



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe

Brücke, Ernst Wilhelm von

Leipzig, 1887

§. 6. Das System der Farben.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75809](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75809)

§. 6. Das System der Farben.

Es ist meine Absicht im Folgenden zunächst diejenigen Farben in ein System zu bringen, welche wir in Pigmenten darstellen können, oder von denen es doch denkbar erscheint, dass dies in Folge der Erweiterung unserer chemischen Hilfsmittel möglich sein werde, also die Pigmentfarben im weitesten Sinne des Wortes.

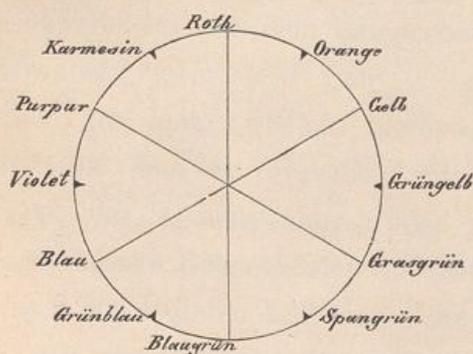


Fig. 9.

Man denke sich die gesättigten Farben in der Reihe, in der sie im Spectrum folgen, auf einen Kreis aufgetragen, und zwar so, dass je zwei Complementärfarben an den entgegengesetzten Enden eines Durchmessers dieses Kreises liegen; so erhält

man, indem man zwischen Roth und Violett die Purpurtinten einschaltet, vorstehenden Farbenkreis (Fig. 9). Die Winkelabstände der einzelnen Farben unter einander bleiben vorläufig unbestimmt; es wird nur verlangt, dass die Complementärfarben einander gegenüberstehen und die Reihenfolge nicht geändert werde. Ich könnte also auch den Farbenkreis

in vereinfachter Form so darstellen, wie die Fig. 10 zeigt. Ich würde dann zwischen Blau und Purpur Violet, und zwischen Gelb und Grün die Complementärfarbe des Violet, Grüngelb, einzuschalten haben.*) Nun denke

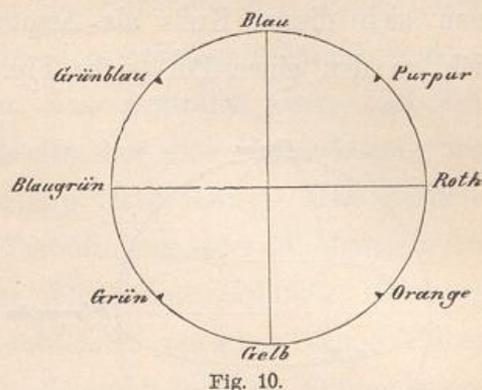


Fig. 10.

*) Die in den bekannten Werken über Farbenlehre aufgestellten Farbenkreise haben sämmtlich einen und denselben Fehler: die dem Ultramarin gegenüberstehende Farbe ist zu sehr orange, zu wenig gelb; meistens ist ausserdem das dem Spectralroth gegenübergestellte Grün zu wenig blaugrün. Auch der in Chevreul's Werk, *Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs d'après une méthode précise et expérimentale* (Paris 1861), in seinen verschiedenen Graden der Verdunkelung sehr schön dargestellte Farbenkreis leidet an diesen Mängeln. Der Kreis ist in 72 Farben getheilt. Die Abweichung in der Stellung vom Grün zum Roth mag etwa vier Farben, also $\frac{1}{18}$ des ganzen Kreises, betragen; den Fehler aber in der gegenseitigen Stellung von Ultramarin und Gelb kann man in Rücksicht auf den Sättigungsgrad, in dem der Farbenkreis, der die reinen Farben (*couleurs franches*) enthält, ausgeführt ist, auf $\frac{1}{8}$ des ganzen Kreises veranschlagen. Genau richtig ist der letztere in den Farben, welche der Mennige und dem derselben gegenüberstehenden grünlichen Blau entsprechen. Nach diesen Angaben wird der Leser beim Gebrauch dieses Farbenkreises, der wegen der Gleichmässigkeit seiner Ausführung wahrscheinlich an Verbreitung gewinnen wird, die nöthigen Verschiebungen vornehmen können, um die Complementärfarben einander richtig gegenüberzustellen. Einzelne Farbenkreise sind offenbar ohne alle physiologisch-optische Studien, lediglich nach der Mischung von Pigmenten, entworfen worden. Man construirte im Kreise ein gleichseitiges Dreieck, stellte an die Ecken desselben Roth, Blau und Gelb und ordnete nun die aus je zweien derselben entstehenden Mischfarben so in den zwischen ihnen liegenden Kreisbögen an, dass je zwei durch einen Diameter verbundene Farben mit einander vermischt eine dunkle, neutrale, tuscheähnliche Tinte gaben. Da man, wenn man Lasurfarben anwendet, aus drei Pigmenten auf weissem Papier fast Alles erzeugen kann, was der Aquarellmaler braucht; so sind dergleichen Farbenkreise, sorgfältig ausgeführt, für ihn nicht ohne Interesse,

man sich diesen Kreis als Aequator einer Kugel und denke sich an den einen Pol (siehe Fig. 11) Weiss gestellt, an den

