer zweiten, nur aus schwarzen und weißen Sektoren bestehenden Scheibe dasselbe Grau mischen. So erlangt man eine Gleichung, aus welcher der Helligkeitswerth des Pigmentes gefunden werden kann. Für Grün ist beispielsweise die Gleichung aufgestellt worden:

$$176 w + 184 s = 171 w + 180 s + 9 gr$$

(w = weiß, s = schwarz, gr = grün), woraus, wenn man für Weiß 66, für Schwarz 1 einsetzt, sich die Helligkeit des Grün zu 37,1 berechnet. Aus einer Reihe solcher Gleichungen sind die oben angeführten Werthe gewonnen worden, welchen jedoch wegen der beschränkten Zahl der Versuche und wegen der Unsicherheit dieses rohen Vergleichsverfahrens nur eine approximative Gültigkeit beizumessen ist.

sich also hier um einen Unterschied von $\frac{11}{10\,000}$, der leichter bemerkt werden kann als jener von $\frac{11}{13\,400}$. Noch deutlicher wird die Sache bei den Farben Blau und Gelb. Ein gelber Grund von der angegebenen Größe hat eine Helligkeit von $400 \cdot 42 = 16\,800$. Ist ein blaues Quadrat von 1 cm Seitenlänge darauf befestigt, so beträgt die Gesammthelligkeit $399 \cdot 42 + 20 = 16\,788$; sie ist demnach um $\frac{22}{16\,800}$ herabgesetzt worden. Der blaue Grund dagegen, welcher für sich allein eine Helligkeit von nur $400 \cdot 20 = 8000$ repräsentirt, während sie sich nach Hinzutritt des gelben Objectes auf $399 \cdot 20 + 42$ berechnet, ist um $\frac{22}{8000}$ seiner ursprünglichen Helligkeit aufgehellt worden. Dieser Unterschied ist somit mehr als doppelt so groß als der durch das blaue Quadrat auf gelbem Grunde hervorgebrachte von $\frac{22}{16\,800}$. Seine leichtere Erkennbarkeit ist selbstverständlich und bedarf zu ihrer Erklärung keiner Zuhülfenahme des Contrastes mehr. Nun gelten allerdings die hier angewandten Intensitätswerte nur für die von mir geprüften farbigen Papiere, und auch dies nur annähernd, nicht aber für andere Pigmente und noch viel weniger für das durchfallende Licht bei farbigen Gläsern und dergleichen. Indessen wird man überall, wo man Farben in möglichster Sättigung und Reinheit herzustellen bemüht ist, die Beobachtung machen, dass die gelben und grünen die übrigen an Helligkeit übertreffen, wie ja auch schon das Sonnenspectrum im Gelb und Grün seine größte Intensität aufzuweisen hat. Diese Intensitätsverschiedenheiten aber sollten überall, wo die Farben in ihrem sonstigen Verhalten von einander abweichen, in Rechnung gezogen werden.

Als Pseudocontrast, oder doch mindestens als von objectiven Beleuchtungsverhältnissen mitbedingt müssen auch manche Färbungen der Schatten betrachtet werden. Wenn in den röthlichen Strahlen der untergehenden Sonne oder bei der gelbrothen Farbe des Abendhimmels die Schatten einen bläulichen oder blaugrünen Ton erlitten, so ist das allerdings die Wirkung des Farbencontra-

stes. Wenn dagegen an sonnigen Wintertagen, bei klarem blauem Himmel, wo von einer gelblichen Beleuchtung keine Rede sein kann, die Schatten der Bäume auf den weißen Schneeflächen merklich blau aussehen, so hat dies seinen Grund nicht in irgend einer Contrastwirkung, sondern in der einfachen Thatsache, dass die beschatteten Stellen eben diejenigen sind, welche kein directes, weißes Licht von der Sonne, sondern nur wesentlich blau gefärbtes von dem hellen Himmel erhalten.

Nachdem wir im Vorstehenden gesehen haben, dass hinsichtlich der Unterscheidung dessen, was als Contrastwirkung zu betrachten, und dessen, was auf physikalische Ursachen zurückzuführen ist, die größte Vorsicht geboten ist, erachten wir es als eine der ersten Forderungen bei der experimentellen Untersuchung des reinen simultanen Contrastes, dass der Einfluss jener Pseudocontrastes mit eben so großer Sorgfalt ferngehalten werde, wie die Störungen durch Randscheine und Nachbilder. In dieser Beziehung kann allen den Versuchen, welche mit Schatten von Stäben, mit schmalen Papierstreifen, mit Scheibchen von 10 mm und weniger Durchmesser operiren, der Vorwurf nicht erspart bleiben, dass die genannten Beobachtungsobjecte überall da, wo es sich um mehr oder minder genaue quantitative Bestimmungen handelt, wenig geeignet erscheinen, den obigen Anforderungen gerecht zu werden.

Nach Ausscheidung dieser oft fälschlich dem Contrast zugeordneten oder von ihm nicht zureichend getrennten Erscheinungen können nun als Formen des eigentlichen Simultancontrastes im Gebiet des Gesichtssinnes die folgenden unterschieden werden:

- 1) der Helligkeitscontrast,
- 2) der Sättigungscontrast¹⁾,
- 3) der Farbencontrast,
- 4) der Contrast des Gefühlstones²⁾.

1) Darunter ist die gegenseitige Beeinflussung zu verstehen, welche zwei Lichtempfindungen von gleicher Farbe und Intensität, aber von ungleicher Sättigung auf einander ausüben.

2) Der sich so häufig dem Auge bietende Contrast in der Größenwahrnehmung

Von diesen nehmen die ersten drei ein besonderes Interesse in Anspruch, während der an vierter Stelle genannte Contrast zwischen den die Empfindungen begleitenden Gefühlen wenigstens vorläufig als der exacten Untersuchung nicht zugänglich zu erachten ist, da wir ihn nicht zu isoliren vermögen. Wir können contrastirende Lichtempfindungen erzeugen, welche hinsichtlich ihres Gefühlstones gänzlich indifferent sind, aber wir haben niemals Gesichtsempfindungen, welche nur bezüglich ihres Gefühlstones im Contrast zu einander stehen. So bleiben für die Untersuchung noch Helligkeits-, Sättigungs- und Farbencontrast übrig, von welchen wiederum die beiden letzteren fast nie ohne den ersteren auftreten, aus welchem Grunde denn auch dieser zunächst zum Gegenstande der Untersuchung gemacht zu werden verdient.

Quantitativ besitzt der Contrast (als Unterschied zwischen Empfindungen) nur eine variable Eigenschaft, die Intensität oder Stärke. In Bezug auf diese Stärke des simultanen Contrastes können wir allgemeinere und speciellere Bedingungen unterscheiden.

Als allgemeines Moment möchte ich hier die Abhängigkeit des Contrastes von der Gesamt-Intensität und -Qualität aller im Bewusstsein vorhandenen Helligkeits- und Farbenempfindungen, ganz gleichgültig welche räumliche Lage sie zu einander besitzen, namhaft machen. Ich habe in einer früheren Abhandlung diesen Punkt bereits beiläufig berührt¹⁾. Wir construiren uns auf Grund der jeweilig im Gesichtsfelde befindlichen oder kurz vorher darin befindlich gewesenen Intensitäten ein Helligkeitsmaximum, über welches hinaus eine Contrastaufhellung entweder gar nicht oder wenigstens nicht mehr in wesentlicher Stärke möglich ist. So sehen wir, wenn dunkle Körper sich am hellen Himmel projiciren, keine merkliche Contrastaufhellung der umgebenden Partien des Himmels mehr, weil dieser für uns gewöhnlich das Maximum der Helligkeit repräsentirt. Höchstens bemerkt man einen scharfen linearen Randcontrast (sog. Randlinie nach Fechner), der jedoch

kann hier natürlich keine Stelle finden, da er nicht specifisch dem Gesichtssinne, sondern allen räumlichen Sinnesgebieten eigen ist.

1) Die Helligkeitsempf. im indirect. Sehen. Philosoph. Studien. Band V. p. 481.

successiver Natur ist und in kleinen unwillkürlichen Bewegungen des Auges seinen Grund hat.

In diesem Sinne ist auch die von Lehmann¹⁾ erwiesene und durch Neiglick²⁾ bestätigte Thatsache zu verstehen, dass der Contrast bei einer mittleren Helligkeit der aufzuhellenden oder zu verdunkelnden Fläche seinen Maximalwerth findet. Nicht eine absolute mittlere Helligkeit ist es, die dem Contraste die günstigsten Chancen bietet, sondern eine mittlere Intensität in Bezug auf die zum Vergleich zur Verfügung stehenden, augenblicklich im Bewusstsein wirklich vorhandenen oder als Erinnerungsbilder reproducirten Helligkeitsempfindungen. Die Erinnerungsbilder, denen überhaupt in dieser Beziehung keine sehr große Bedeutung zukommt, treten natürlich um so mehr zurück, je größer die Zahl und Stärke der direct gegebenen Empfindungen ist. Daher kommen sie bei gewöhnlichen Sehverhältnissen, wie bei Tageslicht oder heller Beleuchtung, wenig zur Geltung, mehr aber, wenn Zahl und Intensität der direct gegebenen Lichtempfindungen eine beschränkte ist, wie bei sehr schwacher Beleuchtung, in der Dämmerung etc. Bei Versuchen im Dunkelzimmer wird man immerhin den Erinnerungsbildern einen Antheil an der Construction des Helligkeitsmaximums zuschreiben müssen. Ueberdies darf hier nicht außer Acht gelassen werden, dass gerade was die Intensität der Erinnerungsbilder anbelangt größere individuelle Verschiedenheiten bestehen dürften, indem dieselben bei Personen mit vorzugsweise visuellem Gedächtniss eine längere und intensivere Nachwirkung haben müssen, woraus sich vielleicht manche individuelle Verschiedenheiten in der Wahrnehmung der Contrasterscheinungen erklären lassen.

Zu diesen allgemeinen Bedingungen ist auch die Abhängigkeit der Contrastwahrnehmung von dem ganzen übrigen Bewusstseinszustande zu rechnen. Hierhin gehört die Thatsache, dass wir den Contrast um so besser wahrnehmen, je weniger unsere Aufmerksamkeit von den in Contrastbeziehungen stehenden Empfindungen

1) Lehmann: Ueber die Anwendung der Methode der mittl. Abstufungen auf den Lichtsinn. Phil. Stud., Bd. V. p. 497 ff.

2) Hjalmar Neiglick: Zur Psychophysik des Lichtsinns, Philosophische Studien, Bd. IV. p. 28 ff.

abgelenkt wird oder, was ungefähr dasselbe besagen will, je weniger wir von der sonstigen Beschaffenheit der Objecte wissen.

Die speciellen Bedingungen des simultanen Contrastes dürften sich in folgendes Schema einordnen lassen:

I. Intensive Seite.

- 1) Die Stärke des Helligkeits-, des Farben- und des Sättigungs-contrastes ist abhängig von der Lichtintensität der Objecte.

Die Stärke des Farben- und Sättigungscontrastes ist ferner abhängig:

- 2) von dem Farbenton der contrastirenden Flächen, und
- 3) vom Sättigungsgrade der in Betracht kommenden Farben.

II. Extensive Seite.

Die Stärke des simultanen Contrastes ist abhängig:

- 4) von der Ausdehnung der contrastirenden Flächen, und
- 5) von der Entfernung der Objecte (von einander und vom Auge).

Die quantitativen Verhältnisse des simultanen Contrastes sind seit mehreren Jahren der Gegenstand eingehender Untersuchungen im hiesigen psychologischen Institut. Was die intensive Seite anbelangt, so hat die Abhängigkeit des Helligkeitscontrastes von der Intensität der im Contrastverhältniss stehenden Objecte in den weiter oben citirten Arbeiten von Lehmann und Neiglick eine sorgfältige Behandlung gefunden. Ueber den Einfluss der Sättigung auf die Intensität des Contrastes fehlen, wenn man von den mehr qualitativen Versuchen Rollet's¹⁾ und Bruno Schmerler's²⁾ absieht, exacte Versuche bisher gänzlich.

Bei meinem Eintritt in das psychologische Institut im Herbst 1887 wurde mir von Herrn Prof. Wundt die Aufgabe gestellt, zunächst die extensive Seite der quantitativen Contrastverhältnisse einer experimentellen Untersuchung zu unterziehen. Ich habe seit dieser Zeit unter eifriger Beihülfe meiner Mitarbeiter den Einfluss von Entfernung und Ausdehnung auf die Intensität des simultanen

1) Wiener Sitzungsber. B. LV. II. Abth. p. 743.

2) Wundt, Philosoph. Studien, Bd. I. p. 379.

Contrastes möglichst eingehend zu ermitteln gesucht. Indem ich mich nunmehr anschieke, die Resultate dieser Versuche zu veröffentlichen, kann ich mir nicht verhehlen, dass dieselben nicht in dem Maße erschöpfend sind, dass sie nicht der Erweiterung und Ergänzung bedürften; wohl aber dürften sie im Stande sein, über die Beziehungen, welche zwischen dem simultanen Contrast und den räumlichen Eigenschaften unserer Gesichtswahrnehmungen bestehen, einiges Licht zu verbreiten und von den auf diesem Gebiete herrschenden Verhältnissen, wenn auch nur in groben Zügen, ein vorläufiges Bild zu entwerfen. Ich werde im Folgenden zunächst den Einfluss der Größe der Objecte auf die Stärke des Contrastes behandeln, während in einer Fortsetzung dieser Arbeit der Einfluss der Entfernung, worüber mir bereits ein in zwei Jahren gesammeltes umfangreiches, aber doch noch der Ergänzung und Sichtung bedürftiges Versuchsmaterial vorliegt, zur Besprechung gelangen wird. In dem letzten Theile der vorliegenden Arbeit soll dann aber noch die Abhängigkeit des simultanen Farbencontrastes von der Sättigung einer messenden Untersuchung unterworfen werden.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Professor Wundt, dem ich nicht nur die Anregung zu dieser Arbeit, sondern auch so manchen fördernden Rath und Beistand verdanke, meinen wärmsten Dank auszusprechen. Ebenso sage ich meinen geehrten Herren Mitarbeitern, welche sich als Experimentatoren und Beobachter an diesen Untersuchungen betheiligten, meinen besten Dank für ihre gütige und ausdauernde Mitwirkung.

II. Die Abhängigkeit des simultanen Contrastes von der Ausdehnung.

Schon aus einfachen mit farbigen Papierstückchen verschiedener Größe angestellten Versuchen geht deutlich hervor, dass für die Stärke der Contrastwirkung die Ausdehnung der Objecte, zwischen welchen die Contrastbeziehungen bestehen, nicht ohne Bedeutung ist. Haben wir beispielsweise zwei gleich helle Objecte von ungleicher Größe auf dunkelen Unterlagen von gleicher Helligkeit und Ausdehnung, so erfährt das kleinere der Objecte eine bedeutendere Aufhellung als das größere. Aehnliches ist bei farbigen Flächen zu constatiren. Legen wir graue Papierstückchen von verschiedener

Größe auf gleich große farbige Flächen, so erscheinen zwar alle in der Complementärfarbe, aber diese letztere ist bei dem kleinsten der Objecte am deutlichsten wahrzunehmen. Bei allen diesen Versuchen bleibt es jedoch völlig unmöglich zu entscheiden, welchen Antheil an der Aufhellung der Randcontrast und welchen der eigentliche simultane Contrast besitzt. Nun ist aber der simultane Contrast nicht nothwendig an die Berührung gebunden. Der Helmholtz'schen Ansicht¹⁾, dass isolirte, d. h. nicht an einander angrenzende Eindrücke, keinerlei Contrast-Induction auf einander ausüben, ist Hjalmar Neiglick in der weiter oben citirten Arbeit²⁾ bereits mit Entschiedenheit entgegengetreten. Durch die Isolirung wird, wie Neiglick ganz richtig bemerkt, nur der Grenzcontrast unterdrückt. Jedoch tritt nunmehr ein neuer Einfluss hervor, welcher darin besteht, dass die Intensität des Contrastes auch von der Entfernung abhängig ist. Hat man nun die Objecte soweit von einander entfernt, dass sie sich außerhalb des Bereiches des Randcontrastes befinden, so ist bei Objecten, welche im reflectirten Lichte beobachtet werden, der Contrast in Folge der Entfernung meist so schwach geworden, dass die durch Veränderungen der Größe des inducirenden Objectes verursachten Aenderungen seiner Intensität nicht mehr sicher gemessen werden können. Hierzu kommt, dass wir bei reflectirtem Lichte stets zu viel von der übrigen Beschaffenheit der in Frage stehenden Flächen sehen, was uns, wie weiter oben schon ausgeführt, erheblich an der Wahrnehmung des zwischen den Lichtempfindungen bestehenden Contrastes hindert. Beide Uebelstände sind bei der Anwendung durchfallenden Lichtes vermieden. Sind die durchscheinenden Medien, welche das Licht zu passiren hat, einigermaßen homogen, so sieht man, wenn genügend Sorge getragen ist, dass nichts im Raume erhellt ist außer den zu vergleichenden Objecten, von letzteren nichts anderes als ihre Form und die Qualität und Quantität des von ihnen ausgehenden Lichtes. Ferner ist man bei Anwendung durchfallenden Lichtes in den Stand gesetzt, größere Intensitäten zu benutzen, bei denen die Objecte auch in einiger Entfernung noch einen deut-

1) Helmholtz: Physiologische Optik, p. 414.

2) Philosophische Studien, Band IV, p. 109.

lichen Contrasteinfluss auszuüben vermögen. Aus diesen Gründen entschloss ich mich, bei meinen Versuchen von der Verwendung der sonst zu derartigen Zwecken so vielfach benutzten rotirenden Scheiben abzusehen und den in Fig. 2 veranschaulichten Apparat zu benutzen, welcher mir überdies gestattete, an Stelle der wegen der erheblichen Inconstanz der Intensität und der nicht zu vermeidenden Beimischung farbiger Strahlen niemals völlig einwurfsfreien künstlichen Beleuchtung natürliches Tageslicht, bezw. directes Sonnenlicht zu verwenden.

