

## I. Der Inhalt des OSTWALDSchen Systems

Die Farben teilen sich bekanntlich [3] vom Standpunkt der Empfindung in bunte und unbunte ein. Bunte Farben sind aber im allgemeinen nicht allein bunt, sondern sie enthalten neben der Buntheit noch einen unbunten Bestandteil. Man sagt, die Buntheit ist durch die Unbuntheit, Schwarz und (oder) Weiß, teilweise verhüllt. Durch diese Verhüllung wird die Buntheit mehr oder weniger unterdrückt<sup>1)</sup>. Man sucht daher eine Farbreizvalenz durch die drei Eigenschaften: Farbton, Weißgehalt und Schwarzgehalt<sup>2)</sup> reizmetrisch zu kennzeichnen.

Von physikalisch interessierten Kreisen wird auch bei Körperfarben (d. h. bei nicht selbst leuchtenden Farben wie Pigmentfarben und Filtern) an Stelle des Schwarzgehaltes die Helligkeit (Leuchtdichte) gewählt.

Der Grund dafür, daß man den Schwarzgehalt vernachlässigt, ist der, daß die Helligkeit viel einfacher definiert und viel leichter bestimmt werden kann als der Schwarzgehalt.

Wir wollen andererseits an Beispielen erläutern, daß die Angabe der Helligkeit vom Empfindungsstandpunkt unter Umständen weniger anschaulich ist als diejenige des Schwarzgehaltes:

Wir denken uns eine gelbe und eine blaue Körperfarbe. Beide sollen wenig weiß- und schwarzverhüllt sein. Wir wollen annehmen, daß ihre reizmetrische Sättigung<sup>3)</sup> gleich groß ist. Das Gelb sieht in diesem Zustande infolge seiner hohen „spezifischen Helligkeit“ wesentlich heller aus als das Blau. Wir wollen nun die gelbe Farbe so weit abdunkeln, bis sie die reizmetrische Helligkeit ( $\bar{y}$ )<sup>4)</sup> des Blau erreicht hat. Bei dieser Herabsetzung der Helligkeit wird das Gelb stark schwarzverhüllt. Es verliert dadurch weitgehend an Buntheit. Obwohl also die beiden Farben vom üblichen reizmetrischen Standpunkt aus, abgesehen vom Farbton, gleiche Maßzahlen besitzen, denn die Sättigung ( $\sigma$  oder  $p$ ) und die Helligkeit ( $\bar{y}$ ) sind gleich, sieht das blaue Pigment sehr bunt aus, während das gelbe schwarzverhüllt und wenig bunt erscheint.

Allgemein kann man sagen, daß durch Herabsetzen der Helligkeit einer Körperfarbe ihre Buntheit nicht etwa erhalten bleibt, sondern daß sie in einer Schwarzverhüllung ertrinkt. Die obenerwähnten reizmetrischen Daten sagen darüber nichts aus, denn die reizmetrisch definierte „Sättigung“ bleibt beim Abdunkeln die gleiche. Während die physikalischen Korrelate der Weiß- und Schwarzverhüllung grundsätzlich zu trennen sind (s. später), besitzen beide Verhüllungsarten vom psychologischen Standpunkt, d. h. empfindungsmäßig die gleiche Funktion in dem Sinne, daß sie beide die Buntheit herabsetzen. Obwohl man bei reizmetrischer Beurteilung von einer Verminderung der Farbsättigung nur bei Erhöhung des Weißgehaltes spricht, sollte man das also in Analogie zu den psychologischen

<sup>1)</sup> Schwarz-, Weißverhüllung und Buntheit wollen wir als psychologische Begriffe aufgefaßt wissen. Die analogen reizmetrischen Begriffe sind Schwarz- und Weißanteil und die Farbigkeit, deren genaue Definition noch erfolgt.

<sup>2)</sup> Wir wollen vorläufig unter Weiß- und Schwarzgehalt ganz allgemein irgendein reizmetrisches Maß für die Menge an Weiß und Schwarz in der Farbe verstehen. Die Maßbegriffe Weißanteil, Schwarzanteil usw. werden in der Arbeit später genauer definiert (S. 196).