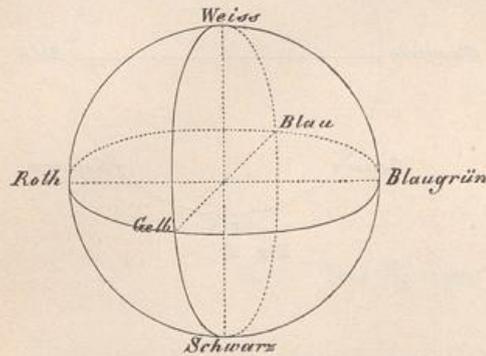


Fig. 11.

anderen Schwarz. Dann liegen auf dieser Kugel die sämtlichen Abstufungen zwischen den vollkommen gesättigten Farben und dem Weiss einerseits, dem Schwarz andererseits. Es sind dies die Schattirungen, welche man auch als solche der

vollkommen reinen Farben bezeichnet, weil die Farben derselben kein Grau enthalten. Alle Glieder einer Schattirung liegen auf einem und demselben Meridian. Verfolgt man die in der Fig. 11 senkrechte Axe von einem Pole zum anderen, so liegen in ihr alle Abstufungen des neutralen Grau vom

für die physikalisch-physiologische Farbenlehre haben sie aber keinerlei Bedeutung. Schon Lambert mischte alle Farben, das Weiss, welches der Grund bieten musste, natürlich ausgenommen, aus dreien, selbst das Schwarz, und Prangen erzählt, dass er einen niederländischen Maler gekannt habe, der im Auftrage seiner Landsleute berühmte Gemälde in deutschen Gallerien in Wasserfarben copirte und dabei sich keiner anderen Pigmente bediente, als des Karmins, des berliner Blau, des Gummi Gutt und der chinesischen Tusche. Es ist kein Zweifel, dass man durch Zuhülfenahme anderer Pigmente manche Farben in grösserer Intensität und Schönheit erzeugt, aber einen Repräsentanten kann man aus den genannten drei immer mischen. Die Streitfrage, ob man mit viel oder wenig Farben malen solle, ist eine alte und bereits in Field's Chromatographie (deutsch, Weimar 1836) discutirt. Die Ursache, weshalb die Farben auf der Palette des Malers andere Mischfarben geben als auf der Netzhaut, und weshalb mithin die aus den Resultaten von Pigmentmischungen abgeleiteten Farbensysteme als Grundlage sowohl für physiologische als für ästhetische Betrachtungen unbrauchbar sind, werden wir in §§. 7 und 14 kennen lernen.

Weiss bis zum Schwarz. In der Substanz der Kugel liegen also, wenn wir uns die Farbe stets allmählig geändert denken, alle Zwischenfarben zwischen dem neutralen Grau und den einzelnen reinen Farben. Es ist dies eine Farbenkugel, wie solche zuerst der Maler Philipp Otto Runge (Die Farbenkugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität, Hamburg 1810. 4^o) construirte und abbildete, nachdem schon früher Lambert die Farben ebenso vollständig in einer Pyramide angeordnet hatte.

Die Abbildung von Runge ist in hohem Grade unvollkommen, was wohl nur zum geringeren Theile seinen Grund hat im mangelhaften Verständniss des Autors, zum viel grösseren im fabrikmässigen Coloriren mit für solche Zwecke theilweise ungenügenden Pigmenten. Die Kugel hat auch vor der Pyramide Lambert's keinen absoluten Vorzug, und beiden kann man ein Ellipsoid, eine Spindel, einen Kegel oder, wie dies Doppler gethan hat, einen Kugeloctanten substituiren. Es handelt sich lediglich darum, welche Vorstellungen man sich von der Entfernung der verschiedenen reinen Farben vom Weiss und vom Schwarz macht. Da keine dieser Vorstellungen, so lange es sich um Pigmentfarben im Allgemeinen, nicht um bestimmte handelt, eine absolute Berechtigung hat; so bin ich aus folgenden Gründen bei der Kugel geblieben:

1) Die Kugel bevorzugt keine von den reinen Farben als Hauptfarben.

2) Alle Paare von Complementärfarben treten auf ihr in ein möglichst analoges Verhältniss.

3) Man kann sich auf der Kugel leicht orientiren, wenn man, nach Analogie der Erdkugel, vom Aequator, von Meridianen, von Breitenkreisen, vom schwarzen und weissen Pole, von der Axe u. s. w. spricht.