In eine etwa 16 cm breite und 28 cm hohe Oeffnung in der Thüre des Dunkelzimmers wird eine schwarze Holztafel eingeschoben, welche an den Rändern so fest anliegt, dass kein Licht mehr durchgelassen wird. Diese Tafel trägt drei nebeneinanderliegende, aus Metall (geschwärztem Messingblech) construirte Schieber-Diaphragmen, von denen jedes einzelne nach Art des Aubert'schen Diaphragmas¹⁾ eingerichtet ist. Beide Metallplatten *A* und *B* haben genau

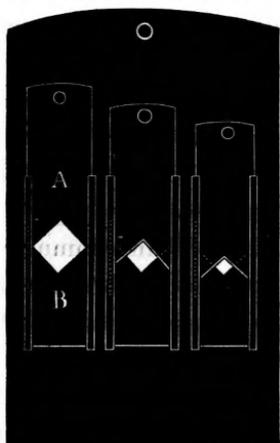


Fig. 2.

gearbeitete rechteckige Ausschnitte. Durch Verschiebung der oberen Platte *A* kann die von den beiden Ausschnitten gebildete Oeffnung unter steter Erhaltung ihrer quadratischen Form nach Belieben vergrößert und verkleinert werden. Die Größe des Quadrats kann aus den Zahlen des auf der Platte *B* angebrachten Maßstabes, welche die Länge der Diagonale in Millimetern angeben, bequem ermittelt werden. Der Flächeninhalt der Ausschnitte war innerhalb der Grenzen von 0 bis $6\frac{1}{2}$ qcm beliebig variirbar.

Vor den Ausschnitten waren mattgeschliffene Glasplatten angebracht, welche bei durchfallendem Tageslicht das Aussehen sehr homogener und absolut farbloser Flächen darboten. Von der Anwendung sogenannter Milchgläser wurde aus folgenden Gründen abgesehen: Erstens besitzen solche Milchgläser, wenn sie nicht mit größter

1) Aubert, Physiologie der Netzhaut, p. 58.

Genauigkeit planparallel geschliffen sind, Stellen verschiedener Dicke und daher auch verschiedener Lichtdurchlässigkeit. Sodann sind sie nicht in dem Maße frei von jeder Färbung, wie es zu unsern Versuchen wünschenswerth erschien. Sowohl bei grauen Gläsern wie bei Milchgläsern erhält das durchfallende Licht bei Anwendung geringer Intensitäten eine röthliche Färbung. Beide Uebelstände sind bei mattgeschliffenen Gläsern vermieden. Es gibt kein besseres Mittel zur Herstellung eines von jeder farbigen Beimischung völlig freien farblosen Lichtes als die Pulverisation eines wasserhellen durchsichtigen Körpers. Das Mattschleifen eines Glases ist nun aber weiter nichts als das Ueberziehen der Fläche mit einer dünnen Schicht außerordentlich feinen Glaspulvers. Ueberdies haben so zubereitete Gläser den Vortheil, dass die mattgeschliffene Fläche das Licht vollständig unregelmäßig zerstreut, so dass auch die geringste Spur von regelmäßiger Refraction ausgeschlossen ist. Was den andern durch die verschiedene Dicke des Glases herbeigeführten Uebelstand anbelangt, so kommt derselbe bei den Mattgläsern gar nicht in Betracht, da hier nicht wie bei den grauen und Milchgläsern die ganze Platte von dem absorbirenden Medium durchsetzt ist, sondern dieses letztere sich nur auf der einen Oberfläche befindet; die Dicke des übrigen völlig durchsichtigen Glases ist dann ganz irrelevant. Meine Platten besaßen übrigens eine Dicke von nur 1 mm oder wenig mehr; es wurde mir dadurch eine Combination mehrerer Platten ermöglicht, ohne dass die Entfernung der matten Flächen, welche einander nicht direct berühren durften, eine zu große wurde. Sämmtliche zu einer Versuchsreihe benutzten Platten wurden aus einem und demselben Stücke geschnitten, welches letztere vorher einer sorgfältigen Prüfung auf seine Homogenität unterzogen wurde.

Die Messung der Lichtdurchlässigkeit dieser transparenten Gläser geschah zunächst mittelst des Polarisationsphotometers. Nach dem Malus'schen Gesetze ist das Verhältniss der beiden zu messenden Helligkeiten gleich dem Quadrate der Tangente des Winkels, um welchen der Analysator gedreht werden muss, um die Gleichheit in der Helligkeit der beiden Ausschnitte herzustellen. Bei Vergleichung von 2 Gläsern vor dem einen Spalt mit einem Glase vor dem andern trat die Gleichheit ein bei einer Drehung von:

- für Prys (Mittel aus 8 Versuchen) $38\frac{5}{8}^\circ$,
 » Dr. Dwelshauvers (Mittel aus 14 Versuchen) $36\frac{1}{4}^\circ$,
 » Kristic (Mittel aus 8 Versuchen) $39\frac{1}{2}^\circ$,
 » Kirschmann (Mittel aus 8 Versuchen) $38\frac{5}{8}^\circ$,

woraus sich der Drehungswinkel φ als Durchschnitt aus obigen Werthen zu $38^\circ 23' 2''$,₁₄₃ berechnet. $\operatorname{tg}^2 38^\circ 23'$ aber ist gleich 0,62748. Es lässt demnach eine Mattglasscheibe 0,62748 des empfangenen Lichtes durch.

Wenn ein Glas $\frac{1}{x}$ des empfangenen Lichtes passiren lässt, so geht durch zwei Gläser, welche so combinirt sind, dass ihre matten Flächen nicht auf einander liegen, nur $\frac{1}{x^2}$ hindurch, und das durch drei combinirte Gläser hindurch gelangende Lichtquantum beträgt nur mehr $\frac{1}{x^3}$ von der Menge des auffallenden u. s. f. Man sieht leicht ein, dass unter Umständen noch weitere Lichtmengen verloren gehen können, aber es kann, wenn störende Einflüsse durch Reflexion etc. ausgeschlossen sind, auf keinen Fall mehr Licht durchgelassen werden, als jene Brüche angeben. Mit dieser Ueberlegung stimmen jedoch die Resultate der Messung am Polarisationsphotometer durchaus nicht überein. Für das Verhältnis zwischen vier Gläsern und einem Glase, also für die Durchlässigkeit von drei combinirten Platten, ergaben sich beispielsweise die nachstehenden Werthe für φ :

Prys	(Mittel aus 8 Beobacht.)	$\varphi = 31\frac{1}{6}^\circ$,
Dr. Dwelshauvers	» » 16	» $\varphi = 31\frac{9}{32}^\circ$,
»	» » 20	» $\varphi = 31\frac{6}{8}^\circ$,
Kristic	» » 8	» $\varphi = 30\frac{1}{2}^\circ$,
Kirschmann	» » 12	» $\varphi = 30\frac{1}{12}^\circ$,

woraus sich als Durchschnitt ergibt: $\varphi = 30^\circ 41' 34''$. Das Quadrat der Tangente dieses Winkels beträgt 0,35234, also nahezu das Doppelte von dem, was nach obiger Berechnung resultiren sollte. Was ist nun die Ursache dieses den Erwartungen so ganz entgegengesetzten Ergebnisses? Die Richtigkeit der Ueberlegung, dass die Durchlässigkeit einer Anzahl Platten dem Quadrate der Zahl der Platten umgekehrt proportional ist, ist kaum einem Zweifel unterworfen. Es kann also die Schuld nur am Polarisationsphotometer

liegen. In der That halte ich dieses Instrument für ein zur Messung der Helligkeit transparenter Gläser nur sehr mangelhaft geeignetes Hilfsmittel. Schon bei einer einzigen Platte müssen sich wegen der geringen Ausdehnung der Spalten Uebelstände zeigen, welche, da die Gläser nur vor dem Spalt angebracht werden können, nicht zu beseitigen sind. Ist einer der Spalten des Polarisationsphotometers mit einer Mattglasplatte bedeckt, deren matte Fläche direct auf der Metallplatte liegt, so geht nicht bloß dasjenige Lichtquantum hindurch, welches der Größe der Oeffnung entspricht; es wird vielmehr auf den von der Metallfläche verdeckten Stellen der Platte ein Theil des durchgegangenen Lichtes wieder zurückgeworfen und zwar nach allen Richtungen. Ein Theil dieser Lichtquantität aber gelangt wegen der abermaligen Reflexion an der äußeren Glasfläche zum zweiten Male nach der Spaltöffnung und verstärkt dort die ursprüngliche Helligkeit. Dass eine matte Glasfläche auch auf einer dunkeln Unterlage mehr Licht zurückwirft als vor einem leeren Hintergrund, das erkennt man leicht, wenn man eine solche Platte mit ihrer matten Fläche zur Hälfte auf schwarzes Papier legt, während sich die andere Hälfte vor einem vollständig dunkeln Raum befindet. Beleuchtet man nun die Platte von vorn, so wird man bemerken, dass der auf dem schwarzen Papier ruhende Theil viel heller aussieht als der andere. Man sieht leicht ein, dass die auf diese Weise bewirkte Intensitätsverstärkung um so größer ausfallen muss, je kleiner diese Oeffnung ist. Nun sind aber die Spalten am Polarisationsphotometer nur sehr schmal; der Fehler wird demnach schon verhältnissmäßig bedeutend sein können, und wir haben daher allen Grund, den oben für die Durchlässigkeit eines Glases erhaltenen Werth schon als zu groß zu erachten. Es ist klar, dass bei Anwendung mehrerer Platten der Uebelstand wegen der größeren Möglichkeit der Reflexion noch beträchtlich verschlimmert wird. Und zwar ist hier der Fehler um so größer, je enger der Spalt und je zahlreicher und dicker die Platten sind.

Die Mangelhaftigkeit der photometrischen Bestimmung mittelst des Polarisationsphotometers machte es nothwendig, die in Frage stehenden Platten auch an Ort und Stelle, wo die später zu beschreibenden Versuche ausgeführt wurden, und unter denselben Bedingungen wie bei diesen mittelst des Episkotisters einer photo-

metrischen Untersuchung zu unterziehen. Vor die eine der drei Oeffnungen des oben beschriebenen Diaphragmen-Apparates (Figur 2) wurde eine Glasplatte, vor der anderen wurden deren zwei befestigt (und zwar stets mit der matten Fläche nach unten, d. h. der Oeffnung zugekehrt). Selbstverständlich wurden zuvor unter Anwendung einer gleichen Anzahl Gläser die beiden Diaphragmen auf die Gleichheit ihrer Belichtung geprüft. Das dritte Diaphragma blieb geschlossen. Die Beleuchtung geschah, wie bei den eigentlichen Versuchen, entweder durch zerstreutes Tageslicht oder durch directes Sonnenlicht, welches mittelst eines Heliostaten nach einem $\frac{1}{3}$ m vor den Diaphragmen befindlichen, an einem Rahmen befestigten und etwa $\frac{1}{2}$ m im Quadrat großen Schirme von transparentem Papier geworfen wurde. Vor derjenigen Oeffnung, welche nur mit einem Glase versehen war, rotirte ein später zu beschreibender Episkotister-Apparat, welcher gestattete, die Helligkeit des Diaphragmas um $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{4}$ zu verringern. Der im Dunkelzimmer befindliche Beobachter war, auf einer Erhöhung sitzend, so gestellt, dass sein Auge sich den beiden Lichtobjecten gerade gegenüber befand und er fixirte (binocular) einen Punkt, der mitten zwischen diesen letzteren lag; auch war ihm ein leichtes Auf- und Abgehenlassen des Blickes in der Medianlinie gestattet. Ich halte die binoculare Wahrnehmung bei Untersuchungen, die eine simultane Vergleichung verlangen, für das einzige Mittel, um die Fehler, welche durch die verschiedene Empfindlichkeit der excentrischen Netzhaut auf der nasalen und temporalen Seite entstehen, zu vermeiden. Die Dauer der einzelnen Beobachtung wurde auf wenige Secunden beschränkt; in der Zwischenzeit wurde das Gesichtsfeld des Beobachters, dessen Auge durch einen vorherigen viertelstündigen Aufenthalt im Dunkeln eine hinreichende Adaptation erlangt hatte, gänzlich verdunkelt. Die Helligkeit des nur mit einer Mattglasplatte versehenen Diaphragmas wurde nun nach und nach so weit abgeschwächt, bis beide Objecte dem Beobachter völlig gleich erschienen. Hierbei mussten selbstverständlich auf dem Wege der minimalen Aenderung, erst von einer zu großen, dann von einer zu geringen Intensität ausgehend, eine obere und untere Grenze der Gleichheit ermittelt werden, aus welchen dann das arithmetische Mittel gezogen wurde. Um den bei Erörterung der Messung mittelst des Polarisationsphotometers

berührten Fehler, dessen Größe eine Function von Zahl und Dicke der angewandten Platten und der Ausdehnung der hellen Flächen ist, möglichst zu eliminiren, wurde die Beobachtung bei verschiedener Öffnung der Diaphragmen wiederholt, und es sind die nun folgenden Bestimmungen die Resultate der Mittelziehung aus diesen Beobachtungen. Für die Helligkeit einer Platte ergaben sich für die verschiedenen Beobachter die nachstehenden Werthe:

Prys:	0,553
Dr. Dwelshauvers:	0,575
Kristic:	0,567.

Daraus berechnet sich die Durchlässigkeit im Durchschnitt auf 0,565 des empfangenen Lichtes, also etwas geringer als bei der Messung mit dem Polarisationsphotometer.

Für die Helligkeit von zwei Gläsern ergab sich:

für Prys:	0,324
» Dr. Dwelshauvers:	0,339
» Kristic:	0,336.

Das Mittel hieraus aber beträgt 0,333.

Die aus dem für ein Glas gefundenen Werthe durch die Rechnung gewonnene Durchlässigkeit für 2 Gläser beträgt 0,3192, also nur um ein geringes weniger als das Mittel aus den Beobachtungen. Das bei den Beobachtungen sich geltend machende Plus an Helligkeit dürfte aber auf den immerhin nicht völlig auszuschließenden oben erwähnten Fehler zurückzuführen sein.

Endlich wurde noch eine Bestimmung für drei Gläser vorgenommen, welche folgende Resultate ergab:

Prys:	0,193
Dr. Dwelshauvers:	0,195
Kristic:	0,179.

Das Mittel aus diesen Werthen ist 0,189 und übersteigt den berechneten Werth von $\frac{1}{x^3} = 0,1804$ nur um 0,0086.

Kehren wir nunmehr zu unsern eigentlichen Versuchen zurück. Die Beleuchtung geschah, wie bei der photometrischen Messung, bei einigen Versuchsreihen durch directes Sonnenlicht, welches mittelst eines Heliostaten nach einer etwa $\frac{1}{3}$ m vor der Diaphragmen-Einrichtung aufgestellten transparenten Papiertafel reflectirt wurde. Bei

den übrigen Versuchsreihen wurde einfach zerstreutes Tageslicht angewandt. Hierbei war das dem Diaphragmen-Apparate gegenüber liegende Fenster des Vorzimmers geöffnet und das Rouleau soweit herabgelassen, dass kein directes Licht vom blauen Himmel oder von den Wolken nach den Diaphragmen gelangen konnte. Dem Fenster gegenüber und zu beiden Seiten befanden sich nur die einförmigen und indifferent grauen Wände von Hofgebäuden. Ich muss jedoch darauf aufmerksam machen, dass auch dann, wenn dies nicht der Fall gewesen wäre, sondern wenn durch das Fenster Licht von Gegenständen der verschiedensten Reflexionsfähigkeit eingetreten wäre, die Helligkeit der Diaphragmen bei gleicher Plattenzahl noch dieselbe hätte sein müssen. Zwei nur wenige Centimeter von einander entfernte gleich große Theile einer Ebene empfangen, sofern nicht durch Schatten oder durch Lichtquellen, die so gelegen sind, dass ihre Strahlen nur zu dem einen der Theile gelangen können, eine Störung bewirkt wird, stets die gleiche Lichtmenge. Diffuses Tageslicht ist bei heiterem oder mit einförmigem Grau bedecktem Himmel eine verhältnissmäßig constante Beleuchtung. Ein kleines, dem Auge kaum sichtbares, vor der Sonne vorübergehendes Wölkchen oder eine zwischen Sonne und Heliostat auftretende Veränderung in der Durchsichtigkeit der Luft müssen allerdings auf die Intensität des von directem Sonnenlicht erleuchteten Objectes einen wesentlichen Einfluss haben, ändern aber, abgesehen von den Stellen, wohin sich gerade die Schatten jener störenden Massen projectiren, an der Intensität des zerstreuten Tageslichtes so viel wie nichts.

Die Versuchs-Anordnung war die folgende: Der Beobachter befand sich zunächst eine Viertelstunde bis zwanzig Minuten im Finstern, um die nöthige Adaptation herbeizuführen. Er saß in einer Entfernung von 2,40 m¹⁾ dem oben beschriebenen Diaphragmenapparat gegenüber auf einem Stuhle, welcher auf einer Erhöhung so befestigt war, dass sich das Auge gerade in derselben Höhe befand wie die Gesichtsobjecte. Vor jenem Stuhle stand ein zweiter, zum Auflegen der Hände bestimmt, wodurch eine Fixirung der Haltung ermöglicht war. Da ich aus weiter oben schon auseinander gesetzten Gründen stets binocular beobachten ließ, so konnte ich

1) Wo andere Entfernungen gewählt waren, ist dies in den Tabellen vermerkt.

die Blickrichtung des Auges nicht durch geschwärzte Röhren fixiren, sondern war auf die angedeutete Art der Constanthaltung der Visirlinie angewiesen. Eine Einengung des Gesichtsfeldes durch eine direct vor den Augen angebrachte Doppelöffnung schien mir nicht geboten, um so weniger als es hier auf eine Verschiebung der Augen um ein paar Millimeter überhaupt nicht ankam. Eine Verschiebung des Kopfes um einige Centimeter aber würde sich sofort dadurch documentirt haben, dass das eine der zu vergleichenden Objecte für den Beobachter durch den Ring des Episkotisters verdeckt worden wäre.