<sup>3)</sup> Etwa der spektrale Farbanteil  $\sigma$  oder die spektrale Farbdichte  $p$  (s. Normblatt DIN 5033, 4, 3).

<sup>4)</sup> Nach Normblatt DIN 5033 ist der mittlere Normalreizbetrag  $\bar{y}$  gleichzeitig die Helligkeit.

Erscheinungen bei Körperfarben ebenfalls bei Erhöhung des Schwarzgehaltes tun. Das ist von OSTWALD schon früh erkannt worden. Er begründete demnach sein System darauf, daß er den Weiß-, Schwarz- und Vollfarbenanteil (Definition später) durch drei Zahlen belegt. Die Summe der drei Anteile ist gleich 1. Infolge dieser Beschränkung ist einer der drei Werte von der Summe der übrigen abhängig. In Wirklichkeit liegen also nur zwei Bestimmungsstücke vor. Das dritte wird, wie üblich, durch den Farbton, etwa durch die farbtongleiche Wellenlänge, dargestellt.

Aus all dem geht hervor, daß die OSTWALD-Bestimmungsstücke der Empfindung weitgehend Rechnung tragen und daher mit ihr parallel gehen. Da sie aber reizmetrische Farbmaßzahlen darstellen, geben sie die Empfindung nur qualitativ wieder.

## II. Die Bedeutung der Maßzahlen für Schwarz, Weiß und Vollfarbe

### Der Schwarzgehalt

Wir müssen uns, um die Bedeutung der OSTWALD-Bestimmungsstücke kennenzulernen, erst einmal mit deren psychologischem und reizmetrischem Inhalt beschäftigen. Wir erheben zuerst die Frage, wie kommt Schwarzverhüllung zustande?

Wir machen folgende Versuche<sup>1)</sup>:

Versuch 1: In einem Dunkelraum mit schwarzen Wänden läuft ein Farbenkreisel, dessen ganze Fläche monochromatisches Licht ausstrahlt. Dabei wollen wir annehmen, daß man mit irgendeiner physikalischen Einrichtung, z. B. einer scheibenförmigen Entladungslampe, einen solchen Farbenkreisel herstellen kann. Der Farbenkreisel wirkt wie eine kreisförmige, stark farbige Lichtquelle. Der volle Sektor des Farbenkreisels wird jetzt mehr oder weniger schwarz abgedeckt, so daß nur noch ein Teil der monochromatischen Strahlung ausgesandt wird. Der laufende Kreisel wird immer lichtschwächer. Die Farbigkeit bleibt aber (wenn man von den Intensitäten absieht, bei denen das Stäbchensehen eintritt) immer voll erhalten. Man hat bis zuletzt den Eindruck von einer Lichtquelle in Form einer leuchtenden bunten Fläche. Sie ist zwar lichtschwächer geworden, aber der Eindruck von Schwarzverhüllung tritt trotz Hinzufügung des schwarzen Sektors nicht auf.

Versuch 2: Jetzt machen wir denselben Versuch noch einmal, aber so, daß der Kreisel mit einer weißen (etwa von hinten beleuchteten) Umgebung versehen wird. Die Leuchtdichte der weißen Umgebung wählen wir etwa gleich groß mit derjenigen der monochromatischen Kreiselscheibe. Bei vollem Sektor haben wir dann genau wie beim vorigen Versuch den Eindruck, daß der Kreisel selbst „leuchtet“<sup>2)</sup>, obwohl seine weißbeleuchtete Umgebung ausdrücklich gleich hell ist wie der Kreisel. Wird nun der farbige Sektor wiederum durch Abdecken mit Schwarz verkleinert, so hört bei einer gewissen Größe des Sektors (wenn auch nicht sehr scharf) der Eindruck

<sup>1)</sup> Der Inhalt der Versuche ist zum Teil jedem aus eigener Anschauung bekannt und in der Literatur (vgl. u. a. R. W. POHL, Einführung in die Optik, S. 330 ff, Berlin 1948) beschrieben. Wir haben selbst einiges ergänzt und bringen die Experimente in einer Form, die gewissermaßen als Gedankenexperiment zu verstehen ist. Wir beabsichtigen dadurch, den Sachverhalt mehr grundsätzlich darzustellen.