Gehen wir also näher in unser Kugel-Schema ein und stellen wir in Rücksicht auf dasselbe unsere Nomenklatur fest. Wir haben gesehen, dass wir uns jede Farbe vorstellen können als zusammengesetzt aus einer gesättigten Farbe und mehr oder weniger hellem oder dunklerem Grau (beziehungsweise Weiss oder Schwarz, vergl. §. 2). Diese gesättigte Farbe nun will ich die Tinte nennen. Ich bezeichne also als zu einer und derselben Tinte gehörig alle diejenigen Farben, welche durch einen Schnitt getroffen werden, der durch irgend einen Meridian gegen die Axe hin, aber nur bis zu dieser, geführt wird. Am Aequator steht z. B. irgendwo Ultramarin; durch diese Stelle geht ein Meridian. Ich lege nun meinen Schnitt so, dass dieser ganze Meridian von Pol zu Pol innerhalb desselben fällt und die Axe das Ende des Schnitts bezeichnet; dann habe ich alle Farben der Tinte Ultramarin und zugleich keine irgend einer anderen Tinte getroffen. Die Ebene eines solchen Schnitts nenne ich eine Meridianebene und denke sie mir immer durch die Axe begrenzt, nicht über dieselbe hinausgeführt. Ich denke mir ferner die Kugel aus lauter ineinander-

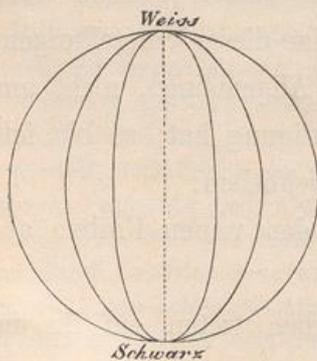


Fig. 12.

steckenden Ellipsoiden bestehend, die alle erzeugt sind durch Umdrehung von Ellipsen um ihre gemeinschaftliche grosse Axe, wie sie die bestehende Fig. 12 zeigt. Die äusserste dieser Ellipsen ist ein Kreis, und die bei der Umdrehung um den Durchmesser als Axe erzeugte Figur ist mithin die Kugel selbst. Durch einen Schnitt nun, den ich mir, wie vor-

erwähnt, in einem Meridian gegen die Axe und bis zur Axe gelegt denke, werden die Oberflächen aller dieser Ellipsoide getroffen, und die Farben, die in jedweder solcher Durch-

schnittlinie der Meridianebene mit der Oberfläche eines Ellipsoides liegen, bezeichne ich mit einander als eine Schattirung. Ich verstehe also unter Schattirung das, was die Stickerinnen unter einer Schattirung Wolle oder einer Schattirung Seide verstehen, eine Aufeinanderfolge von zusammengehörigen Farben von der hellsten bis zur dunkelsten. Man sieht leicht ein, dass jeder dieser Schattirungen nicht nur ihre eigene Tinte, sondern auch ihr eigener Sättigungsgrad zukommt, indem ihre Aequatorialfarbe immer zunächst nach innen von einer mehr gesättigten, zunächst nach aussen von einer weniger gesättigten Farbe derselben Tinte liegt. Es wird hiernach klar sein, was ich meine, wenn ich von zwei Farben sage, dass sie zwar derselben Tinte, aber verschiedenen Schattirungen angehören. Es wird klar sein, dass ich damit nicht meine, die eine sei dunkler als die andere, die beiden Farben befänden sich in unserer Kugel in ungleichen Entfernungen von dem einen oder dem anderen Pol; sondern dass ich damit sagen will, sie seien zwar in derselben Meridianebene, aber auf verschiedenen Ellipsoiden zu suchen. In jeder Schattirung unterscheide ich ferner die verschiedenen Helligkeitsgrade, die ich, mich einem herrschenden, wenn auch verwerflichen Sprachgebrauche fügend, als Töne bezeichne, und somit von dunkleren oder helleren Tönen einer Schattirung rede. Hiermit ist der Ort jeder Farbe in und auf der Kugel vollkommen bestimmt. Es ist bestimmt seine Meridianebene und es ist bestimmt sein Ellipsoid, dessen Oberfläche von der Meridianebene in einer Curve geschnitten wird, welche die eine Hälfte der Ellipse ausmacht, durch deren Umdrehung das Ellipsoid als entstanden gedacht werden kann. Der Ort der Farbe auf dieser Curve hängt nunmehr lediglich von seinem Helligkeitsgrade ab. Wir wollen uns vorstellen, dass alle gleich hellen Farben so liegen, dass ihre geradlinige Entfernung vom weissen Pole,

dividirt durch ihre geradlinige Entfernung vom schwarzen Pole, stets denselben Quotienten giebt. Dieser Quotient ist dann für die ganze Aequatorialebene begreiflich gleich Eins, und das neutrale Grau im Centrum muss dieselbe Helligkeit haben, wie die gesättigten Farben des Aequators.