Es wurden nun, zunächst unter Ausschluss der dritten Oeffnung, zwei Diaphragmen für das Auge des Beobachters so eingerichtet, dass sie ihm vollständig gleich an Größe und Helligkeit erschienen. Dann öffnete man

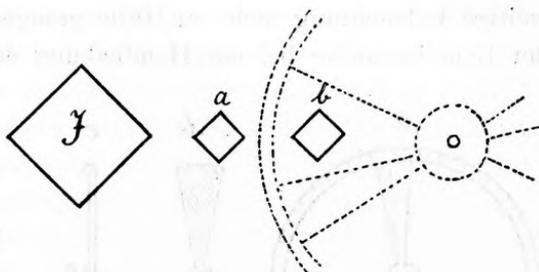


Fig. 3.

das dritte Diaphragma, welches durch eine geringere Zahl von Gläsern bedeckt war als die beiden zu vergleichenden und daher heller erscheinen musste als jene. Dieses hellere Quadrat (*J* in Figur 3) übt nun einen Contrasteeinfluss auf die beiden anderen (*a* und *b*) aus, welcher sich darin äußert, dass jene beiden Objecte weniger hell erscheinen, als sie es ohne die Gegenwart des helleren *J* gethan hatten. Und da die Stärke des Contrasteeinflusses von der Entfernung abhängig ist, so erscheint, wenn man einen in der Mitte zwischen *a* und *b* gelegenen Punkt fixirt, das Quadrat *a* dunkler als *b*, und man muss diesem letzteren mittelst des Episkotisters einen Theil seiner Intensität nehmen, um beide wieder als gleich hell zu empfinden. Der Grad der hierzu nöthigen Verdunkelung durch den Episkotister kann uns so zur Ermittlung der Stärke des Contrasteeinflusses dienen. Als Episkotister verwandte ich theils einfache Sektoren von geschwärzter Pappe, theils den in Figur 4 veranschaulichten Apparat, der ebenso wie der weiter oben beschriebene Diaphragmenapparat von Herrn Mechanikus Krille hierselbst angefertigt worden war. Er besteht aus einem Ring aus

geschwärztem Messingblech, welcher in 360 Grade eingetheilt ist und durch einen fest mit ihm verbundenen Doppelsector von 10° Winkelbreite auf der Achse eines Rotationsapparates befestigt wird. Eine beliebige Anzahl von Sektoren von 10° , 20° und größerer Winkelbreite, theils aus Pappe, theils aus Metall gefertigt, können mittelst derselben Schraube, welche den Ring auf die Achse befestigt, mit jenem verbunden werden. Dieser Apparat gestattet, die Verdunkelung innerhalb der Grenzen von 20° und 360° zu variiren. Da in dem Raume außer den drei Diaphragmen nichts zu sehen war und, um störende Einflüsse zu vermeiden, während eines Versuches anderweitige Beleuchtung nicht zu Hülfe gezogen werden durfte, so war der Experimentator bei der Handhabung des Episkotisters lediglich

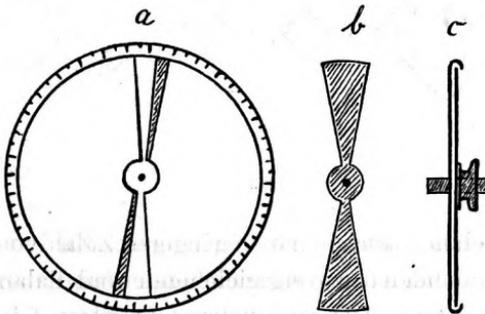


Fig. 4.

auf den Tastsinn angewiesen. Man erlangt jedoch ziemlich rasch die genügende Uebung, um die Episkotisteröffnung von Versuch zu Versuch, auch ohne etwas zu sehen, um minimale Größen ändern zu können. Es kommen allerdings hierbei oft Täuschungen vor, aber die

im Dunkeln bewirkte Verschiebung wird meistens über- und nicht unterschätzt, was auf den Gang der Versuchsreihe wohl etwas verlangsamt, aber keineswegs schädigend einwirkt. Da in der Dunkelheit von der Notirung jeder einzelnen Beobachtung Abstand genommen werden musste, so geschah die nächste Protokollierung dadurch, dass die Stellen der Gleichheit mittelst scharf gespitzten Blei- oder Buntstifts am Rande des Episkotisterringes und der Sektoren markirt wurde, und zwar jedesmal doppelt, d. h. an den zwei einander diametral gegenüberliegenden Punkten, wodurch eine gewisse Controle zur Vermeidung grober Fehler ermöglicht ward. Nach Ablauf eines ganzen Versuches, d. h. einer Ermittlung beider Grenzen der Gleichheit wurden, während der Beobachter zur Erhaltung der Adaptation die Augen verdeckte, nach geöffneter Thür die gefundenen Werthe notirt.

Das Versuchsverfahren war durchaus unwissentlich. Dem Beobachter war, da er sich vor jedem Versuche von der beim Nichtvorhandensein einer »Inducirenden« zu constatirenden Gleichheit der Vergleichsdiaphragmen überzeugen musste, allerdings bekannt, dass die bei dem Sichtbarwerden der Inducirenden sofort auftretende Ungleichheit eine Contrastwirkung war; er hatte aber, sobald der Episkotister einmal in Thätigkeit getreten, weder von der Größe der geschehenen Aenderung noch von der Richtung derselben irgend welche Kenntniss. Das unwissentliche Verfahren ist sicherlich weniger genau, führt aber, wenn es nicht gerade auf eine feinste Bestimmung der Unterschiedsschwelle ankommt, in kürzerer Zeit zum Ziele und bietet überdies in einem Falle wie dem vorliegenden, wo es darauf ankommt, dass der Beobachter seine ganze Aufmerksamkeit den contrastirenden Empfindungen zuwende und von allem andern Bewusstseinsinhalt möglichst abstrahire, eine gewisse Sicherheit gegen manche durch das Urtheil herbeigeführte Fehler. Die Kenntniss der wirklichen Sachlage kann der Contrastwahrnehmung sehr hinderlich sein; in unserem Falle aber war dem Beobachter von der wirklichen Sachlage nichts bekannt. Er hatte nur einen Unterschied zwischen zwei Empfindungen zu beobachten und zu beurtheilen, nämlich den Unterschied in der Helligkeit der beiden unter ungleichem Contrasteeinfluss stehenden Quadrate. Dabei war ihm streng untersagt, das inducirende Quadrat zu fixiren, weil hierdurch störende Nachbilder entstehen mussten. Bei den Vorversuchen kam ein solches unwillkürliches Hinüberblicken nach dem helleren und größeren Objecte noch zuweilen vor; später aber gewöhnte sich der Beobachter bald an die richtige Fixirung. Es sei noch erwähnt, dass zur Prüfung des Beobachters in Bezug auf die Sicherheit seines Urtheils zuweilen Vexirversuche angestellt wurden, welche darin bestanden, dass anstatt minimaler Aenderungen größere Verschiebungen der Sektoren vorgenommen wurden, oder dass man 12—15mal dieselben Reize einwirken ließ, jedesmal durch hörbare Verschiebung der Sektoren eine Aenderung fingirend. Hierbei stellte sich heraus, dass die Anzahl der Einzelbeobachtungen, welche zu einem Versuche nöthig waren, und die Erwartung keinen wesentlichen Einfluss auf die Beurtheilung hatten. Durch die Vexirversuche der erstgenannten Art wurde eine Sicherheit des Urtheils constatirt, welche bedeutender

ist als die bei der Beurtheilung rotirender Scheiben im reflectirten Lichte beobachtete. Ich weiß nicht, ob dies der Adaptation oder der größeren Helligkeit der Objecte zu danken ist. Sicherlich ist auch die quadratische Form der Objecte eine günstigere als die kreisförmige, da man bei letzterer keine rechte Gewähr dafür hat, dass der Beobachter die Objecte im Momente des Versuches auch ganz scharf und deutlich sieht, während bei der quadratischen Gestalt das deutliche Erkennen scharfer Ecken das beste Kriterium einer genauen Accommodation abgibt. Meine Beobachter waren normalsichtig mit Ausnahme des Herrn Dr. Külpe, welcher kurzsichtig ist (Nahepunkt: linkes Auge $12\frac{1}{2}$ cm, rechtes Auge 12 cm; Fernpunkt: linkes Auge 30 cm, rechtes Auge 25 cm) und bei den Versuchen Concavgläser Nr. 12 trug.

Der subjectiven Gleichheit der beiden Vergleichsobjecte entsprach natürlich nicht eine einzige Episkotisteröffnung, sondern eine ganze Zone, deren obere und untere Grenze auf dem Wege minimaler Aenderung in der bei Erörterung der photometrischen Messung weiter oben bereits angegebenen Weise ermittelt wurde. Auffallend war hierbei, dass der Spielraum, innerhalb dessen Gleichheit der Objecte angegeben wurde, und der stets mehrere Winkelgrade (etwa 3—8, also mehr als die doppelte Unterschiedsschwelle) umfasste, bei dem ersten Versuche, trotz der vorher stattgefundenen viertelstündigen Adaptation, immer ganz unverhältnissmäßig groß ausfiel, so dass es den Anschein hatte, als ob die Beobachtungsschärfe bei Beginn jeder Versuchsreihe (wenn zwischen ihr und der vorhergehenden einige Tage verflossen waren) einer neuen Einübung bedürfe.

Hat man in der angegebenen Weise die Stärke des Contrastinflusses für eine bestimmte Größe der Inducirenden ermittelt, so wird dieser letzteren durch Verschiebung des entsprechenden Diaphragmas eine andere Ausdehnung gegeben und für diese das gleiche Verfahren angewandt.

Schon bei den Vorversuchen zeigte sich eine evidente Abhängigkeit der Contrastwirkung von der Größe der Flächen, und es galt nunmehr, durch systematisches Verfahren die Gesetzmäßigkeit dieser Abhängigkeit festzustellen. Dies geschah, indem bei einer constanten Größe der Vergleichsquadrate für jede Ausdehnung der Induci-

renden (in Intervallen von 5 mm Diagonalenlänge) die zugehörige Stärke der Contrastbeeinflussung ermittelt wurde. Die in den Tabellen aufgeführten Werthe sind die arithmetischen Mittel aus den auf dem Wege der minimalen Aenderung nach beiden Richtungen gewonnenen oberen und unteren Grenzwerten.

Zur Orientirung in den Tabellen möge folgende Ueberlegung dienen. Es seien a und b in Figur 5 die zu vergleichenden Intensitäten, C die inducirende.

Nennen wir den Contrast-einfluss, den C auf a ausübt, v , den von C auf b ausgeübten v' , so ist die Helligkeit der beiden Quadrate, welche vor Eintritt der Contrastwirkung gleich i gewesen sein soll, nunmehr $i-v$ bzw.

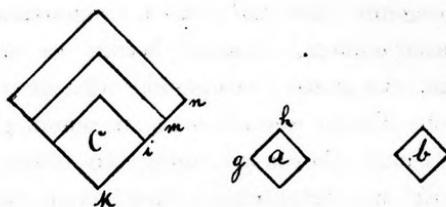


Fig. 5.

$i-v'$. Da wir aber den scheinbaren Helligkeitsunterschied durch den Episkotister ermitteln können, so ist uns $(i-v)-(i-v')$ oder, was dasselbe ist, $v'-v$ bekannt. Es sei also $v'-v = \alpha$, wo α den durch den Episkotister ermittelten Unterschied bedeutet.

Lassen wir nun C wachsen, so dass seine Fläche x mal so groß wird, so ist der Einfluss von $x \cdot C$ auf $a = f(x) \cdot v$, während die Contrastbeeinflussung, welche dem Quadrat b zu Theil wird, $= f(x)v'$ ist. Es werde jetzt mittelst des Episkotisters ermittelt, dass

$$f(x)v' - f(x)v = \beta$$

sei. Dividire ich nunmehr diese Gleichung durch die erste, so ist

$$\frac{f(x)v' - f(x)v}{v' - v} = \frac{\beta}{\alpha}$$

oder:

$$f(x) \frac{v' - v}{v' - v} = f(x) = \frac{\beta}{\alpha}$$

Ebenso ergibt sich für die Größe $x'c'$ des inducirenden Diaphragmas, wenn $f(x')(v' - v) = \gamma$ ist, die Gleichung:

$$f(x') = \frac{\gamma}{\alpha}$$

Für die Größe $x''c''$ ist $f(x'') = \frac{\delta}{\alpha}$ u. s. f.

An dieser Überlegung ist genau genommen zweierlei nicht ganz einwurfsfrei. Zunächst könnte man einwenden, dass innerhalb eines jeden der zu vergleichenden Quadrate, besonders in Fällen wo dieselben schon von einiger Ausdehnung sind, der Contrasteinfluss nicht überall derselbe sei, sondern an der der inducirenden Intensität näher gelegenen Seite ein größerer, an der entfernteren Seite ein geringerer. Nun hat aber unser Gesichtssinn überall die Tendenz, kleine Helligkeitsunterschiede, wenn dieselben stetig in einander übergehen und auf einen Gegenstand bezogen werden, möglichst auszugleichen. Darauf beruht es unter anderem auch, dass wir eine, das ganze Gesichtsfeld oder dessen größten Theil einnehmende, rothe Fläche überall roth zu sehen glauben, obgleich die seitliche Netzhaut überhaupt nicht die Fähigkeit besitzt, die Empfindung Roth zu vermitteln. Erst wenn durch Abgrenzung der indirect gesehenen Theile die Beziehung auf ein Object resp. eine Fläche aufgehoben ist, gewahren wir die Ungleichheit. Ganz ebenso vertheilen wir einen auf eine Fläche von mäßiger Ausdehnung ausgeübten Contrast (besonders wenn der Berührungscontrast ausgeschlossen ist) gleichmäßig über die ganze Fläche, auch wenn der Contrasteinfluss auf die einzelnen Theile derselben nicht der gleiche ist. Uebrigens würde es die Tragweite der oben gemachten Auseinandersetzung in keiner Weise beeinträchtigen, wenn wir uns genöthigt sehen würden, für die gebrauchten Ausdrücke v und v' Summenbezeichnungen wie Σv und $\Sigma v'$ einzuführen.

Der zweite Einwand, welcher möglicherweise gemacht werden könnte, betrifft die Entfernung. Es fragt sich: Findet, wenn C in der angegebenen Weise wächst, eine Änderung in dem Verhältniss der Entfernungen aC und bC statt? Wir glauben, eine wesentliche Änderung kann innerhalb der Grenzen, in welchen die bei Widerlegung des ersten Einwandes erörterte Tendenz der Vereinheitlichung zur Geltung kommt, nicht angenommen werden. In Folge jener Tendenz haben wir den Mittelpunkt des Quadrates C gewissermaßen als den Schwerpunkt der Contrastinduction anzusehen. Dieser Schwerpunkt aber entfernt sich innerhalb der Grenzen der von uns angewandten Diaphragmenöffnung nur sehr wenig von den kleinen Quadraten. Dieser geringen Entfernung des Schwerpunktes der Contrastwirkung steht aber eine ebenfalls geringe mit der

Vergrößerung von C unvermeidlich verbundene Annäherung der einander zugekehrten Ecken der Inducirenden und der Vergleichsquadrate gegenüber (während die Entfernung der Linie kn von der ihr parallelen gh [Fig. 5] stets dieselbe bleibt). Die beiden Aenderungen, Entfernung der Mittelpunkte und Annäherung der Ränder, welche an und für sich schon ganz unerheblich sind, müssen sich überdies in ihren Wirkungen offenbar theilweise aufheben, so dass wir die nun noch bestehende kleine Aenderung vernachlässigen können.

In den Tabellen I, II, III, V, VI und VII ist die Helligkeit der Inducirenden bedeutend größer als die der Vergleichsquadrate, so dass schon bei gleicher Größe der drei Objecte eine ansehnliche Contrasteinwirkung stattfindet. Mit der Ausdehnung der Inducirenden, deren Flächengröße und Diagonaldurchmesser in den beiden ersten Spalten der Tabellen angegeben ist, wächst auch der Contrasteeinfluss. Vergleicht man nun die in der ersten Spalte einer jeden Versuchsreihe verzeichneten Maßzahlen der linearen Vergrößerung mit den in der dritten Rubrik unter der Bezeichnung f aufgeführten Zahlen, welchen die in der früheren Auseinandersetzung berührten Quotienten $\frac{\beta}{a}$, $\frac{\gamma}{a}$, $\frac{\delta}{a}$ u. s. f. entsprechen, so findet man, dass dieselben nur wenig von einander verschieden sind; d. h. der Contrasteeinfluss wächst nahezu proportional der linearen Größe des inducirenden Quadrates. Nur bei sehr geringer Ausdehnung der Vergleichsquadrate (5 mm und 10 mm Diagonale) bleibt er ersichtlich hinter jener zurück, was sich wenigstens theilweise unschwer auf den Einfluss des Randcontrastes und auf die weiter oben erörterten Eigenschaften, welche eine Anzahl von Mattglasplatten vor einer sehr engen Diaphragmenöffnung zeigen müssen, zurückführen lässt. Der Randcontrast verstärkt subjectiv, die geringe Ausdehnung der Oeffnung objectiv die Helligkeit der Vergleichsquadrate, welche in diesem Falle nicht mehr in dem Maße wie bei größerer Ausdehnung einer Verdunkelung durch den simultanen Contrast fähig sind; denn je heller die Vergleichsquadrate, desto geringer der Contrasteeinfluss von Seiten der Inducirenden auf sie.

Die Tabellen VIII, IX und X zeigen, dass die Proportionalität zwischen linearem Wachsthum der Inducirenden und ihrem Contrast-

Tabelle II.

Intensität der Inducirenden (C) = 0,565 des empf. Lichtes.
 „ „ Vergleichsquadrate (a u. b) = 0,189 des empf. Lichtes.

Beobachter: Herr Kristic.

Größe des inducirenden Quadrates C	1. Versuchsreihe Mittwoch d. 31. Juli, Vorm. 11-12 ¹ / ₂ Uhr, Himmel heiter. Größe von a u. b: FI = 24 ¹ / ₂ □ mm; D = 7 mm.		2. Versuchsreihe Mittwoch d. 24. Juli, Vorm. 9-11 Uhr, heller Himmel. Größe von a u. b: FI = 50 □ mm; D = 10 mm.		3. Versuchsreihe Montag d. 29. Juli, Nachm. 2-3 Uhr, Himmel schwach bedeckt, weiß. Größe von a und b: FI = 112 ¹ / ₂ □ mm; D = 15 mm.		4. Versuchsreihe Dienstag d. 24. Juli, Nachm. 2-3 Uhr, Heller Himmel. Größe von a u. b: FI = 200 □ mm; D = 20 mm.		5. Versuchsreihe Dienstag den 30. Juli, Nachm. 2-3 Uhr, heller Himmel. Größe von a u. b: FI = 312 ¹ / ₂ □ mm; D = 25 mm.	
	FI = Flächen- inhalt in □ mm.	D = Dia- go- nale in mm.	Lineare Vergrößerung von C	Verdunkelung von b durch den Episko- pistier in Winkel- graden	Lineare Vergrößerung von C	Verdunkelung von b in Winkel- graden	Lineare Vergrößerung von C	Verdunkelung in Winkel- graden	Lineare Vergrößerung von C.	Verdunkelung von b in Winkel- graden
24 ¹ / ₂	7	1	40	1	43	1	47	1	54	
50	10	1 ² / ₇	50	1 ¹ / ₂	64	1 ¹ / ₃	66	1 ¹ / ₄	64	
112 ¹ / ₂	15	2 ¹ / ₇	64,5	2	77	1 ² / ₃	85	1 ¹ / ₄	87	
200	20	2 ⁴ / ₇	78	2 ¹ / ₇	89	1 ² / ₃	96,5	1 ¹ / ₂	87	
312 ¹ / ₂	25	3 ⁴ / ₇	94,5	3	100	2	132,5	1 ¹ / ₂	87	
450	30	4 ² / ₇	117,3	3 ¹ / ₇	115,5	2 ¹ / ₃	132,5	2 ¹ / ₄	87	
612 ¹ / ₂	35	5	141	3 ⁴ / ₇	115,5	2 ¹ / ₃	132,5	2 ¹ / ₄	87	

Tabelle IV.