Man darf sich indessen nicht verhehlen, dass sich gegen unser System wesentliche Bedenken erheben lassen. Zunächst dient demselben ein Farbenkreis als Grundlage, in dem zwar die Ergänzungsfarben einander richtig gegenübergestellt, aber im Uebrigen die Bogenabstände der Farben willkürlich gewählt sind, und zweitens kann man zwar in der Idee alle Pigmentfarben leicht in der Kugel unterbringen, wenn wir aber thatsächlich auch nur die gewöhnlichsten derselben, Zinnober, Neapelgelb, Ultramarin u. s. w. einreihen sollten, so würden wir scheitern, weil wir bis da die Mittel nicht kennen, um die nöthigen messenden Bestimmungen an ihnen auszuführen.

Was den ersteren Punkt anlangt, so vertheilte Newton den Farbenkreis unter seine sieben Hauptfarben, Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett nach den Verhältnissen der musikalischen Tonleiter, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$. Hierdurch wurde eine Anordnung erzielt, in welcher, so weit sich dies jetzt noch nach Newton's Messungen und Bezeichnungen beurtheilen lässt*), die Ergänzungsfarben einander nahezu richtig gegenübergestellt waren. Da indessen für die heutige Naturwissenschaft die Vergleichung der Farben des Farbenkreises mit der Tonleiter keinen Sinn mehr hat, ist auch keine Veranlassung mehr vorhanden, aus ihr die Principien für die Winkelabstände der einzelnen Farben abzuleiten.

*) H. Grassmann: Zur Theorie der Farbenmischung. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Bd. 89, S. 76.

Abgesehen davon, dass man die Complementärfarben einander genau gegenüberstellt, kann man darnach trachten und hat darnach getrachtet, dass alle Farben in ihren Abstufungen einigermassen gleichmässig vertreten seien. Man wird z. B. nicht das Gelb wenige Grade vom Roth entfernt anbringen; denn dann würden sich alle Abstufungen vom Roth zum Gelb und vom Blaugrün zum Ultramarin auf wenige Grade zusammendrängen, während den Abstufungen zwischen Gelb und Blaugrün und den Abstufungen zwischen Ultramarin und Roth ein ungehörlich grosser Raum angewiesen wäre. Andererseits lässt sich keine bestimmte Regel aufstellen, vermöge welcher eine völlig gleichmässige Vertheilung erzielt werden könnte. Die Vertheilung würde gleichmässig genannt werden können, wenn der Winkelabstand zweier Nüancen, welche wir eben noch zu unterscheiden im Stande sind, in allen Theilen des Farbenkreises gleich gross ist. Unsere Unterschiedsempfindlichkeit aber ist für die verschiedenen Regionen des Farbenkreises nicht experimental bestimmt und ist möglicher Weise nicht für alle gleich. Mir ist es z. B. erschienen, als ob verschiedene Nüancen des Purpur genauer unterschieden würden, als verschiedene Nüancen des Grün. Ist dies richtig, so würde der Winkelabstand, der dem kleinsten merkbaren Unterschiede entspricht, in der Region des Grün grösser sein als in der Region des Purpur, und eine vollkommen gleichmässige Vertheilung in dem obenerwähnten Sinne würde unvereinbar sein mit dem obersten Principe, welches uns bei der Anordnung der Farben im Farbenkreise leitet, mit dem Principe, dass die Ergänzungsfarben einander diametral gegenüber liegen sollen.

Man kann die Willkür darauf beschränken, dass man drei Farben, die mit einander Weiss geben, an die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks stellt, und das Weiss, beziehungsweise

Grau, an denjenigen Punkt, welchen man als Schwerpunkt findet, indem man annimmt, dass jede Farbe an der Ecke, an der sie steht, mit einem Gewichte wirkt, das proportional ist der Menge, in der sie mit den beiden übrigen (auf der Netzhaut) gemischt werden muss, um neutrales Grau zu geben, während man dem Dreiecke als solchem keine in Betracht kommende Masse zuschreibt. Man kann dann durch ein von Maxwell*) angegebenes Verfahren die Stellung aller Farben, welche auf einem Farbenkreisel angebracht werden können, gegenüber den drei Farben, von denen man ausgegangen ist, nach demselben Principe ordnen. Maxwell findet, dass auf seinem Farbenkreisel (vergl. §. 5) neutrales Grau erscheint, wenn mittelst desselben 37 Theile Zinnober, 27 Theile Ultramarin und 36 Theile Smaragdgrün**) gemischt werden. Dieses Grau ist einem anderen gleich, welches er ebenfalls mittelst des Farbenkreisels aus 28 Theilen Weiss und 72 Theilen Schwarz mischt. Er stellt deshalb die Gleichung auf

$$37 V + 27 U + 36 G = 28 W + 72 B,$$

in der Zinnober mit V , Ultramarin mit U , Smaragdgrün mit G , Weiss mit W und Schwarz mit B bezeichnet ist.

Er zeichnet nun das gleichseitige Dreieck VUG , Fig. 13 (S. 67 u. 68), und sucht den Schwerpunkt, indem er erst VU im Verhältniss von 27 zu 37 theilt, den so gefundenen Punkt α durch eine gerade Linie mit G verbindet und dann αG im Verhältniss von $36 : (37 + 27)$ theilt. Der Schwerpunkt und somit der neutrale, der farblose Punkt liegt in W . Er mischt

*) Experiments on colour as perceived by the eye. Transactions of the royal society of Edinburgh. Vol. XXI, Part II (for the session 1854—55), pag. 275.

**) Emerald green, vert émeraude der Franzosen, durch zehn- bis zwanzigstündiges Erhitzen eines Gemenges von 1 Theil Kobaltoxyd, 2 Theilen chromsauren Kali und 3 Theilen Alaun bereitet.

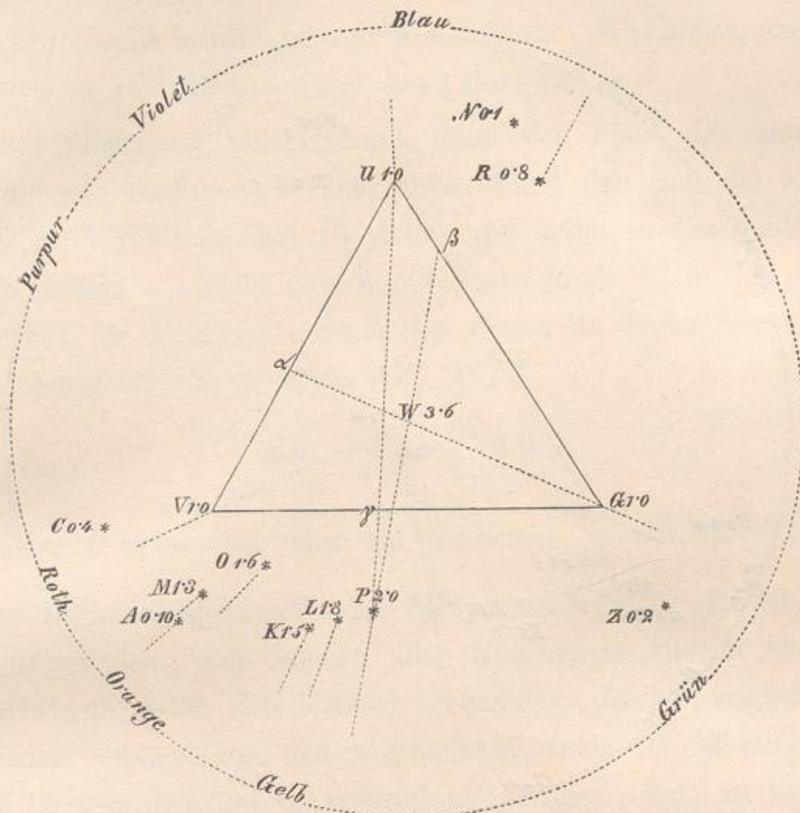


Fig. 13.

nun auf seinem Farbenkreisel Ultramarin, Smaragdgrün und blasses Chromgelb und erhält die Gleichung

$$33 P + 55 U + 12 G = 37 W + 63 B,$$

in der das blasser Chromgelb (pale chrome) mit P bezeichnet ist.

In der ersten Gleichung betrug das Weiss 28 Theile, das Schwarz 72 Theile der Peripherie. Unter der (nicht genau richtigen *Br.*) Voraussetzung also, dass vom Schwarz kein Licht reflectirt wurde, verhielt sich die Helligkeit des erzielten Grau zu der des Weiss wie 28 zu 100. Wenn ich die Helligkeit von einem Theil des erzielten Grau mit 1 bezeichne, wie ich die Helligkeit von 1 Theil Zinnober, Ultramarin und Smaragdgrün gleich 1 angenommen habe, so ergibt sich die Gesamthelligkeit auf jeder Seite des Gleichheitszeichens gleich 100.