Intensität der Inducirenden und Constanten gleich = 0,565 des einfallenden Lichtes (1 Mattglas).

Beobachter: Herr Owen Prys.

Ausdehnung des inducirenden Quadrates <i>C</i> .		1. Reihe			2. Reihe			3. Reihe		
<i>Fl</i> = Flächeninhalt in \square mm.	<i>D</i> = Diagonale in mm.	Lineare Vergrößerung von <i>C</i>	Nöthige Verdunkelung von <i>b</i> in Winkelgraden	<i>f</i>	Lineare Vergrößerung von <i>C</i>	Nöthige Verdunkelung von <i>b</i> in Winkelgraden	<i>f</i>	Lineare Vergrößerung von <i>C</i>	Nöthige Verdunkelung von <i>b</i> in Winkelgraden	<i>f</i>
12½	5	1	—					1	—	
50	10							2	—	
112½	15	1½	weniger als 20	2	1½	—		3	etwa 20	4
200	20	2	34	2½	2	41½	2	4	32	5
312½	25	2½	44½	3½	2½	48	2½	5	40	6½
450	30	3	52½	3¾	3	53	3	6	49	7½
612½	35	3½	59	3⅞	3½	62 ?	3½	7	63	

Tabelle X.

Intensität der Inducirenden = 0,565 des einfallenden Lichtes (1 Glas) } beide grün gefärbt durch eine Combination von 1
 " " Constanten = 0,189 " (3 Gläser) } gelben und 2 blauen Gelatineplatten.
 Beobachter: Herr Dr. med. Rice.

Anschauung des inducirenden Quadrates <i>C</i> .		1. Reihe		2. Reihe		3. Reihe		4. Reihe	
		Lineare Vergröße- rung von <i>C</i> .	Nöthige Verdunke- lung von <i>b</i> in Winkel- graden.	Lineare Vergröße- rung von <i>C</i> .	Nöthige Verdunke- lung von <i>b</i> in Winkel- graden.	Lineare Vergröße- rung von <i>C</i> .	Nöthige Verdunke- lung von <i>b</i> in Winkel- graden.	Lineare Vergröße- rung von <i>C</i> .	Nöthige Verdunke- lung von <i>b</i> in Winkel- graden.
$12\frac{1}{2}$	5	1	23	1	23	1	—	1	48
50	10	$1\frac{2}{3}$	45	$1\frac{5}{23}$	29	$1\frac{5}{23}$	—	1	$1\frac{1}{12}$
$112\frac{1}{2}$	15	$2\frac{1}{3}$	59	$2\frac{5}{16}$	$48\frac{1}{2}$	$2\frac{5}{16}$	49	$1\frac{1}{3}$	52
200	20	$3\frac{5}{23}$	74	$3\frac{3}{23}$	72	$3\frac{3}{23}$	62	$1\frac{2}{3}$	$68\frac{1}{2}$
$312\frac{1}{2}$	25	4	92	$4\frac{5}{23}$	98	$4\frac{5}{23}$	80	$1\frac{2}{3}$	82
450	30	$4\frac{2}{3}$	112	$5\frac{1}{3}$	129	$5\frac{1}{3}$	99	$1\frac{2}{3}$	
$612\frac{1}{2}$	35	$5\frac{1}{3}$	129						

einfluss auch bei einfarbigem Lichte stattfindet. In Tabelle VIII sind die Versuche zusammengestellt, welche mit rothem Licht gemacht wurden. Durch Combination von gelbrother und purpurfarbener Gelatine in ganz dünnen Platten gelang es mir ein Roth herzustellen, welches einerseits viel heller war, als das durch farbige Gläser erreichte, andererseits aber eine so vorzügliche Absorption der übrigen Farben zeigte, dass es, wie die spektroskopische Untersuchung ergab, außer einem ganz schwachen Schimmer im Blaugrünen, dessen Qualität jedoch nicht mehr zu erkennen war, nur die Strahlen des rothen Spektralendes, etwa bis zum Orange passiren ließ. Bei Combination mit einer Mattglasplatte war auch der graue Schimmer verschwunden, so dass wir das nun noch passirende Licht als spektrales Roth bezeichnen dürfen. Weniger günstig verhielten sich die bei den in Tabelle IX und X dargestellten Versuchen angewandten blauen und grünen (Combination aus gelb und blau) Färbungen, bei welchen das Licht anderer Wellenlängen nicht völlig ausgeschlossen werden konnte.

Von besonderem Interesse sind die in Tabelle IV aufgeführten Versuche. Hier hat die Inducirende dieselbe Helligkeit wie die zu vergleichenden Quadrate; sie wird also bei gleicher Größe mit den letzteren keinerlei Contrastwirkung auf diese ausüben können. Wurden ihr aber größere Dimensionen gegeben, so erregte sie, allein in Folge der größeren Lichtmenge, welche sie ihrer größeren Ausdehnung verdankt, einen wenn auch geringen, so doch merkbaren Helligkeitscontrast, was um so auffallender erscheinen muss, als die kleinen zu vergleichenden Quadrate bei gleicher Anzahl Mattgläser stets etwas heller aussahen als das große inducirende. Dies ist eine nicht zu eliminirende Folge des Randcontrastes mit dem sehr dunkelen Grunde, welcher (der Randcontrast) bei geringer Ausdehnung der Quadrate die ganze Fläche überzieht und aufhellt, während er bei größerer Ausdehnung nur einen schmalen Saum bildet und wegen der weiter oben erwähnten Tendenz zur Vereinheitlichung nur wenig oder gar nicht bemerkt wird. Trotzdem nun C deutlich dunkler erschien als a und b , so wurde a durch den von der größeren Lichtmenge von C verursachten Contrast verdunkelt, und es konnte, wenn C die gehörige Ausdehnung gegeben wurde, die Verdunkelung sogar, wie Tabelle IV zeigt, gemessen werden.

Aus den Resultaten der vorstehenden Versuche geht zunächst hervor, dass die Intensität des Contrastes von der Ausdehnung der contrastirenden Flächen abhängig ist. Und zwar nimmt der Contrast-einfluss annähernd proportional der linearen Größe der Inducirenden zu und ab. Eine vollkommene Proportionalität kann selbstverständlich nicht stattfinden, da mit der Aenderung der Größe auch stets eine solche in den Entfernungsverhältnissen verbunden ist. In den Versuchen haben wir diese letztere als unerheblich vernachlässigen können; doch dürfte dieselbe mit Theil haben an der in den Tabellen sich geltend machenden Abweichung von der vollständigen Proportionalität. Wenn demnach eine Fläche bei gleicher Helligkeit und in gleicher Entfernung einen doppelt so großen Contrasteeinfluss ausüben soll als eine andere, so muss sie viermal so groß sein als jene. Oder: Die Contrasteeinflüsse zweier gleich hellen Flächen auf eine dritte von beiden gleichweit entfernte verhalten sich wie die Wurzeln aus ihren Flächeninhalten. Der Flächeninhalt der Inducirenden muss in geometrischer Progression wachsen, wenn der Contrasteeinfluss in arithmetischer Reihe ansteigen soll. Zugleich werfen die Ergebnisse dieser Untersuchung ein interessantes Streiflicht auf die vielumstrittene Frage über die Möglichkeit einer exacten Messung intensiver Größen. Die Stärke des Contrasteeinflusses ist jedenfalls eine intensive Größe. Um einen Contrast von gewisser Stärke zu erzeugen, muss die Inducirende allerdings nicht nur Intensität, sondern auch Ausdehnung besitzen. Wollen wir aber nun den Contrasteeinfluss verstärken, so brauchen wir nicht nothwendig beides zu ändern. Wir können, von einer bestimmten intensiven und extensiven Größe der Inducirenden ausgehend, den Contrasteeinfluss auf den doppelten Werth erhöhen, indem wir der Inducirenden bei Erhaltung ihrer Ausdehnung eine größere Intensität geben, oder aber, indem wir unter Constanz der Intensität die Größe variiren. Dasselbe, was wir durch eine Intensitätssteigerung erreichen, bringen wir, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, auch bei gleichbleibender Intensität durch eine Verstärkung der Ausdehnung zu Stande. Wenn man aber somit für eine gewisse intensive Größe eine andere extensive einsetzen kann, unbeschadet des Erfolges, so ist damit auch jene intensive Größe genau bestimmt, d. h. gemessen.

Wir haben aus den im Vorstehenden berichteten Versuchen ersehen, dass der Contrasteinfluss proportional der Quadratwurzel aus dem Flächeninhalte der Inducirenden wächst. Es wäre jedoch sehr verkehrt, wenn man daraus schließen wollte, dass man durch fortgesetzte Vergrößerung der inducirenden Fläche den Contrast beliebig und unbegrenzt steigern könne. Dies kann schon deshalb nicht der Fall sein, weil für die Stärke des Contrastes nicht die objective Größe der inducirenden Fläche, sondern der Flächeninhalt der erregten Netzhautstelle maßgebend sein muss. Dieser aber kann nicht bis ins Unbegrenzte gesteigert werden. Lassen wir beispielsweise eine vor dem Auge befindliche Ebene, sie sei gerichtet wie sie wolle, von 0 bis ∞ wachsen, so wächst ihre Projection auf der Netzhaut im günstigsten Falle von 0 bis zur Hälfte der inneren Oberfläche des Auges. Die Netzhautbilder sind daher keineswegs »flächentreue« Projectionen, sondern ihre Größe ist von dem Winkel abhängig, den die durch die Knotenpunkte gehenden Strahlen mit einander bilden. Nur in einem ganz bestimmten Falle können wir die Netzhautbilder als wirklich flächentreue Projectionen ansehen: nämlich dann, wenn die Objecte so angeordnet sind, dass ihre sichtbaren Flächen eine Hohlkugel bilden, deren Mittelpunkt so gelegen ist, dass sein Abstand von dem Knotenpunkte des Auges in demselben Verhältnisse zu dem Kugeldurchmesser steht, wie der Abstand des Augenmittelpunktes von dem Knotenpunkte zu dem Durchmesser des Auges. Ist das Auge nicht als eine vollkommene Kugel zu betrachten, so ist anstatt der erwähnten Hohlkugel eine der Netzhaut vollständig ähnlich gekrümmte Fläche zu setzen. Denken wir uns eine solche Kugelfläche den Verhältnissen der deutlichen Sehweite entsprechend construiert, so hat dieselbe schon eine sehr geringe Krümmung, und wenn es sich um Anordnung der Objecte in größerer Entfernung handelt, so ist die entsprechende Kugelfläche bereits so groß, dass wir denjenigen Theil derselben, welcher die Verlängerung der optischen Achse des Auges umgibt, als eine Ebene betrachten können. Aus diesem Grunde dürfen wir auch bei den vorstehend berichteten Versuchen die Abweichung von der Proportionalität zwischen Erweiterung der Diaphragmen und Wachsthum des Netzhautbildes derselben vernachlässigen. Die größte Ausdehnung, welche unsere Objecte

erhalten konnten, war $612 \frac{1}{2}$ qmm (35 mm Diagonale), was bei der geringsten der angewandten Entfernungen (1,80 m in Tabelle V) einen Gesichtswinkel von $1^{\circ} 6' 51''$ ausmacht. Die Netzhautprojection einer geraden Linie, welche auf einer zur optischen Achse senkrechten Ebene gezogen ist, verhält sich zur Länge dieser Linie selbst wie der Bogen des Gesichtswinkels zu der Tangente desselben. Nun weichen aber bei Winkeln von 1° und darunter Bogen und Tangente so wenig von einander ab, dass wir in unserem Falle ihre Verschiedenheit praktisch nicht mehr berücksichtigen können.

Der Contrasteeinfluss kann durch Veränderung der Ausdehnung der contrastirenden Intensitäten oder Qualitäten nicht über eine gewisse Grenze hinaus gesteigert werden. Ein Quadratcentimeter graues Papier erfährt, auf ein rothes Quartblatt gelegt, keine geringere Contrastbeeinflussung als auf einer ebenso gefärbten Unterlage von der Größe eines Foliobogens. Die Grenze, über welche hinaus einer weiteren Vergrößerung der inducirenden Fläche nicht mehr eine Verstärkung des Contrasteeinflusses parallel geht, dürfte wahrscheinlich mit der oberen Grenze der deutlichen Flächenauffassung für das ruhende Auge zusammenfallen; d. h.: hat die inducirende Fläche diejenige Ausdehnung erreicht, bei welcher eine einheitliche Auffassung derselben durch das ruhende Auge ohne Anstrengung und Bewegungsantriebe nicht mehr möglich ist, so ist auch die Grenze des Wachstums der Contrastintensität erreicht.

Die im Vorstehenden mitgetheilte Untersuchung beschäftigte sich bis dahin lediglich mit dem Helligkeitscontrast. Dass auch für den Farbencontrast die Ausdehnung der contrastirenden Objecte von wesentlichem Einflusse ist, haben wir weiter oben bereits erwähnt. Ich halte dieselbe Gesetzmäßigkeit, welche wir bei dem Helligkeitscontrast constatirt haben, auch hier für sehr wahrscheinlich, obgleich die mir in dieser Hinsicht bis jetzt zu Gebote stehenden Versuchsergebnisse an Zahl und Genauigkeit noch zu ungenügend sind, um sichere Schlüsse daraus zu ziehen. Ich will jedoch nicht verfehlen, das hierbei angewandte Verfahren sowie die Beobachtungsergebnisse mitzutheilen.

Die Schwierigkeiten, die sich einer Untersuchung des Einflusses der Ausdehnung auf den simultanen Farbencontrast (unter Ausschluss des Randcontrastes) entgegenstellen, suchte ich durch den

in Figur 6 veranschaulichten Apparat zu überwinden. Derselbe besteht im wesentlichen aus zwei großen, übereinander verschiebbaren Episkotister-Sectoren, von welchen der eine zwei, die gleiche Winkelbreite repräsentirende Ausschnitte besitzt. Der äußere der beiden Ausschnitte ist mit der weiter oben schon erwähnten rothen Gelatine ausgefüllt, während der andere offen geblieben ist. Ist das inducirende Quadrat *C* unseres Diaphragmenapparates roth gefärbt (durch dieselbe Gelatine wie der Sectorenausschnitt), so erscheinen die beiden farblosen Quadrate *a* und *b* durch den Farbencontrast blaugrünlich, und zwar *a* wegen seiner geringeren Entfernung von *C* in höherem Maße als *b*. Man kann nun den beiden beschriebenen

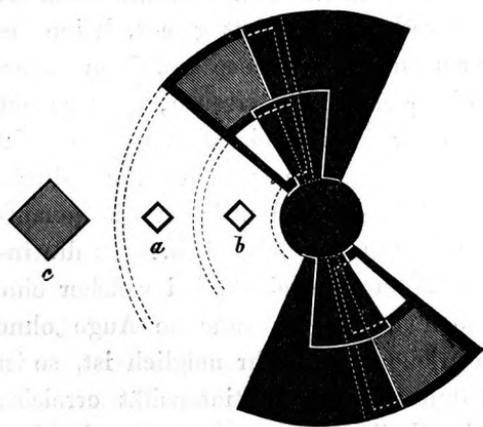


Fig. 6.

Sectoren, welche an der Achse eines durch Uhrwerk getriebenen Rotationsapparates befestigt sind, eine solche Stellung geben, dass bei der Rotation der von dem rothen Ausschnitt gebildete Ring vor das Quadrat *a*, der von dem weißen verursachte aber vor das Quadrat *b* zu liegen kommt, und es ist dann durch Veränderung der Winkelbreite des nicht verdeckten rothen und offenen Ausschnittes derjenige Zusatz von Roth zu suchen, welcher gerade genügt, um das Mehr an Grünempfindung, welche das Quadrat *a* aufzuweisen hatte, eben zu compensiren und somit die subjective Gleichheit der Vergleichsquadrate wieder herzustellen. Da sich aber mit dem Farbencontrast stets auch gleichzeitig ein Helligkeitscontrast bemerkbar macht, so ist noch ein dritter kleinerer schwarzer Sector angebracht, welcher nur bis über die Peripherie des offenen Ausschnittes hinausreicht und daher eine unabhängige Veränderung der Winkelbreite des letzteren gestattet. Es ist dadurch möglich, den subjectiven Intensitätsunterschied der Vergleichsquadrate auszugleichen und somit den Einfluss des Helligkeitscontrastes vollständig zu eliminiren. Man findet nun, dass bei größerer Ausdehnung von

C zur Herstellung der subjectiven Gleichheit der Vergleichsquadrate auch ein größerer Zusatz von Roth zu *a* erforderlich ist. Die Beurtheilung geschieht jedoch nicht mit derselben Sicherheit wie bei dem Helligkeitscontrast, und es macht namentlich die Ausschließung des Helligkeitscontrastes dadurch eine gewisse Schwierigkeit, dass zuweilen noch ein Unterschied zwischen *a* und *b* erkannt wird, ohne dass mit Sicherheit angegeben werden kann, ob er intensiver oder qualitativer Natur sei. Auch erklärten die Beobachter, dass der Farbencontrast mit der Dauer der Beobachtung an Deutlichkeit zunehme, und dass derselbe bei plötzlichem Verschwinden des inducirenden Quadrates noch eine ganze Weile nachdauere. Ob diese letztere Erscheinung auf der Einwirkung von Ermüdung oder auf Nachbildern beruht, oder aber, ob sie unter die in der oben gegebenen Eintheilung der Contrasterscheinungen unter IV aufgeführte Möglichkeit zu rubriciren ist, kann hier nicht entschieden werden.

Ich lasse nun noch zum Schlusse zwei Tabellen folgen, welche die unter gütiger Mitwirkung der Herren Dr. Külpe und Nosiri zu Stande gekommenen Versuche darstellen. Wie man daraus ersehen wird, wächst auch der Farbencontrast mit der Größe des inducirenden Eindruckes, und auch hier findet eine annähernde Proportionalität zwischen der linearen Ausdehnung des inducirenden Quadrates und der Maßzahl der Contrastintensität statt.

Tabelle XI.

Beobachter: Herr Dr. Külpe; inducirendes Quadrat = 1 Mattglas + 1 rothe Gelatineplatte. Vergleichsquadrate = 5 Mattgläser + 90° Episkotisterverdunkelung.