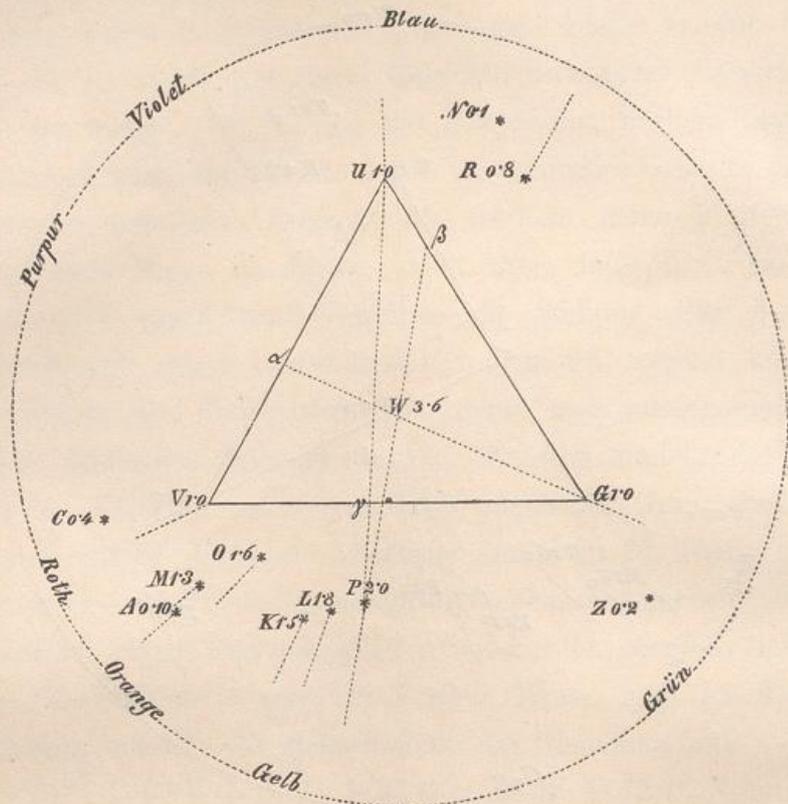


Fig. 13.

Um 100 zu erhalten, muss ich die gefundenen Theilstriche des Weiss mit $\frac{100}{28} = 3,57$ multipliciren. Dies ist dann ein Factor, mit dem ich auch die gefundenen Theilstriche des Weiss in der zweiten Gleichung multipliciren muss, wenn ich sie mit der ersten in Verbindung bringen will; denn ich erhalte hierdurch die Helligkeit auf jeder Seite des Gleichheitszeichens in demselben Grau ausgedrückt, welches mir der erste Versuch ergeben hatte. Ich erhalte so das, was Maxwell den corrigirten Werth des Weiss nennt und mit klein w bezeichnet. Er ist $37 \times 3,57 = 132$. Von diesem muss ich $55 U + 12 G$ abziehen, um den Antheil zu finden, welchen das blasse Chromgelb an der Totalhelligkeit hatte. Der Rest

ist 65. Das ist es, was Maxwell den corrigirten Werth von 33 Chromgelb nennt und mit p bezeichnet. Wir haben also

$$65 p + 55 U + 12 G = 132 w.$$

Dieser Gleichung entsprechend muss der Platz des blassen Chromgelb bestimmt werden. Man theilt demnach die Linie UG im Verhältniss von 12 zu 55 und findet so den Punkt β . Von diesem aus zieht man eine Gerade durch W , in der dann der Ort für P liegen muss. Um diesen zu finden dient die Gleichung $65 : (55 + 12) = \beta W : WP$,

$$\text{also } WP = \frac{67}{65} \beta W.$$

Diesem P muss aber dann ein Coefficient $\frac{65}{33} = 1,97$ oder auf eine Decimale abgerundet 2,0 beigegeben werden. Es ist dies der Coefficient, mit dem in allen Gleichungen die für blasses Chromgelb durch den Versuch gefundenen Zahlen multiplicirt werden müssen, um den sogenannten corrigirten Werth, der bei der Construction in Anwendung gezogen wird, zu finden. Maxwell controlirt nun dies sein Resultat auf folgende Weise. Er legt auf seinen Farbenkreisel blasses Chromgelb, Ultramarin und Schwarz und dazu statt der kleinen schwarzen und weissen Scheibe, die sonst den mittleren Theil einnehmen (vergl. §. 5, Fig. 7), eine solche mit Zinnober und eine andere mit Smaragdgrün. Alle diese fünf Scheiben richtet er so ein, dass die drei grösseren mit einander und die zwei kleineren mit einander die gleiche Farbe geben. Er findet aus diesem Versuche die Gleichung

$$39 P + 21 U + 40 S = 59 V + 41 G.$$

Verbindet man P mit U und V mit G durch gerade Linien, so kreuzen sich diese in γ . Dort liegt also die Mischfarbe, welche den beiden Combinationen, blass Chromgelb und Ultramarin, und der anderen, Zinnober und Smaragdgrün, gemeinschaftlich

sind. Setzt man $VG = 100$, so findet man durch directe Messung $V\gamma = 42$ und $\gamma G = 58$. Man hat also

$$58 V + 42 G = 100 \gamma,$$

ebenso findet man

$$78 P + 22 U = 100 \gamma;$$

78 ist aber ein der graphischen Construction entnommener, also corrigirter Werth für P . Will man daraus den Versuchswerth herstellen, so muss man durch 1,97 dividiren. So erhält man 39 P . Füllt man die so entstandene Lücke mit Schwarz, so hat man die Gleichung

$$39 P + 22 U + 39 S = 58 V + 42 G,$$

welche, wie man sieht, fast genau mit der aus dem directen Versuche abgeleiteten übereinstimmt.

In der Fig. 13 ist nach Maxwell eine Reihe von Pigmenten an ihren Ort und mit den dazugehörigen Coefficienten eingetragen. C bedeutet Karmin, M Mennige, A Auripigment-Orange, O Chromorange, K Chromgelb (hochgelbes), L Gummi Gutt, N preussisch Blau, R verditer Blau, Z braunschweiger Grün. Wenn man in diesem Farbensysteme vom weissen Centrum in irgend einer Richtung gegen die Peripherie fortschreitet, so gelangt man erst zu den weniger gesättigten, dann zu den mehr und mehr gesättigten Farben. Wenn man ferner nur je einen Radius in Betracht zieht, so findet man, dass die Coefficienten der helleren Farben stets höher, die der weniger hellen Farben stets niedriger sind. Man sieht, man hat hier ein System, in welchem die Farbe, ihre Sättigung und ihre Helligkeit ausgedrückt ist, ein System, direct anwendbar auf jeden concreten Fall, sobald sich nur die zu classificirende Farbe auf dem Farbenkreisel anbringen lässt, ein System endlich, das ausserdem den grossen Vortheil bietet, dass es sich in der Ebene darstellen lässt; aber es hat einen Fehler, der vor der Hand alle diese Vorzüge illusorisch macht: es beruht

auf einer willkürlichen, ja auf einer sicher unrichtigen Voraussetzung, nämlich auf der, dass man die Helligkeit von Zinnober, Ultramarin und Smaragdgrün als gleich annehmen dürfe; denn in der ersten Gleichung hat man die Helligkeit jeder dieser drei Farben willkürlich gleich 1 angenommen. Das ist auch der Grund, weshalb die Werthe, welche man auf verschiedenen Radien findet, nicht mit einander vergleichbar sind.

Es giebt einen Weg, ein ähnliches System aufzubauen, ohne dass man in diesen Irrthum verfällt. Mit Hilfe von sechs verschiedenen Farben, von denen wenigstens zwei einander der Tinte nach genau complementär sind, so dass sich aus ihnen ein vollkommen neutrales Grau bilden lässt, kann man unter Zuziehung von Schwarz und Weiss sieben Farbgleichungen erhalten, von denen jede ausser Schwarz und Weiss höchstens drei Farben enthält, und zwar jede andere als die übrigen. Eine achte Gleichung erhält man durch directe photometrische Bestimmung des Helligkeitsverhältnisses von Schwarz und Weiss. Man hat dann ebensoviel Gleichungen als Unbekannte und kann die Helligkeit aller dieser Farben in der Helligkeit einer willkürlich unter ihnen gewählten ausdrücken. Man wird also, wenn man drei von ihnen an die Ecken des gleichseitigen Dreiecks stellt, welches als Basis des Systems dient, auch wissen, welche Helligkeitscoefficienten man ihnen beizugeben hat. Ich habe vor Zeiten Sorge getragen, dass in meinem Laboratorium eine Untersuchung nach diesem Plan begonnen werde; allein die Schwierigkeiten, welche sich der Erlangung genauer Resultate entgegensezten, waren nicht zu überwinden. Erst wenn es gelungen sein wird, auf diesem Wege zu einem wirklich natürlichen System der Farben zu gelangen, in welches man die einzelnen Pigmente nach messenden Bestimmungen einreihen kann, erst dann wird es möglich sein, die ästhetischen

Beziehungen der Farben, die von ihrer natürlichen Stellung gegen einander abhängen, im Einzelnen zu verfolgen und die einzelnen Thatsachen, die uns aus der Erfahrung bekannt sind, unter sich in theoretischen Zusammenhang zu bringen.

Wir haben bisher nur von der Classification der Pigmentfarben gehandelt. Will man alle Farben, also auch solche von sehr grossen Lichtstärken, anordnen, so lassen sie sich nicht in geschlossener Form darstellen, weil es eben keine obere Grenze für die Lichtstärke giebt. Man kann sie passend unterbringen in einem Kegel, der dadurch entstanden ist, dass man einen Schenkel eines Winkels von 45° um den anderen als Axe gedreht hat. Die Spitze des Kegels soll absolut dunkel sein, und er soll in dem Grade heller werden, als sein Querschnitt wächst. Die Axe soll die Linie des neutralen Grau sein, und die vollkommen gesättigten Farben sollen sämmtlich im Kegelmantel liegen. Ich will hier kurz die Ableitung dieses Schemas geben.