Ausdehnung des inducirenden Quadrates		I. Reihe.			II. Reihe.			III. Reihe.		
		Größe der Vergleichsquad.: <i>Fl</i> = 72 □mm; <i>D</i> = 12 mm.			Größe der Vergleichsquad.: <i>Fl</i> = 32 □mm; <i>D</i> = 8 mm.			Größe der Vergleichsquad.: <i>Fl</i> = 12½ □mm; <i>D</i> = 5 mm.		
<i>Fl</i> in □mm.	<i>D</i> in mm.	Lineare Vergrößerung von <i>C</i> .	Zusatz von Roth zu <i>a</i> im Mittel in Graden.	Durchschnittl. Größe d. Gleichheitszone in Graden.	Lineare Vergrößerung von <i>C</i> .	Zusatz von Roth zu <i>a</i> (Mittel) in Graden.	Durchschnittl. Größe d. Gleichheitszone in Graden.	Lineare Vergrößerung von <i>C</i> .	Zusatz von Roth zu <i>a</i> (Mittel) in Graden.	Durchschnittl. Größe d. Gleichheitszone in Graden.
112½	15	1¼	—		1⅞	17½	9	3	22	4
312½	25	2⅞	22	6	3¼	35	10	5	37	9
612½	35	2½	36½	8	4⅜	47	6	7	61	20½

Tabelle XII.

Beobachter: Herr Nosiri; sonst wie Tabelle XI.

Ausdehnung des inducirenden Quadrates.		I. Reihe			II. Reihe			III. Reihe		
		Größe der Vergleichsquadr.: $F_l = 50 \square \text{mm}; D = 10 \text{mm}.$			Größe der Vergleichsquadr.: $F_l = 32 \square \text{mm}; D = 8 \text{mm}.$			Größe der Vergleichsquadr.: $F_l = 12\frac{1}{2} \square \text{mm}; D = 5 \text{mm}.$		
F_l in $\square \text{mm}.$	D in $\text{mm}.$	Lineare Vergrößerung von C .	Mittlerer Zusatz von Roth zu a in Graden.	Durch- schnittl. Größe d. Gleich- heits- zone in Graden.	Lineare Vergrößerung von C .	Mittlerer Zusatz von Roth zu a in Graden.	Durch- schnittl. Größe d. Gleich- heits- zone in Graden.	Lineare Vergrößerung von C .	Mittlerer Zusatz von Roth zu a in Graden.	Durch- schnittl. Größe d. Gleich- heits- zone in Graden.
112 $\frac{1}{2}$	15	1 $\frac{1}{2}$	19	9	1 $\frac{7}{8}$	20	12	3	28	5 $\frac{1}{2}$
312 $\frac{1}{2}$	25	2 $\frac{1}{2}$	34	12	3 $\frac{1}{8}$	33	10	5	41	8 $\frac{1}{2}$
612 $\frac{1}{2}$	35	3 $\frac{1}{2}$	45	18 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{8}$	54	12	7	57	7 $\frac{1}{2}$

III. Die Abhängigkeit des simultanen Farbencontrastes von der Sättigung.

Ueber den Einfluss der Sättigung auf den Farbencontrast sind von Bruno Schmerler¹⁾ einige ebenso anregende als geschickt ausgeführte Versuche angestellt worden, welche zwar nicht eigentlich den Charakter quantitativer Untersuchungen tragen, deren Resultate jedoch für das Verständniss der Gesetzmäßigkeiten in den Erscheinungen des Farbencontrastes von Wichtigkeit sind. Indessen leidet das Verfahren Schmerler's hinsichtlich der Lösung des hauptsächlichsten der gestellten Probleme an einem schwerwiegenden Mangel. Schmerler sucht denjenigen Sättigungsgrad einer Farbe zu ermitteln, bei welchem die Contrastwirkung auf ein farbloses Object nach subjectiver Schätzung ein Maximum wird. Die Variirung der Sättigung der contrasterregenden Farbe geschieht hierbei in der Regel durch Zusatz von Weiß, zuweilen auch von Weiß und Schwarz. Nun wird aber, wenn eine Farbe mit weißem Licht, mit Schwarz oder irgend einem Grau gemischt wird, in allen Fällen mit Ausnahme des einzigen, wo das Grau und die betreffende Farbe genau gleiche Helligkeit besitzen, durch jenen Zusatz nicht blos der Sättigungsgrad sondern auch die Helligkeit geändert, und die durch jenen Zusatz hervorgerufene Erhöhung oder Verminderung

1) Wundt, Philos. Studien, Band I, p. 379.

des auf das graue Object ausgeübten Contrasteeinflusses darf daher nicht lediglich als eine Folge der Sättigungsänderung angesehen werden. Da Schmerler den Helligkeitswerth der von ihm benutzten Pigmente nicht kannte, so war er natürlich nicht in der Lage, ein der betreffenden Farbe gerade gleichwerthiges Grau herzustellen. Bei seinen Versuchen handelt es sich also nicht um reine Sättigungsänderung, und die Resultate sind daher mit einem durch die gleichzeitige Helligkeitsänderung bedingten Fehler behaftet, über dessen Größe vorläufig nichts bekannt ist. Da mir nun die Aufgabe gestellt war, den Einfluss der Sättigung auf die Intensität des Farbencontrastes durch quantitative und möglichst exacte Versuche zu ermitteln, so musste ich zunächst meine Bestrebungen darauf richten, den oben erwähnten Fehler zu vermeiden und die Helligkeit der bei meinen Versuchen zur Verwendung gelangenden Pigmente festzustellen. Da die weiter oben mitgetheilte Methode mir zu diesem Zwecke zu roh und unzulänglich erschien, so schlug ich folgenden Weg ein.

Auf der Achse eines Rotationsapparates waren drei Scheiben von 10 cm Radius befestigt, von welchen die eine mit einem der weiter unten näher zu beschreibenden farbigen Papiere beklebt, die zweite mit Pariser Schwarz gestrichen und die dritte weiß gelassen war. Alle drei hatten einen von der Peripherie bis zum Centrum reichenden Schlitz, so dass durch Verschiebung der auf der Vorderfläche sichtbaren Sektoren jede beliebige Mischung aus den drei Componenten hergestellt werden konnte. Vor dieser Einrichtung war an einem zweiten Rotationsapparat eine aus gegen einander verschiebbaren schwarzen und weißen Sektoren bestehende kleinere Scheibe von 5 cm Radius angebracht, deren Entfernung von der größeren 11,5 cm betrug. Die große Scheibe hob sich von einer an der dahinter befindlichen Wand angebrachten schwarzen Fläche ab, und in den Pausen zwischen den Einzelbeobachtungen war die ganze Einrichtung dem Auge der 2 m entfernt sitzenden Versuchsperson durch einen vorgeschobenen schwarzen Schirm entzogen. Die Beobachtungsdauer musste, um der Störung durch Nachbilder einigermaßen vorzubeugen, auf zwei bis vier Secunden beschränkt werden, welche Zeit durch die Taktschläge eines auf Secundenintervalle eingestellten Metronoms markirt wurde. Die Aufgabe

des Beobachters bestand darin, anzugeben, ob für sein Auge die vordere, graue Scheibe sich dunkel oder hell von der hinter ihr stehenden größeren farbigen abhob. Es galt nun, diejenige Mischung von Schwarz und Weiß herzustellen, bei welcher der Beobachter jene Entscheidung, »ob heller oder dunkeler als der farbige Grund«, nicht mehr fällen konnte, d. h. bei welcher er keinen Helligkeitsunterschied beider Eindrücke mehr wahrnahm. Meine Beobachter gingen zunächst fast alle mit einem Vorurtheil an diese Versuche, welche sie für ein Seitenstück zu den Münsterberg'schen Vergleichen der Intensitäten von Eindrücken verschiedener Sinnesgebiete hielten¹⁾. Dies ist jedoch ein Irrthum, welcher auch nach einigen Versuchen eingesehen wurde. Zwei verschiedenen Sinnesgebieten angehörende Eindrücke sind, da sie keine gemeinsamen Vorstellungselemente besitzen, auch ihrer Intensität nach völlig unvergleichbar. Zwei verschiedene Farben dagegen oder eine Farbe und ein farbloser Lichteindruck haben immer einen gemeinsamen Bestandtheil, nämlich die Helligkeit, können somit sehr wohl auf die Intensität eben dieses ihnen beiden zukommenden Bestandtheils verglichen werden. Bei einer jeden Vergleichung von sinnlichen Eindrücken abstrahiren wir von den unvergleichbaren Bestandtheilen; je mehr diese letzteren in den Vordergrund des Interesses treten, um so schwieriger wird allerdings die Vergleichung. Bei qualitativ verschiedenen Lichteindrücken treten nun zwar die vergleichbaren Vorstellungsbestandtheile, die Helligkeiten, den unvergleichbaren eigentlichen Farbenempfindungen gegenüber sehr zurück; ihre Vergleichung ist daher allerdings schwierig, aber nicht unmöglich. Im praktischen Leben wird eine solche Vergleichung der Helligkeiten verschiedener Farben sehr häufig vollzogen, so bei der Wahl unserer Kleidung, bei der Ausstattung unserer Räume. Wie leicht sehen wir beispielsweise auf einer Zeichnung oder einer Photographie das Unrichtige, wenn die Helligkeitsverhältnisse der Wirklichkeit nicht entsprechen. Wie schon oben angedeutet, überzeugten sich denn auch meine Beobachter sehr bald von der Grundlosigkeit des angeführten Vorurtheils und erreichten ziemlich rasch eine gewisse Sicherheit in der Beurtheilung. Das Verfahren war bei diesen

1) Münsterberg, Beiträge zur experimentellen Psychologie, Heft 3, S. 56 ff.

Versuchen ein völlig unwissentliches. Es wurden zunächst von 10 zu 10 Grad fortschreitend die Grenzen derjenigen Zone gesucht, innerhalb deren der Beobachter unentschieden blieb, also die Helligkeiten für sein Auge gleich waren; wenn dies geschehen, somit die Lage jener Grenzen ungefähr bestimmt war, so wurden durch mehrmalige Durchmusterung des ganzen Feldes und der anliegenden Partien, wobei von Grad zu Grad weitergegangen wurde, die erwähnten Grenzwerte genauer festgestellt. So fand sich beispielsweise bei der Untersuchung von Blau für das Auge des Herrn Kämpfe (siehe auch weiter unten Tab. XIV) zunächst bei der groben Bestimmung, dass die obere Grenze der Gleichheit oder Unentscheidbarkeit bei einem Grau von 80—90° Weiß und dem entsprechenden Schwarz, die untere dagegen zwischen 70 und 60° Weiß gelegen sei. Bei der genaueren Feststellung, wobei selbstverständlich auch erheblich über diese roh ermittelten Grenzen hinausgegangen werden musste, ergaben sich in 6 Versuchen die nachstehenden Werthe:

Obere Grenze

Winkelbreite des weißen Sectors in Graden.	mittlere Variation.
(80—90°)	} 2 $\frac{1}{3}$ °
84	
80	
82	
80	
78	
78	

Untere Grenze

Winkelbreite des weißen Sectors in Graden.	mittlere Variation.
(60—70°)	} 1 $\frac{1}{3}$ °
68	
64	
70	
70	
64	
66	

Aus diesen Werthen ergibt sich als Mittelwerth für ein Grau, welches bei den angewandten Versuchsbedingungen (Aufstellung, Beleuchtung etc.) mit dem Blau gleiche Helligkeit hat, die Zusammensetzung aus 73 $\frac{2}{3}$ ° Weiß + 286 $\frac{1}{3}$ ° Schwarz. Setzen wir das Weiß des Cartons, wie es die früher angestellten photometrischen Untersuchungen fordern, = 66, das Schwarz = 1, so gilt die Gleichung:

$$360 \text{ Blau} = 73\frac{2}{3} \cdot 66 + 286\frac{1}{3},$$

woraus sich für Blau der Helligkeitswerth 14,30 ergibt. In ganz derselben Weise sind die in Tabelle XIV verzeichneten Werthe gefunden worden und zwar als Mittel von 4—8 Einzelbestimmungen der Grenzen. Nur bei den ersten drei der für Herrn Dr. Leitzmann gefundenen Werthe, sowie bei dem zweiten des Herrn Krüger liegen nur je zwei Bestimmungen der Grenzen zu Grunde. Die von den verschiedenen Beobachtern erhaltenen Helligkeitswerthe für dieselbe Farbe weichen im allgemeinen nicht allzusehr von einander ab; es darf jedoch nicht vergessen werden, dass in der Helligkeitsscala:

Schwarz	=	1,00
Blau	=	14,01
Roth	=	17,57
Grün	=	29,19
Gelb	=	32,33
Weiß	=	66,00

die Einheit nicht etwa einen Winkelgrad bedeutet, sondern ungefähr $5\frac{1}{2}^\circ$ Weiß entspricht.

Die sämmtlichen zu Contrast- und anderen Versuchen benutzten Papiere wurden seiner Zeit in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Leitzmann von mir einer spektroskopischen Untersuchung unterzogen, welche für die hier in Frage kommenden Pigmente bei Beleuchtung durch das Licht des schwachbedeckten (weißen) Himmels die in Tabelle XIII verzeichneten Resultate ergab. Die Scala des Spektroskops war hierbei so eingestellt, dass die Lage der hauptsächlichsten Linien sich folgendermaßen gestaltete:

C	=	$35\frac{1}{2}$
D	=	50
E	=	$67\frac{1}{2}$
b	=	$71\frac{1}{2}$
F	=	85
G	=	120

Charakteristisch ist der geringe Helligkeitswerth für Blau bei dem Beobachter Dr. Leitzmann, welchem ein die übrigen weit

Tabelle XIII.

Farbe des Papiers.	Sichtbarer Theil des Spektrums.	Helligkeitsmaximum.
Scharlachroth	von 36—47; bei 47 scharf abgegrenzt. Von 47—50 ganz schwach gelber Schimmer, welcher bei 50 ebenfalls scharf abschließt.	bei 43
Grün, etwas bläulich	35—80; Von 35—50 schwach, von 50—80 deutlicher.	bei 65
Orange gelb	37—68; alle Farben ziemlich gleichmäßig sichtbar, das Gelb verhältnissmäßig schwach.	bei 50
Blau (Ultramarin), hatte einen Stich ins Violette	55—75 sehr schwach, 75—100 stärker; darüber hinaus das ganze violette Spectrum sichtbar.	bei 100

übertreffender Werth für Gelb gegenübersteht. Würde sich ein Zusammenhang nachweisen lassen, dergestalt, dass ein hoher Helligkeitswerth für eine Farbe einen niederen für die Complementärfarbe bedingte, so ließe sich der angeführte Fall vielleicht aus Uebungs- und Ermüdungseinflüssen erklären. Herr Dr. Leitzmann ist Astronom und als solcher bei seinen Beobachtungen darauf angewiesen, hellere kleine Objecte von orange gelber Farbe auf einem dunkleren ausgedehnten blauen Grunde zu erkennen. Unter solchen Umständen wird sich aber leicht eine größere Empfindlichkeit für die Farbe der zu suchenden kleinen Objecte ausbilden, während für die Farbe des stets das ganze Gesichtsfeld ausfüllenden Grundes eine Art dauernder Ermüdung, also Verminderung der Empfindlichkeit parallel geht. Auch die Resultate der Versuche mit Herrn Dr. Külpe, bei welchem Roth den geringsten, Grün dagegen den höchsten Helligkeitswerth besitzt, scheinen für jene Annahme zu sprechen, während dieselbe in den bei den Beobachtern Krüger und Schubert resultirenden Helligkeitswerthen anscheinend keine Bestätigung findet.

Tabelle XIV.

Versuchsperson.	Roth				Grün				Orangegelb				Blau			
	Mittlerer Helligkeitswerth.	Mittlere Breite d. Gleichheitszone.	m V ¹⁾		Mittlerer Helligkeitswerth.	Mittlere Breite d. Gleichheitszone.	m V		Mittlerer Helligkeitswerth.	Mittlere Breite d. Gleichheitszone.	m V		Mittlerer Helligkeitswerth.	Mittlere Breite d. Gleichheitszone.	m V	
			obere Grenze	untere Grenze			obere Grenze	untere Grenze			obere Grenze	untere Grenze			obere Grenze	untere Grenze
Dr. Kälpe	16,53	14°	1 $\frac{3}{4}$ °	3°	31,24	13°	6°	4°	32,39	11°	3 $\frac{3}{4}$ °	3 $\frac{3}{4}$ °	14,90	19°	1 $\frac{3}{4}$ °	1 $\frac{3}{4}$ °
Dr. Leitzmann	17,34	21	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	28,26	24	2	4 $\frac{4}{5}$	34,39	22	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{7}{8}$	13,46	16 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{4}$	3
Kirschmann	17,20	21 $\frac{1}{2}$	4	5	30,18	25 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5	31,37	16 $\frac{3}{4}$	3 $\frac{2}{5}$	1 $\frac{7}{8}$	13,85	17 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{3}{8}$
Kämpfe	17,04	15	7	5	28,22	18 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5	32,67	11 $\frac{3}{8}$	3 $\frac{2}{5}$	3 $\frac{2}{5}$	14,30	13 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{7}{8}$
Krüger	20,96	13 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{4}{5}$	2	29,08	19	4	4 $\frac{1}{2}$	32,54	20 $\frac{1}{2}$	3	2 $\frac{1}{2}$	14,81	12	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$
Schubert	16,95	18 $\frac{3}{8}$	3 $\frac{3}{8}$	3 $\frac{1}{5}$	28,17	17 $\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{5}$	4 $\frac{4}{5}$	32,74	16 $\frac{3}{10}$	2 $\frac{1}{10}$	2 $\frac{1}{10}$	12,75	9 $\frac{9}{10}$	2 $\frac{3}{10}$	4 $\frac{1}{10}$
Durchschnittl. Werth	17,57	17 $\frac{3}{8}$	3 $\frac{3}{8}$	3 $\frac{1}{5}$	29,19	19 $\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{5}$	4 $\frac{4}{5}$	32,74	16 $\frac{3}{10}$	2 $\frac{1}{10}$	2 $\frac{1}{10}$	14,01	14 $\frac{6}{10}$	2 $\frac{1}{10}$	2 $\frac{1}{10}$

1) m V = mittlere Variation.

Vergleicht man die in Tabelle XIV aufgeführten Helligkeitswerthe mit den weiter oben mitgetheilten, durch eine rohere und ungenauere Methode ermittelten, so zeigt sich bei allen eine bedeutende Verschiedenheit. Da jedoch die in Tabelle XIV aufgeführten Werthe sämmtlich kleiner ausgefallen sind als jene, mithin die Abweichung durchweg] nach derselben Seite stattfindet, so kann dieselbe nicht lediglich auf Fehler in dem Versuchsverfahren zurückgeführt werden, sondern dürfte zum größten Theil darin ihren Grund haben, dass die farbige Scheibe, welche um mehr als einen Decimeter entfernt hinter der kleinen grauen aufgestellt war, sich hinsichtlich der Beleuchtung etwas im Nachtheil befand. Dass dem so war, konnte man ganz deutlich feststellen, wenn man beiden Scheiben die gleiche Zusammensetzung gab; es erschien dann die vordere stets bedeutend heller. Da es nothwendig war, die Messung genau unter denselben Aufstellungs- und Beleuchtungsverhältnissen vorzunehmen, unter welchen die eigentlichen Versuche stattfanden, so ließ sich jener Fehler nicht vermeiden; die ermittelten Helligkeitswerthe der Pigmente gelten daher nicht absolut, sondern nur für die für die eigentlichen Contrastversuche geforderten Verhältnisse.

Es sei noch bemerkt, dass man sich von der annähernden Richtigkeit des gefundenen mittleren Helligkeitswerthes einer Farbe durch ein experimentum crucis in wenig umständlicher Weise überzeugen kann.

Ist beispielsweise bei Herrn K ä m p f e für Gelb gefunden worden :

- 1) 168 w + 192 s bis 186 w + 174 s
- 2) 176 w + 184 s - 180 w + 180 s
- 3) 172 w + 188 s - 184 w + 176 s ,

so beträgt das Mittel hieraus 178 w + 182 s. Ein aus diesen Componenten gemischtes Grau muss also dieselbe Helligkeit besitzen wie das gelbe Pigmentpapier. Wenn ich nun der gelben Scheibe Grau von eben diesem Mischungsverhältniss zusetze, so darf sich bei der Rotation der Scheibe nur die Sättigung, nicht aber die Helligkeit derselben als geändert erweisen. Bestimmt man nun die Helligkeit dieser weniger gesättigten Scheibe durch ähnliche Versuchsreihen wie bei der gesättigten, so dürfen sich, sofern jene erste Bestimmung annähernd richtig gewesen ist, die Grenzen der

Gleichheit nicht wesentlich gegen diejenigen der ersten Bestimmung verschieben. Thun sie das letztere doch, so geht daraus mit Sicherheit hervor, dass wenigstens die eine der beiden Bestimmungen falsch war. Findet dagegen eine mehr oder minder genaue Uebereinstimmung statt, so ist daraus, besonders wenn die Resultate verschiedener gleichwerthiger Beobachtungen einander sehr ähnlich oder gleich sind, mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit zu schließen, dass die Bestimmungen des Helligkeitswerthes der betreffenden Farbe ungefähr das Richtige getroffen haben. In dem vorhin erwähnten Falle des Beobachters Herrn Kämpfe ergaben sich nun aus jener Controllbestimmung, bei welcher die farbige Scheibe aus 180° Gelb, 89° Weiß und 91° Schwarz zusammengesetzt war, die Grenzwerte:

- 1) $162\ w + 198\ s$ bis $176\ w + 184\ s$,
- 2) $170\ w + 190\ s - 180\ w + 180\ s$,

woraus sich der Mittelwerth zu $172\ w + 188\ s$ berechnet, was von dem mittleren Werth der ersten Bestimmung um 6 Grad, also nicht sehr beträchtlich verschieden ist. In ähnlicher Weise sind zu den sämtlichen Bestimmungen, deren Resultate in Tabelle II mitgetheilt wurden, Controllversuche angestellt worden; und es wurden die Ergebnisse derselben, sofern ihre Abweichungen von den Hauptbestimmungen nicht größer waren als die Abweichungen der Hauptbestimmungen unter einander, den Ergebnissen dieser letzteren gleichwerthig gesetzt und zur Gewinnung des Durchschnittswerthes mitbenutzt. Stellten sich zwischen Haupt- und Controllversuchen bedeutende Verschiedenheiten ein — was übrigens nur wenige Male geschah, und zwar wahrscheinlich durch Aenderung in den Beleuchtungsverhältnissen veranlasst, — so wurden die betreffenden Versuche als unbrauchbar erachtet.

Die in Tabelle XIV aufgeführten Helligkeitsbestimmungen geben uns ein Mittel an die Hand, die Sättigung einer Farbe nach Belieben zu variiren, ohne dabei die Helligkeit derselben wesentlich oder merklich zu ändern. Wir setzen der farbigen Scheibe nicht Weiß zu, sondern Weiß und Schwarz zugleich, und zwar in einem solchen Sectorenverhältniss, dass die Mischung bei der Rotation dasjenige Grau ergibt, welches dem Mittelwerthe der Helligkeits-

bestimmung der in Frage kommenden Farbe bei dem betreffenden Beobachter entspricht. Auf diese Weise wird der Fehler auf ein Minimum reducirt, welches außerhalb des Bereichs der Merklichkeit für den Beobachter liegt.

Wenden wir uns nunmehr zu den eigentlichen Contrastversuchen. Im Zimmer No. 6 des psychologischen Instituts war auf einer grauen Wand eine schwarze Fläche von 1,20 m Länge und 0,70 m Breite angebracht. Dieser schwarzen Fläche gegenüber befindet sich das mittlere der drei nach dem Hofe gehenden Fenster, deren Jalousien stets so weit heruntergelassen waren, dass der schwarze Hintergrund und die davor aufgestellten Objecte nur Licht, welches von den den Hof umschließenden grauen Gebäudewänden reflectirt wurde, nicht aber solches von dem hellen Himmel erhalten konnten. Wenn directes Sonnenlicht ins Zimmer gelangte, konnte aus verschiedenen, hier nicht näher aus einander zu setzenden Gründen nicht gearbeitet werden.

Vor der beschriebenen schwarzen Fläche waren zwei Rotationsapparate aufgestellt, welche je eine aus schwarzen und weißen Sektoren bestehende Scheibe von 10 cm Durchmesser trugen. Bewegliche schwarze, weiße und mit farbigem Papier überzogene Sektoren ermöglichten die Herstellung jeder zwischen Schwarz und Weiß gelegenen Helligkeitsstufe von Grau sowie jeder zwischen Schwarz und Weiß einerseits und der vollen Sättigung des betreffenden Papiers andererseits gelegenen Sättigungsstufe einer Farbe. Hinter der einen der beiden Scheiben war eine größere von 18 bzw. 20 cm Durchmesser an einem ähnlichen Rotationsapparat befestigt und zwar so, dass sich die beiden Mittelpunkte, deren

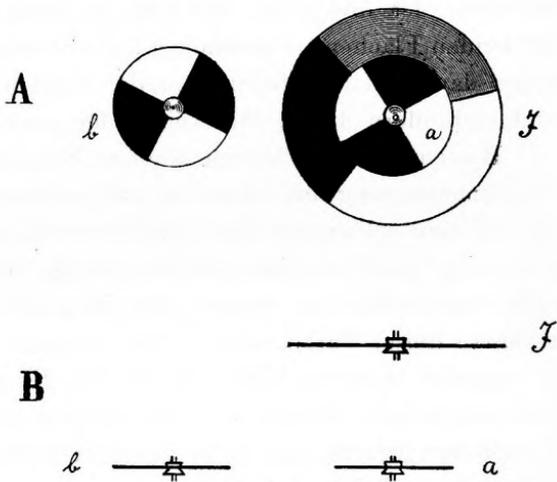


Fig. 7.

Entfernung von einander 11,5 cm betrug, deckten, während der Rand der größeren gerade die Projection einer auf der Mitte des Abstandes der beiden kleineren Scheiben errichteten Senkrechten berührte. In Figur 7 ist die Art der Aufstellung, und zwar bei A von vorn, bei B von oben gesehen veranschaulicht. Es wäre ein Leichtes gewesen, die Scheiben a und J direct hintereinander auf der Achse desselben Rotationsapparates zu befestigen. Die obige Anordnung wurde jedoch vorgezogen, weil dadurch der störende Randcontrast fast gänzlich beseitigt werden konnte. Der Randcontrast tritt am deutlichsten auf, wenn die contrastirenden Flächen in derselben Ebene liegen, also die gleiche Entfernung vom Auge besitzen. Ist dies nicht der Fall, so kann das Auge nur für eine der beiden Flächen accommodiren; die Zerstreungskreise der andern fallen dann auf die Stellen, wo der Randcontrast erscheinen sollte, und verhindern diesen theilweise oder ganz.

Hatten nun die beiden kleinen Scheiben a und b die gleiche Zusammensetzung aus schwarzen und weißen Sektoren, so erschienen sie auf dem schwarzen Hintergrunde auch subjectiv gleich. Wurde nun aber hinter a eine größere farbige Scheibe J , beispielsweise roth, angebracht, so standen sowohl a als b unter dem Contrast-einflusse dieser Farbe, aber a , da sie ganz von Roth umgeben war, in ungleich höherem Maße als die von der rothen Fläche getrennte und entferntere Scheibe b . Es erschien daher a deutlich in der Complementärfarbe von J , in unserem Falle also grün, während b unbeeinflusst blieb, oder aber eher einen Stich ins Röthliche zu erhalten schien.

Um die subjective Gleichheit von a und b wieder herzustellen können zwei Wege eingeschlagen werden. Man kann nämlich der Scheibe b mittelst eines farbigen Sectors so viel von der Contrastfarbe von J zusetzen, dass beide, a und b , wieder den gleichen Eindruck machen; oder aber, man bewirkt die Aenderung an der Scheibe a selbst, und zwar durch einen Sector von der gleichen Farbe wie J . In beiden Fällen besitzt man in der Größe des Sectors, welcher nöthig war, um den Contrasteeinfluss zu compensiren, ein Maß für die Stärke dieses letztern.

So einfach demnach die Ausführung der Versuche scheint, so treten derselben doch mannigfache Schwierigkeiten entgegen.

Zunächst ist das Helligkeitsverhältniss der beiden kleinen, zu vergleichenden Scheiben, welche auf schwarzem Hintergrund einander gleich erschienen, mit dem Hinzutritt der Scheibe *J* sofort ein anderes. Die Scheibe *b* wird jetzt durch den Helligkeitscontrast mit dem schwarzen Grunde, der bei *a* nicht wirkt, mehr gehoben. Sie muss daher bei objectiv gleicher Einstellung heller erscheinen; es ist somit geboten, durch Zusatz von Schwarz zu *b* die Gleichheit wieder herzustellen, was, da gleichzeitig der Farbencontrast wirkt, nur annähernd geschehen kann.

Eine weitere wichtige Vorsichtsmaßregel besteht darin, dass man den farbigen Zusatz zu *a* oder *b* stets so anbringen muss, dass die Winkelbreiten des Schwarz und Weiß, welche er verdrängt, in demjenigen Verhältniss stehen, welches durch den Helligkeitswerth der zugesetzten Farbe gefordert wird. Soll ich beispielsweise einer grauen Scheibe, welche aus 100° Weiß und 260° Schwarz gemischt ist, 12° Roth zusetzen, und zwar unter Erhaltung der vorigen Helligkeit der Scheibe, so muss für einen Beobachter, für den das Roth einen Helligkeitswerth von 16,53 ($86 w + 274 s$) besitzt, der Zusatz so vertheilt werden, dass er Weiß und Schwarz im Verhältniss von $86 : 274$ verdrängt, d. h. der rothe Sector von 12° muss $2,87^{\circ}$ Weiß und $9,13^{\circ}$ Schwarz verdecken, oder rund 3° Weiß und 9° Schwarz.

Die größten Schwierigkeiten bereitet die Art des Beobachtens selber. Eine successive Betrachtung der beiden zu vergleichenden Scheiben ist ausgeschlossen, da alsdann das Nachbild der inducierenden Scheibe, resp. des schwarzen Grundes mitwandert und unberechenbare Complicationen hervorruft. Bei simultaner Beobachtung, welche hier allein in Frage kommen kann und bei welcher selbstverständlich wegen der nothwendigen Compensation der verschiedenen Empfindlichkeit der nasalen und temporalen Netzhaut binoculare Betrachtung geboten ist, wirkt es sehr erschwerend, dass die zu vergleichenden Scheiben im indirecten Sehen beurtheilt werden müssen, was selbstverständlich auf die Genauigkeit der Bestimmungen hemmend einwirkt und überdies bei ungeübten Beobachtern eine langweilige Reihe von unbrauchbaren Vorversuchen voraussetzt.

Einige Sorgfalt erheischen auch die Maßregeln zur Vermeidung störender Nachbilder. Es ist zu diesem Zwecke nothwendig, dass

der einzelne Versuch auf eine kurze Zeitdauer beschränkt wird und dass die Zwischenzeit zwischen zwei Versuchen so lang bemessen wird, dass die Nachwirkung des ersten Versuches völlig verschwindet, wovon sich der Beobachter durch Umherblicken auf der grauen Wand und durch Blinzeln überzeugen kann. Um diesen Anforderungen zu genügen, war bei den späteren Versuchen vor den Rotationsapparaten, an einem beweglichen Stativ befestigt, ein schwarzer Schirm aufgestellt, auf welchem eine ihrer Lage nach dem Mittelpunkte des Abstandes zwischen a und b correspondirende Stelle als Fixationspunkt bezeichnet war. Diese Vorrichtung wurde nach dem Takte eines abseits stehenden, Secundenintervalle markirenden Metronoms weggezogen und wieder vorgeschoben. Als günstigste Dauer der Versuche wurde eine Zeit von 2—4 Secunden festgestellt (4 Secunden bei Gelb, 2 Secunden bei Roth). Bei dieser Dauer machten sich störende Nachwirkungen nicht geltend; in der Regel kam es nicht zur Bildung complementärer Nachbilder, oder wenn dies dennoch geschah, so hatten dieselben nur sehr kurze Dauer. Bei Anwendung noch kürzerer Beobachtungszeiten als 2 Secunden war die Sicherheit der richtigen Fixirung gefährdet, während bei Zeiten über 4 Secunden die Nachbilder anfangen, eine beträchtlichere Dauer zu erhalten. Bei längerer Dauer der Beobachtung kam es zuweilen vor, dass die Stärke des Contrastes mit der Dauer des Versuches ganz enorm zunahm, besonders wenn bereits mehrere Versuche vorangegangen waren; es blieb dann stets nach Beendigung des Versuches ein Minuten lang dauerndes complementäres Nachbild zurück. Ich kann mir diese Erscheinung nur dadurch erklären, dass die schon erloschenen Nachwirkungen der vorausgegangenen Versuche (ähnlich wie bereits verschwundene Nachbilder beim Blinzeln) wieder auftauchen und sich zu dem gegenwärtigen Eindrücke addiren.

Unsere Untersuchung hatte sich nun zunächst auf die Beantwortung der Frage zu richten: Bei welcher Helligkeit eines farblosen Lichteindruckes wird der Contrast einfluss einer gegebenen Farbe auf jenes farblose Licht ein Maximum? Diese Frage ist durch die Schmerler'schen Versuche¹⁾ in ganz unzweideutiger

1) Wundt, Phil. Stud. Bd. I S. 279.

Weise beantwortet worden, obgleich Schmerler selbst auf dieses Resultat seiner Untersuchung nicht das Hauptgewicht legt. Man werfe nur einen Blick auf die in der Tabelle Seite 388 zusammengestellten Resultate seiner Versuche mit Violett, und man wird erkennen, dass das Contrastmaximum überall dann eintritt, wenn, mit den Worten Schmerler's ausgedrückt, die schwarzen Sektoren der inducirten und die farbigen der inducirenden Scheibe die gleiche Breite haben. Dies bedeutet aber, wie Schmerler auch weiter unten ¹⁾ selbst andeutet, gar nichts anderes, als dass die beiden Scheiben gleiche Helligkeit besitzen; denn das Schwarz, welches dem inducirten Felde zugesetzt wurde, war gewöhnliches mattschwarzes Papier. Wenn man nun bedenkt, dass solches Papier bei weitem nicht die Dunkelheit des Pariser Schwarz erreicht, sondern etwa guter chinesischer Tusche gleichkommt, und wenn man anderseits in Betracht zieht, dass das Violett überhaupt, besonders aber das von Pigmenten, die lichtschwächste Farbe ist, so wird man leicht einsehen, dass gleiche Sektorenbreiten von Schwarz und Violett auch annähernd gleiche Verdunkelungen hervorbringen mussten. Indessen scheint das violette Pigment doch einen etwas höheren Helligkeitswerth besessen zu haben als das schwarze, was sich bei größeren Sektorenbreiten deutlicher herausstellen musste. In der Tabelle gelangt dies darin zum Ausdrucke, dass bei etwa 70° das Schwarz anfängt zu dunkel zu werden, infolge dessen das inducirte Feld bis zu 40° Weiß mehr bedurfte als das inducirende.

Noch deutlicher tritt dies zu Tage in der Tabelle auf Seite 292, wo das inducirende Feld durch ein purpurfarbenedes Pigment gebildet wurde und das Contrastfeld in der Form eines Ringes einen beschränkteren Raum einnahm. Hier beginnt schon bei 60° das Schwarz sich deutlich als dunkler zu erweisen, so dass der Unterschied in der Sektorenbreite des schwarzen und farbigen Zusatzes bis auf 60° und mehr steigt.

Auch die folgenden Versuche scheinen zu bestätigen, dass der Farbencontrast dann am besten zur Geltung gelangt, wenn der Helligkeitscontrast ganz ausgeschlossen, oder auf eine unmerkliche Stärke reducirt ist. Es blieben bei diesen Versuchen während

1) Wundt, Phil. Stud. Bd. I S. 395.

Tabelle XV.