Ich kann mir jede Farbe, so lange ich ihr Licht als solches betrachte, vorstellen als zusammengesetzt aus der absolut gesättigten Farbe, welche für sie charakteristisch ist, welche die Tinte der Farbe bedingt, und aus Weiss. (Vergl. §. 1.) Dieses Weiss kann ich mir wiederum in zwei Complemente zerlegt denken, von denen das eine die Farbe der charakteristischen Tinte, das andere die Ergänzungsfarbe zu derselben zeigt. Nenne ich nun dieses letztere Complement b , füge ich ferner das erstere dieser Complemente zu der vom Weiss befreiten Farbe und nenne ich die Summe beider a , so kann ich die Gleichung aufstellen

$$s = \frac{a - b}{a + b},$$

wobei unter a und b nicht Lichtstärken, sondern physiologische Intensitäten (vergl. §. 4) verstanden sein sollen, so dass im

Falle von $a = b$ die Farbenintensität $= 0$, d. h. Weiss hervor-
gebracht wird. Unter dieser Voraussetzung bedeutet s die
Sättigung der Farbe. Sie erreicht ihr Maximum $= 1$ für den
Fall, dass $b = 0$, also gar kein Weiss vorhanden ist: für alle
anderen hat sie den Werth eines echten Bruchs, der um so
mehr abfällt, je mehr sich der Werth von b dem von a nähert.
Setze ich nun $a + b = x$ und $a - b = y$, so habe ich $y = sx$,
und dies zeigt mir den Weg, nicht nur alle Helligkeitsgrade,
sondern auch alle Sättigungsgrade einer Farbe graphisch dar-
zustellen. Ich denke mir auf einer geraden Linie alle Ab-
stufungen von Schwarz zu Weiss aufgetragen: diese ist die
Abscissenaxe. Der Ort für eine jede Sättigungsstufe nun ist
gegeben durch den Werth von s , und alle gleichen Sättigungs-
stufen liegen in geraden Linien, welche von dem mit Schwarz
bezeichneten Nullpunkte der Abscissenaxe ausgehen. Alle Punkte
gleicher Helligkeit sollen gleiche Abscissen haben. Für den
Werth s gleich 1 macht die Linie gleicher Sättigungsstufen
mit der Abscissenaxe einen Winkel von 45° . Wenn ich also
mit einem bestimmten Helligkeitsgrade abschliesse, so liegen
alle Helligkeitsstufen der physikalisch vollkommen gesättigten
Farben, der Farben, die kein Weiss enthalten, in der Hypotenuse
eines rechtwinkligen gleichschenkeligen Dreiecks, in dessen
einer Kathete die verschiedenen Helligkeitsgrade des Grau vom
Schwarz bis zum Weiss liegen, in der anderen die hellsten
Farben, die ich in Betracht ziehe, von der vollkommen ge-
sättigten bis zum Weiss. Stecke ich mir keine bestimmte
Grenze, denke ich mir das Dreieck mehr und mehr vergrössert,
so kann ich auch alle denkbaren Helligkeitsgrade in demselben
unterbringen. Der Ort, den eine Farbe in diesem Dreiecke
einnimmt, bezeichnet aber nur ihren physikalischen Charakter;
soll ihr physiologischer Charakter daraus abgeleitet werden,
so muss man stets vor Augen haben, dass die gesättigten

Farben nur in mittleren Lichtstärken auf unser Auge den Eindruck von gesättigten Farben machen, dass sie bei zu geringer Lichtstärke undeutlich, bei zu grosser weisslich und endlich weiss werden. Aus dem Schema, welches ich hier für eine Tinte entworfen habe, lässt sich leicht ein solches ableiten, in dem alle Farben Platz finden. Ich drehe das Dreieck um die Kathete des neutralen Grau, dann erhalte ich einen Kegel, in dessen Axe das neutrale Grau, in dessen Mantel, im Kreise angeordnet, die gesättigten Farben liegen. Zwischen jeder einzelnen und der Axe finden sich die Uebergangsstufen zum Grau, beziehungsweise zum Weiss. Ziehe ich von irgend einer Farbe aus eine Senkrechte gegen die Axe und dividire die Länge dieser Senkrechten durch die Länge des Axenstücks, welches zwischen ihrem Durchschnittspunkte mit der Axe und dem Nullpunkte derselben liegt, so erhalte ich einen echten Bruch, der ihren Sättigungsgrad ausdrückt: wird dieser Quotient = 1, so ist die Farbe vollkommen gesättigt.

Begreiflich ist auch diese Anordnung eine bloss ideelle. Die thatsächliche Einordnung bestimmter Farben ist deshalb unmöglich, weil wir kein absolutes Maass für ihre Helligkeit und für ihre Sättigung besitzen.