Name des Beobachters.	Zusammensetzung der inducirenden Scheibe <i>J</i> .	Contrastmaximum.	
		Größe des zur Ausgleichung nothwendigen gleich- oder complementärfarbigem Zusatzes zu <i>a</i> resp. <i>b</i> in Graden.	Zusammensetzung der grauen Scheiben (<i>a</i> u. <i>b</i>) beim Maximalwerthe des Contrastes.
Pawlowitsch	360° roth	1) Statt des rothen resp. schwarzen Grundes wurde ein halb roth, halb schwarz gefärbter Schirm angewandt, welcher 2 Ausschnitte von 4 cm Länge und 2 cm Breite besaß, hinter welchen die Vergleichsscheiben sichtbar waren. 50—54° grün zu <i>b</i> .	ungefähr 90 w + 270 s
„	360° roth	2) bei offenen Scheiben	85 w + 275 s
„	360° grün	36—40° grün zu <i>b</i> .	160 w + 200 s
„	180° grün + 100 s + 80 w	25—32° roth zu <i>b</i>	150 w + 210 s
Nosiri	360° roth	16—20° roth zu <i>b</i>	90 w + 270 s
„	180° roth + 45 w + 135 s	26—32° grün zu <i>b</i>	90 w + 270 s
Kirschmann	300° roth + 45 s + 15 w	16—24° grün zu <i>b</i>	100 w + 260 s
„	180° roth + 135 s + 45 w	35—45° roth zu <i>a</i>	80 w + 280 s
„	360° grün	20—25° roth zu <i>a</i>	175 w + 185 s
„	180° grün + 85 w + 95 s	50—60° grün zu <i>a</i>	165 w + 195 s
		25—40° grün zu <i>a</i>	

einer Reihe die Verhältnisse der die inducirende Scheibe zusammensetzenden Sektoren constant, während man das Grau der beeinflussten sowie das der Vergleichsscheibe alle Helligkeitsstufen zwischen dem Weiß des Cartons und dem Schwarz der geschwärzten Sektoren durchwandern ließ. Die Veränderung der Sektoren geschah von 10 zu 10 resp. von 5 zu 5 Grad. Von einer genaueren

Bestimmung wurde abgesehen, weil diese Frage, wie oben schon bemerkt, durch die Versuche Schmerler's schon entschieden ist, sodann aber auch, weil die Versuche wegen der großen Zahl der möglichen Combinationen eine zu große Zeit in Anspruch genommen haben würden. Dazu kommt, dass die Größe des zur Ausgleichung zugesetzten farbigen Sectors hier nicht in demselben Sinne wie bei den späteren Versuchen, wo die Helligkeit während einer Versuchsreihe eine constante war, einen sicheren Maßstab für die Stärke des Contrasteinflusses abgiebt, da der gleiche Sector einer Farbe, zu verschiedenen Stufen der farblosen Helligkeitsreihe zugefügt, nicht überall denselben Werth hat. Dieser Werth als farbiger Bestandtheil einer Lichtempfindung hängt nicht allein von der Sektorenbreite, sondern auch noch von verschiedenen anderen Factoren, wie Helligkeitswerth der betreffenden Farbe, Unterschiedempfindlichkeit für verschiedene Stufen der Mischung jener Farbe mit Grau, ab und dürfte im einzelnen Falle schwerlich genau zu ermitteln sein. So geben beispielsweise $6-8^\circ$ Roth zu einem Grau von dem Mischungsverhältniss $30^\circ w + 330^\circ s$ zugesetzt, dem Ganzen eine deutlich sichtbare röthliche Färbung. Derselbe Zusatz von Roth zu 360° Weiß wirkt dagegen kaum mehr als Farbe, sondern ändert nur die Helligkeit etwas. Es wohnt daher den Resultaten der in Tabelle XV mitgetheilten Versuche nach der Seite der Verminderung der Helligkeit hin keine unbedingte Beweiskraft inne, während anderseits die Thatsache, dass bei Gelb (in der Tabelle nicht verzeichnet, weil die Versuche nicht beendet wurden) für größere Helligkeit der Vergleichsscheiben auch größere Zusätze die Gleichheit nicht zu stören schienen, nicht im Stande ist, einen Gegenbeweis zu erbringen. Wenn wir daher an dem Satze, dass der Farbencontrast um so deutlicher sei, je geringer der Helligkeitscontrast sich bemerkbar macht, festhalten, so geschieht dies weniger in Ansehung der obigen, keineswegs ganz einwurfsfreien Beobachtungsergebnisse, als vielmehr auf Grund der nach unserer Ansicht größere Beweiskraft besitzenden Schmerler'schen Versuche.

Wenn für das rothe Pigment gefunden wurde, dass es an Helligkeit einem Grau von der Zusammensetzung $90 w + 270 s$ annähernd entspricht, so darf eine graue Scheibe von denselben Mischungsverhältnissen von Seiten einer dahinter aufgestellten

größeren rothen Scheibe nur noch im Sinne des Farbencontrastes, nicht mehr im Sinne des Helligkeitscontrastes beeinflusst werden; und dieser Einfluss muss, da der Farbencontrast sein Maximum findet, wenn der Helligkeitscontrast auf ein Minimum reducirt ist, gerade unter diesen Umständen für den gegebenen Sättigungsgrad der Farbe seinen Maximalwerth erreichen. Eine zweite daneben aufgestellte, aber die rothe nicht mehr berührende, graue Scheibe, deren durch den Contrast mit dem schwarzen Hintergrund erhöhte Intensität durch Zusatz einer kleinen Winkelbreite Schwarz ausgeglichen ist, wird wegen der größeren Entfernung von der rothen Scheibe von dieser nur noch in geringem Maße beeinflusst werden. Sie wird in ihrer natürlichen Farbe erscheinen, während die direct beeinflusste grün aussieht. In der Regel jedoch wird der Beobachter, weil man diejenigen Gegenstände am leichtesten zu vergleichen im Stande ist, welche die meisten gemeinschaftlichen Merkmale besitzen, die weniger beeinflusste Scheibe, im Gegensatz zu der unter dem directen Contrasteeinfluss stehenden und grün erscheinenden, als röthlich bezeichnen. Stellt man durch Zusatz von einer gewissen Menge rothen Lichtes zu a , oder eines Quantum Grün zu b die subjective Gleichheit beider Scheiben wieder her, so gibt die Winkelgröße des rothen resp. grünen Zusatzes ein Maß ab für die Größe der Wirkung des Farbencontrastes.

Ersetze ich nun einen Theil der rothen Scheibe durch Schwarz und Weiß, und zwar diese letzteren in demselben Verhältniss anwendend, in welchem die Componenten des Grau der Scheibe a zu einander stehen, so wird an den Helligkeitsverhältnissen der drei Objecte (sofern die Helligkeitsbestimmung für Roth annähernd richtig ist) nichts Wesentliches geändert; aber das inducirende Roth ist nunmehr von einer geringeren Sättigung als vorher. Die von ihr bewirkte Contrasteeinwirkung auf a wird ihrer Stärke nach auf dieselbe Weise wie bei der ersten Sättigungsstufe ermittelt. Ist dies geschehen, so wird unter Beibehaltung desselben Verfahrens zu einer weiteren Verminderung der Sättigung geschritten und so fort, bis die ganze Sättigungsreihe durchgearbeitet ist. Um den Fehler, der dadurch entsteht, dass der größeren Sättigung immer die geringere folgte, auszugleichen, wird sodann das Verfahren in umgekehrter Ordnung, d. h. mit der geringsten Sättigung beginnend, wiederholt.

Die Feststellung der Gleichheit von a und b geschieht nach der Methode der minimalen Aenderungen. Zunächst wird, von 10 zu 10 Grad fortschreitend, die ungefähre Lage der Gleichheitszone ermittelt; dann wird, von Grad zu Grad, resp. je um 2 Grad, weitergehend, die genaue Bestimmung der oberen und unteren Grenze vorgenommen, was natürlich zweimal zu geschehen hat, das eine Mal von zu geringem, das andere Mal von zu großem Zusatze ausgehend.

Bei Versuchen, wie den vorliegenden, welche vorerst nur auf die Feststellung einer Gesetzmäßigkeit in groben Zügen ausgehen, ist das unwissentliche Verfahren entschieden vorzuziehen. Die Fehler, die beim wissentlichen Verfahren durch die Erwartung, durch die Zahl der Einzelbeobachtungen u. s. w. verursacht werden, sind hier so gut wie ausgeschlossen. Auch kann man sich durch Vexirversuche leicht und ohne Wissen des Beobachters vergewissern, ob derselbe sicher in seinem Urtheil und nicht durch irgendwelche Voreingenommenheit über den Grad und die Richtung der geschehenen Aenderung beeinflusst sei.

Es sei noch bemerkt, dass die bei den folgenden Versuchen beteiligten Mitarbeiter, mit Ausnahme des Herrn Dr. Külpe¹⁾, welcher kurzsichtig ist und bei den Versuchen Concavgläser Nr. 10 trug, normalsichtig sind. Ich selbst bin etwas kurzsichtig, trug aber bei den an mir selbst gemachten Versuchen keine Brille, sah den Rand der Scheiben daher nicht ganz deutlich. Ebenso erwiesen sich die Beobachter bei der Prüfung am Spektroskop und bei der Sortirung von Wollproben als farbentüchtig.

In Tabelle XVI bis XX sind die Werthe verzeichnet, welche sich für die Intensität des von verschiedenen Sättigungsgraden der Farben Roth und Grün hervorgerufenen Contrastes ergaben. In der vorderen Spalte ist die Zusammensetzung der inducirenden Scheibe angegeben, während die zweite Spalte den aus einer Anzahl von Einzelbestimmungen resultirenden Mittelwerth des von einer Sättigungsstufe der inducirenden Farbe ausgeübten Contrast-einflusses, gemessen durch die Winkelbreite des zur Herstellung der subjectiven Gleichheit nöthigen Zusatzes zu a oder b , zeigt. Die Breite der Region der Uebereinstimmung ist, vielleicht eine Folge

1) Nähere Angaben siehe weiter oben (p. 442).

Tabelle XVI.

Zusammensetzung der inducirenden Scheibe.	A.				B.			
	Beobachter: Pawlowitsch.				Beobachter: Nosiri.			
	Mittlerer Werth des Zusatzes von Grün zu b in Graden.	Durchschnittl. Größe der Gleichheitszone.	Mittlere Variation		Mittlerer Werth des Zusatzes von Grün zu b in Graden.	Durchschnittl. Größe der Gleichheitszone.	Mittlere Variation	
untere Grenze			obere Grenze	obere Grenze			untere Grenze	
Roth Weiß Schwarz								
60° + 75° + 225°	11¼°	4½°			10°	2°		
100 + 65 + 195	14	6			13¾	6½		
140 + 55 + 165	17¼	4½			19¾	5½		
180 + 45 + 135	21	7½	1½°	1½°	22	6	2°	¾°
240 + 30 + 90	24⅔	4⅔	1⅔	3¼	24	3½	1¼	2¼
300 + 15 + 45	30⅛	6¼	2	2⅞	28½	5⅔	1½	1⅞
360	33⅞	9¼	4⅝	2½	31¼	6	1¼	1¾

Tabelle XVII.

Inducirende Scheibe: Grün; Ausgleichung durch Zusatz von Roth zu b.

Sättigungsgrad der inducirenden grünen Scheibe.	A.		B.		C.	
	Beobachter: Pawlowitsch.		Beobachter: Nosiri.		Beobachter: Haarhoff.	
	Durchschnittlicher Werth des Zusatzes von Roth zu b.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.	Durchschnittlicher Werth des Zusatzes von Roth zu b.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.	Durchschnittlicher Werth des Zusatzes von Roth zu b.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.
90°	13°	5°	11⅙°	3⅔°	12½°	5°
120					15⅙	3
135			14¾	4½		
180	18	5	18⅝	4⅓		
195					20	3
240					24	3
270	24½	5	22⅝	4⅓		
300					29	4
360	28½	4⅔	28⅙	7	31¾	5½

Tabelle XVIII.

Beobachter: Kirschmann; inducirende Farbe: Roth.

Zusammensetzung der inducirenden Scheibe.			I.				II.			
			Die Herstellung der Gleichheit geschah durch Zusatz von Grün zu b.				Die Herstellung der Gleichheit geschah durch Zusatz von Roth zu a.			
Roth	Weiß	Schwarz	Mittlerer Werth des Zusatzes.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.	Mittlere Variation		Mittlerer Werth des Zusatzes.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.		
					untere Grenze.	obere Grenze.				
60°	+	75°	+	225°	7 $\frac{3}{4}$ °	2 $\frac{1}{2}$ °	1 $\frac{1}{2}$ °	1°	10 $\frac{1}{4}$ °	4 $\frac{1}{2}$ °
100	+	65	+	195	14 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	2	17	5
140	+	55	+	165	19 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{2}{3}$	20	4
180	+	45	+	135	24 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{4}$	1	24 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$
240	+	30	+	90	28 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{4}$	28 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$
300	+	15	+	45	31 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	1	31	5
360					35 $\frac{1}{4}$	6	1 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{5}{8}$	34 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$

Tabelle XIX.

Beobachter: Kirschmann; inducirende Farbe: Grün.

Zusammensetzung der inducirenden Scheibe.			I.				II.			
			Herstellung der Gleichheit der Vergleichs-scheiben durch Zusatz von Roth zu b.				Herstellung der Gleichheit durch Zusatz von Grün zu a.			
Grün	Weiß	Schwarz	Mittlerer Werth des Zusatzes.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.	Mittlere Variation		Mittlerer Werth des Zusatzes.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.		
					untere Grenze.	obere Grenze.				
60°	+	133°	+	167°	9 $\frac{1}{2}$ °	2 $\frac{3}{4}$ °	1 $\frac{1}{4}$ °	1°	9 $\frac{1}{2}$ °	4 $\frac{1}{2}$ °
100	+	116	+	144	13 $\frac{1}{8}$	5 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	12 $\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{2}$
140	+	98	+	122	17 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	20 $\frac{1}{2}$	7
180	+	80	+	100	22 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{3}{4}$	1	$\frac{3}{4}$	30 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$
220	+	62	+	78	30	4	1 $\frac{3}{8}$	2	39 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$
260	+	44	+	56	33 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{3}{4}$	45 $\frac{3}{8}$	4 $\frac{1}{2}$
300	+	27	+	33	37 $\frac{3}{8}$	5 $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{2}$	48 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$
330	+	13	+	17	40 $\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$	55	4
360					43 $\frac{2}{10}$	7	1 $\frac{2}{3}$	1 $\frac{1}{2}$	57 $\frac{1}{2}$	7

Tabelle XX.

Beobachter: Dr. Külpe.

Herstellung der subjectiven Gleichheit der Vergleichsscheiben durch Zusatz von Orange gelb zu a.

Zusammensetzung der inducirenden Scheibe.			Zusatz von Gelb zu a.					
Gelb	Weiß	Schwarz	Mittelwerth des nothwendigen Zusatzes von Gelb.	Durchschnittliche Breite des Gleichheitsgebietes.	Mittlere Variation			
					obere Grenze.	untere Grenze.		
60°	+	142°	+	158°	$17\frac{1}{2}^{\circ}$	$5\frac{1}{2}^{\circ}$	$2\frac{3}{9}^{\circ}$	17°
120	+	113	+	127	$24\frac{7}{12}$	$7\frac{1}{6}$	$2\frac{1}{6}$	$1\frac{2}{3}$
180	+	85	+	95	$30\frac{3}{4}$	$6\frac{1}{6}$	$1\frac{5}{9}$	$1\frac{1}{3}$
240	+	57	+	63	$37\frac{1}{6}$	$4\frac{2}{3}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{7}{9}$
300	+	28	+	32	$38\frac{5}{12}$	$7\frac{5}{6}$	$1\frac{5}{6}$	$1\frac{2}{3}$
360					$41\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{25}$	$1\frac{8}{25}$

der aus weiter oben auseinandergesetzten Gründen gebotenen indirecten Fixation und des völlig unwissentlichen Verfahrens, ziemlich beträchtlich ausgefallen und erreicht häufig 10—12°. Das aus denselben gezogene Mittel aber übersteigt, wie aus den in der 3. Spalte der Tabellen angeführten Werthen ersichtlich ist, selten eine Breite von 7°.

Die mittleren Variationen für die oberen und unteren Grenzwerte sind in allen denjenigen Fällen in einer 4. und 5. Rubrik angefügt, in welchen die Zahl der angestellten Einzelbestimmungen der Grenzen 4 oder mehr betrug. Da eine Einzelbestimmung der Grenzen in der Regel 15—20 oder mehr einzelne Beobachtungen nöthig machte, so dauerte sie häufig über $\frac{1}{2}$ Stunde, und es konnten in den günstigsten Fällen während einer Versuchszeit von 1—1 $\frac{1}{2}$ Stunden höchstens 3—5 solcher Ermittlungen der Grenzen gewonnen werden. Aus dieser erheblichen Dauer der Versuche, sowie aus dem Umstande, dass einigen der mitarbeitenden Herren nur eine beschränkte Zeit zu dieser Untersuchung zur Verfügung stand, wovon überdies die zur Einübung nöthigen Vorversuche einen beträchtlichen Theil absorbirten, erklärt es sich, dass nicht sämt-

liche Reihen hinsichtlich der Anzahl der den Mittelwerthen zu Grunde liegenden Bestimmungen in der beabsichtigten Weise durchgeführt werden konnten. Wo daher in den Tabellen die Angabe der mittleren Variation fehlt, da liegt eine Mittelziehung aus nur je 2 oder 3 Doppelbestimmungen der Grenzen vor.

Betrachten wir nun die in den Tabellen aufgeführten Versuchsergebnisse, so findet sich die Ansicht Schmerler's, dass der Contrasteeinfluss, welchen eine Farbe auf irgend ein Grau ausübt, bei einer mittleren Sättigung jener Farbe sein Maximum erreiche, nicht in einem einzigen Falle bestätigt. Wir haben weiter oben schon gezeigt, wie die Resultate Schmerler's, welche mit ziemlicher Bestimmtheit darauf hinweisen, dass der Contrast zwischen einem farbigen und einem farblosen Eindrucke dann am besten zur Geltung gelangt, wenn gleichzeitig der zwischen beiden bestehende Helligkeitscontrast auf ein Minimum herabgedrückt ist, gar nichts über den Einfluss der Sättigung zu beweisen im Stande sind, da Schmerler nicht in der Lage war, den Sättigungsgrad unabhängig von der Helligkeit variiren zu können. Bei den vorstehend mitgetheilten Versuchen ist innerhalb einer Reihe die Helligkeit aller in Frage kommenden Objecte bis auf einen sehr geringen Fehler constant erhalten worden, so dass jede Verminderung oder Vermehrung des Contrasteeinflusses als die Folge der eingetretenen Aenderung des Sättigungsgrades angesehen werden muss.

Die in den Tabellen aufgeführten mittleren Werthe für die Intensität des Contrastes zeigen durchweg eine mit der Zunahme der Sättigung der inducirenden Farbe fortschreitende Verstärkung des Contrastes. Jedoch hält die letztere keineswegs mit der Sättigungszunahme gleichen Schritt; sie wird vielmehr immer geringer, so dass sie sich einem Werthe zu nähern scheint, bei welchem eine Steigerung nicht mehr möglich ist. Dieser Werth konnte bei unseren Versuchen natürlich nicht ermittelt werden, da wir über die Sättigung der vollen Farbenscheiben (also 360°) nicht hinausgehen konnten, obgleich diese keineswegs die höchste, für unser Auge erreichbare Sättigungsstufe repräsentirt, sondern schon durch die Sättigung des durch farbige Gläser oder andere durchlässige Medien hindurchgegangenen Lichtes weit übertroffen wird. Die Art der ungleichförmigen Zunahme des Contrastes bei gleich-

förmigem Wachsthum der Sättigung lässt sich am deutlichsten in der Darstellung durch Curven veranschaulichen, indem man unter Zugrundelegung eines rechtwinkligen Coordinatensystems die Maßzahlen der Sättigungsstufen als Abscissen, diejenigen der dazu gehörigen Contrastgrößen als Ordinaten verwerthet. Die so construirten Curven steigen zunächst ziemlich steil an, zeigen aber in ihrem weiteren Verlaufe mehr oder weniger deutlich das Bestreben, sich einer der Abscissenaxe parallelen Richtung zu nähern.

Am deutlichsten zeigen diese Eigenschaft die Curven, welche den Contrasteinfluss von Roth und Orange darstellen. Die Curven für Grün dagegen haben fast alle gerade an derjenigen Stelle, wo diejenigen für Roth und Gelb ihre größte Convexität besitzen, eine concave Strecke, eine Thatsache, die vorläufig noch keine Erklärung finden kann. Dass es bei den Curven für Grün überhaupt nicht so deutlich zu jener Neigung zur Annahme einer der Abscissenaxe parallelen Richtung kommt, dürfte wohl darin seinen Grund haben, dass sich das benutzte grüne Papier vor den anderen durch eine geringere Sättigung auszeichnete, was ja auch schon in Tabelle XIII, in welcher die Resultate der spektroskopischen Untersuchung der Papiere mitgetheilt wurden, darin seinen Ausdruck findet, dass jenes grüne Papier alle Wellenlängen zwischen den Linien *C* und *F* reflectirt. Daraus dürfte sich dann vielleicht auch das enorme Ansteigen der Curve für Tabelle XIX, II, wo als inducirende und reagirende Farbe »Grün« auftritt, dessen mangelnde Sättigung hierbei doppelt ins Gewicht fallen musste, erklären. Da ich bei den Versuchen an mir selbst Beobachter und Experimentator zugleich war und somit, obgleich ich immer nur von der Richtung der geschehenen Änderung, nicht aber von dem Maße derselben Kenntniss besaß, von einem rein unwissentlichen Verfahren hier nicht mehr die Rede war, so war die Möglichkeit einer Beeinflussung durch die dem wissentlichen Verfahren anhaftenden Fehler, welche nur durch eine größere Zahl von Versuchen eliminiert werden können, nicht ausgeschlossen. Ich wiederholte daher die Beobachtungen für die höheren Sättigungsstufen öfter als bei den übrigen Reihen, kam aber zu keinem anderen Resultate.

Die in Figur 8 gegebene, die Resultate der Tabelle XX veranschaulichende Darstellung zeigt in der mit *M* bezeichneten Curve

das Anwachsen des Contrasteeinflusses von Gelb auf Grau, wie es den mittleren Werthen der Tabelle entspricht, während den Curven *O* und *U* die zu jenen Mittelwerthen gehörigen oberen und unteren Grenzen zu Grunde liegen, so dass die dazwischenliegende Fläche das gesammte Gebiet der Gleichheit repräsentirt.

Was lässt sich nun aus den vorstehend berichteten Resultaten unserer Untersuchung schließen? Zunächst dürfte wohl klar sein, dass die Annahme Schmerler's, der Contrasteeinfluss einer Farbe auf Grau finde sein Maximum bei einer mittleren Sättigung, keine Bestätigung erhält. Der Contrast nimmt vielmehr mit der Sättigung der inducirenden Farbe zu. Diese Zunahme aber ist keine der Verstärkung der Sättigung proportionale, sondern eine verzögerte; ganz wie es dem Relativitätsgesetz¹⁾ entspricht, welches niemals

verlangt, dass dem Wachsen der Intensität des physischen Vorgangs eine Abnahme des parallel gehenden psychischen Processes entspreche, wie dies der Fall sein müsste, wenn die Schmerler'sche Ansicht sich als richtig erwiesen hätte, sondern nur, dass bei un-

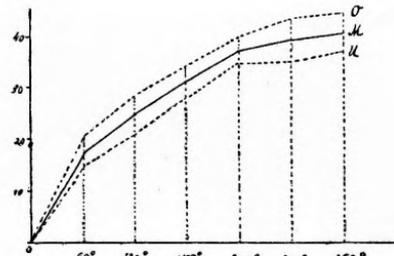


Fig. 8.

beschränktem Wachstum der Intensität des physischen Processes der psychische Parallelvorgang sich hinsichtlich seiner Intensität einem endlichen, nicht zu überschreitenden Werthe nähert. In der That zeigen die weiter oben erwähnten Curven, wenigstens ihrer Mehrzahl nach, eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit mit dem über der Abscissenaxe liegenden Abschnitte der das Wachstum der Empfindung bei gleichförmig wachsendem Reize darstellenden, in ihrer Lage modificirten logarithmischen Linie²⁾.

Was folgt nun aber aus den vorstehend mitgetheilten Verhältnissen für den Contrast zwischen zwei verschiedenen Farben? Denken wir zunächst an zwei Gegenfarben wie Roth und Blaugrün. Der Contrasteeinfluss einer Farbe auf Grau wird ein Maximum, wenn

1) Wundt, Phys. Psych.³, I, p. 381.

2) ebendasselbst, p. 385.

das Grau mit ihr die gleiche Helligkeit besitzt. Dieser Satz dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach auch von dem Contraste zwischen zwei Farben gelten. Auch er wird sein Maximum (bei beiderseits constanter Qualität und Sättigung) erreichen, wenn der Helligkeitscontrast auf ein Minimum reducirt ist. Der Contrast, welchen eine Farbe einem Grau oder einer anderen Farbe gegenüber hervorruft, wächst, wie wir theils aus unseren Versuchen gesehen haben, theils nach Analogie zu schließen uns berechtigt glauben, allerdings mit der Sättigung der inducirenden Farbe. Aber der Contrast zwischen zwei Farben besteht ja nicht bloß aus dem Einfluss, welchen die eine derselben auf die andere ausübt, sondern diese letztere wirkt auch beeinflussend auf die erstere zurück¹⁾, so dass der Contrast zwischen beiden als die Summe zweier Componenten betrachtet werden muss, zwischen welchen, wenn sie auch nicht unabhängig von einander variabel sind, nicht nothwendig Proportionalität zu bestehen braucht.

Nun ist ferner zu erwägen, dass eine Farbe um so weniger einer Aenderung durch Contrasteeinfluss unterworfen ist, je gesättigter sie ist. Eine Farbe von vollkommener (d. i. in Wirklichkeit nie vorhandener, unendlicher) Sättigung kann durch den Contrast überhaupt nicht mehr verändert werden. Daraus folgt nun: wenn von zwei Farben a und b die eine, etwa a , eine Steigerung ihrer Sättigung erfährt, so wächst zwar der Contrasteeinfluss, welchen sie auf b bewirkt; derjenige dagegen, welchen b auf a ausübt, wird geringer. Bei welcher Combination von Sättigungsstufen der beiden Farben die Summe jener beiden Componenten, aus welchen sich das Gesamtergebnis der gegenseitigen Contrastwirkung zusammensetzt, ihren Maximalwerth erreicht, lässt sich im voraus nicht bestimmen. Indessen scheinen die Bedingungen für das Zustandekommen einer möglichst großen Contrastwirkung bei der Combination mittlerer Sättigungsgrade der betreffenden Farben am günstigsten zu liegen. Die in Figur 9 gegebene graphische Darstellung dieser Verhältnisse dürfte dies vielleicht etwas deutlicher erkennen lassen.

Denken wir uns auf der X -Axe eines rechtwinkligen, räumlichen Coordinatensystems alle Sättigungsgrade der Farbe a als Abscissen so aufgetragen, dass die Sättigung 0 durch den Punkt O ,

1) Wundt, a. a. O. I, p. 480.

die Sättigung ∞ aber durch den Punkt A repräsentirt wird. Ordnen wir ferner auf der Y -Axe sämtliche Sättigungsstufen der Farbe b in analoger Weise auf der Strecke OB an, so entspricht jeder Verbindung eines beliebigen Sättigungsgrades der einen Farbe mit irgend einer Sättigung der anderen ein ganz bestimmter Punkt des Parallelogramms $OACB$, und es sind in jener Fläche alle überhaupt möglichen Combinationen der Sättigungsstufen beider Farben vertreten. Tragen wir nun die zu den einzelnen Combinationen gehörigen Werthe des Contrastes als Z -Ordinaten auf den auf der Fläche $OACB$ errichteten Senkrechten ab, und zwar so, dass wir den Contrast ein-

fluss, welchen die Farbe a auf b ausübt, positiv, die Beeinflussung, welche a durch b erfährt, aber negativ rechnen, so entstehen zwei krumme Flächen, von welchen jede alle möglichen Fälle der durch den Contrast be-

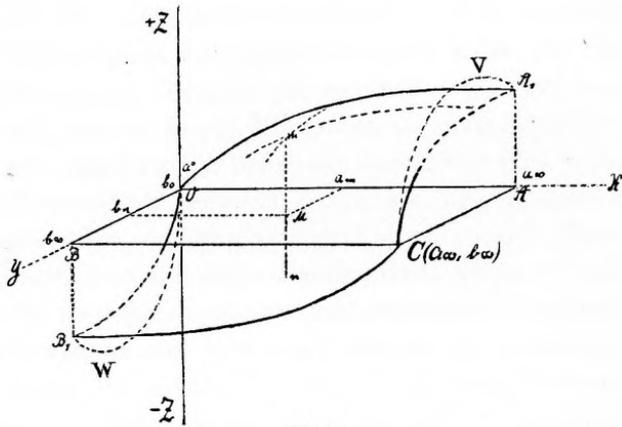


Fig. 9.

wirkten Aenderung einer der beiden Farben enthält, während die Entfernung der beiden Flächen von einander für jeden Punkt der XY -Ebene den Grad des auf der gegenseitigen Beeinflussung beruhenden Gesamtcontrastes repräsentirt. Obgleich uns der Verlauf dieser Flächen auf Grund der bis jetzt angestellten Untersuchungen nur zum kleinen Theil bekannt ist, so lassen sich aus den bekannten Eigenschaften derselben dennoch mit ziemlicher Sicherheit gewisse Schlüsse über Lage und Größe des Maximalwerthes für jenen Gesamtcontrast ziehen. Suchen wir uns daher zunächst der Anordnung der bekannten Elemente jener Flächen klar zu werden.

Die Linie OA repräsentirt die ganze Sättigungsreihe der Farbe a und zugleich die Sättigung Null der Farbe b . Ueber ihr haben

wir daher, und zwar positiv gerechnet, die Curve zu construiren, welche den Contrasteinfluss der Sättigungsstufen von a auf die Sättigungsstufe Null von b , d. h. auf Grau, darstellt. Diese Curve OA_1 aber ist diejenige, die wir weiter oben bei der Veranschaulichung unserer Versuchsergebnisse erhielten, demnach als bekannt zu betrachten. Bekannt ist ferner der Einfluss, den die Sättigung $a = 0$ auf die verschiedenen Stufen der Sättigungsreihe b ausübt; derselbe ist nämlich überall gleich 0 und wird daher durch die sich über die XY -Ebene nicht erhebende Gerade OB dargestellt. Auch der Einfluss der verschiedenen Sättigungsgrade von a auf $b = \infty$ muss, da hier eine Hebung durch den Contrast nicht mehr möglich ist, überall gleich 0 sein. Es bildet somit die Linie BC die dritte Begrenzungslinie der zu construierenden Fläche. Nur nach der vierten Seite, wo es sich um die Contrastwirkung der höchsten Sättigungsstufe von a auf die verschiedenen Grade der Sättigungsreihe b handelt, sind wir nicht in der Lage, die betreffende Curve zu construiren. Da jedoch zwischen zwei unendlich gesättigten conträren Farben keine Contrasteinflüsse mehr obwalten können, so wird man mit Bestimmtheit sagen können, dass die Curve von dem Punkte C aus aufsteigen und nach irgend welchem unbekanntem Verlaufe in A_1 mit der Curve OA_1 zusammentreffen müsse. Nehmen wir der Einfachheit halber vorläufig an, die Curve CA_1 nehme einen ähnlichen Verlauf wie OA_1 ; denken wir uns ferner nicht bloß die erörterten Grenzcurven, sondern auch die den anderen Sättigungsstufen von a und b zugehörigen, den Linien OA_1 resp. CA_1 ähnlichen Curven construirt, so haben wir alsdann zwei einander rechtwinkelig kreuzende Curvenscharen, welche eine nach oben convexe Fläche OA_1CB bilden, deren verschiedene Entfernung von der XY -Ebene die verschiedenen Intensitätsgrade des Contrasteinflusses von a auf b repräsentirt. In ganz ähnlicher Weise construiren wir sodann mittelst negativ zu rechnender Ordinaten zur Darstellung des Einflusses, den die Farbe b auf a ausübt, die unter der XY -Ebene gelegene und nach unten convexe Fläche OB_1CA . Die Entfernung zweier senkrecht über, bezw. unter derselben Stelle der XY -Ebene gelegenen Punkte der beiden krummen Flächen von einander ist dann ein Maß für den, den zugehörigen Sättigungsgraden von a und b entsprechenden, Gesamtcontrast. Wo aber

sind nun die beiden Flächen am weitesten von einander entfernt? Bei A und C beträgt ihre Entfernung Null; an den anderen Eckpunkten ist sie gleich den Strecken AA_1 resp. BB_1 . Den größten Werth M_n erreicht die Entfernung beider Flächen offenbar in einer mittleren Gegend etwa bei dem Punkte M der XY -Ebene, welcher eine Combination mittlerer Sättigungsgrade von a und b vertritt. Nehmen die zum größten Theil unbekanntenen Curven CA_1 und OB_1 einen anderen Verlauf als den angedeuteten, etwa in der Weise von $CV A_1$ und $OW B_1$, so wird dadurch an der dargestellten Sachlage nichts Wesentliches geändert. Die größte Entfernung zwischen den beiden nunmehr stärker gewölbten Flächen findet sich nach wie vor bei einer, wenn auch gegen die frühere Lage etwas verschobenen, mittleren Stelle. Auch wenn die Curven CA_1 und OB_1 zu Geraden werden, bleiben diese Verhältnisse bestehen, und nur in einem Falle wird die Entfernung für mittlere Sättigungsstufen einen Werth annehmen, der geringer ist als die Entfernung zwischen A und A_1 oder B und B_1 , nämlich, wenn jene Curven concav werden, d. h. ihre convexe Seite nach der XY -Ebene hin richten; und auch dann muss diese Concavität einen gewissen Grad übersteigen. Dieser Fall ist jedoch nahezu ausgeschlossen, denn bei den dahingehenden Versuchen stellte sich vielmehr heraus, dass die bewussten Curven eher Neigung zu stärkerer Krümmung besitzen, also einen ähnlichen Verlauf zu nehmen scheinen wie die Linien $CV A_1$ und $OW B_1$ unserer Figur. Wir können auf Grund dieser Darlegungen, die zunächst nur für zwei conträre Farben gelten sollten, welche aber ohne Schwierigkeit unter Vornahme einiger unwesentlicher Aenderungen auch auf Farben von beliebiger Relation übertragen werden können, die folgenden Behauptungen aufstellen:

Der Gesamtcontrast zwischen zwei Farben a und b setzt sich aus zwei Componenten zusammen: aus dem Contrasteinflusse der Farbe a auf b und demjenigen der letzteren auf a . Erhöht man die Sättigung der Farbe a , so wird die erste der Componenten verstärkt, die andere aber vermindert. Da beide Aenderungen weder proportional noch gleichförmig vor sich gehen, sondern in entgegengesetztem Sinne ungleichförmig sind, so folgt daraus, dass der Contrast (Gesamtcontrast) zwischen zwei Farben bei einer Combination mittlerer Sättigungsstufen sein Maximum erreichen muss.

Die directe Bestätigung dieses aus den Resultaten der vorliegenden Untersuchung mit Nothwendigkeit abzuleitenden Satzes bleibt noch zu erwarten. Man darf sich jedoch nicht verhehlen, dass hier der Untersuchung ganz enorme Schwierigkeiten entgegen treten, deren schlimmste darin besteht, dass es sich hierbei nicht um die Ermittlung des Contrasteeinflusses handelt, welchen eine Empfindung erleidet, sondern dass vielmehr die durch die gegenseitigen Contrastwirkungen hervorgerufenen Aenderungen beider Farben zugleich gemessen werden müssten, da jede von ihnen gleichzeitig inducirende und inducirte Qualität ist und der Gesamtcontrast sich aus der Summe der Wirkungen beider zusammensetzt.

Es sind zwar im Anschluss an die vorstehend mitgetheilte Untersuchung einige Versuche in diesem Sinne angestellt worden; die Ergebnisse derselben können jedoch, wensschon sie die obigen Ausführungen im allgemeinen zu bestätigen scheinen, weder inhaltlich noch der Zahl nach als genügend betrachtet werden, um als Belege für die Richtigkeit jener Ansichten zu gelten, weshalb denn auch von ihrer Wiedergabe im Rahmen dieser Arbeit Abstand genommen ist.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass die vorstehenden Ausführungen über den Contrast zwischen zwei Farben auch dann ihre Richtigkeit behalten, wenn man überhaupt die Möglichkeit der Beeinflussung einer Farbe als solcher durch eine andere leugnet und den Farben nur die Fähigkeit zugesteht, auf Grau contrast-erregend zu wirken. Es liegt nämlich die Annahme ziemlich nahe, dass eine Farbenempfindung nur in soweit einer Modification ihrer Qualität durch den Contrast unterworfen ist, als die ihr beige-mischte achromatische Erregung eine Beeinflussung durch den Contrast zu erleiden vermag. Es lassen sich unter dieser Voraussetzung alle Erscheinungen des Farbencontrastes in ziemlich einfacher Weise erklären. Die eingehendere Behandlung dieser Frage, deren Bedeutung für die Theorie der Licht- und Farbenempfindung nicht zu verkennen ist, gehört jedoch nicht an diese Stelle und möge daher einer späteren Arbeit, welche die qualitativen Verhältnisse des simultanen Contrastes behandeln soll, vorbehalten bleiben.

Zusammenfassung.

1. Die Intensität des reinen simultanen Helligkeitscontrastes und wahrscheinlich auch des reinen simultanen Farbencontrastes wächst innerhalb der Grenzen der deutlichen Größenwahrnehmung des ruhenden Auges proportional der linearen Ausdehnung der inducirenden Netzhautpartie oder auch proportional der Quadratwurzel aus dem Flächeninhalt derselben.

2. Man kann eine contrasterregende Intensität unbeschadet der Stärke der Contrastwirkung durch eine geringere Intensität von entsprechend größerer Ausdehnung ersetzen. Es findet also auch für den Contrast eine reciproke Beziehung zwischen Ausdehnung und Intensität statt.

3. Der simultane Farbencontrast kommt am besten zur Geltung, wenn der Helligkeitscontrast ausgeschlossen oder auf ein Minimum reducirt ist.

4. Der simultane Contrast zwischen einem farbigen Eindrucke und einem Grau von gleicher Helligkeit wächst mit der Sättigung der inducirenden Farbe, jedoch nicht dieser letzteren proportional, sondern in geringerem Maße, wahrscheinlich in einem logarithmischen Verhältnisse.

5. Der simultane Contrast zwischen zwei Farben setzt sich aus zwei Componenten zusammen, deren quantitative Verhältnisse bei gleichförmiger Vermehrung oder Verminderung der Sättigung einer der beiden Farben sich in ungleichförmiger Weise und in entgegengesetztem Sinne ändern.

6. Der gegenseitige Contrast zwischen zwei Farben erreicht sein Maximum bei der Combination mittlerer Sättigungsgrade der beiden Farben.