<sup>2)</sup> Von „Leuchten“ wollen wir dann sprechen, wenn der Gegenstand selbst Licht auszusenden scheint, auch dann, wenn er das Licht von einer (etwa verborgenen) Lichtquelle erhält und reflektiert.



des „Leuchtens“ auf, so daß man jetzt die Empfindung hat, der Kreisel sei ein kreisförmiger Anstrich auf der weißen Umgebung. Zweckmäßig ist es, bei solchen Versuchen unscharf zu akkommodieren, damit die Oberfläche der Lampe nicht mit allen Einzelheiten beobachtet werden kann. Vergrößert man den Schwarzsektor noch weiter, so wird nunmehr die Buntheit verringert, und es tritt Schwarzverhüllung auf.

Wir lernen aus diesen beiden Versuchen, daß im Dunkelraum, d. h. bei schwarzer Umgebung, niemals, wohl aber bei weißer oder, besser gesagt, bei heller Umgebung, d. h. nur dann, wenn man die Leuchtdichte der Farbe mit einer anderen vergleichen kann, Schwarzverhüllung auftritt. Ferner lernen wir den Unterschied kennen zwischen reiner Helligkeitsverminderung, die bei schwarzer Umgebung auftritt, und Schwarzverhüllung, die wir bei Helligkeitsverminderung in heller Umgebung beobachten.

Versuch 3: Wir machen nun den Kreiselversuch noch einmal, aber nicht im Dunkelraum und nicht mehr mit weißer Umgebung, sondern in einem gewöhnlichen, also von einer normalen Lichtquelle erleuchteten Hellraume; der farbige Sektor selbst soll nicht reflektieren. Wir werden beobachten, daß man auch hier beim Belegen der Lampe mit schwarzen Sektoren einen Punkt findet, von dem aus bei Vergrößerung des farbigen Sektors Leuchten, bei Verkleinerung Schwarzverhüllung auftritt. Auch bei diesem Versuche muß man durch unscharfes Akkommodieren vermeiden, daß man die Umrisse der Lampe und ihre Einzelheiten zu genau erkennen kann und man den Eindruck hat, als ob die Lampe bei kleinen Sektoren ihr Licht nicht aus sich selbst, sondern durch Reflexion der Raumbeleuchtung erhielte. Es muß daher auch vermieden werden, daß die Lampe nahe bei ihr gelegene Gegenstände beleuchtet.

Der Versuch lehrt, daß zur Hervorrufung der Schwarzverhüllung nicht unbedingt eine weiße Umgebung vorhanden zu sein braucht. Sie kann durch die Summe von normal beleuchteten und beschatteten Gegenständen ersetzt werden, die sich irgendwo im normal beleuchteten Raume befinden.

Wir machen nun die drei Versuche noch einmal, indem wir die monochromatische Lichtquelle durch eine möglichst gesättigte Pigmentfarbe ersetzen, die wir von vorn mit einer versteckten Projektionslampe beleuchten. Führt man den Versuch (Versuch 1a) im Dunkelraum ohne weiße Umgebung aus, und zwar möglichst wieder so, daß man durch ungenügende Akkommodation oder durch Betrachtung aus weiter Ferne die Struktur des Pigmentes zum Verschwinden bringt und so, daß die den Kreisel anstrahlende Lichtquelle unmerklich versteckt liegt, so hat man auch hier den Eindruck, als ob die Scheibe leuchte, selbst wenn der farbige Sektor noch stark verkleinert wird.

Versuch 2a: Bei weißer Umgebung (konstanter Helligkeit) tritt ebenfalls genau das gleiche ein wie früher. Die Scheibe sieht leuchtend oder schwarzverhüllt aus, je nachdem, ob wir uns oberhalb oder unterhalb des wie oben charakterisierten Punktes befinden.

Versuch 3a: Der Kreisel in normaler Hellraumumgebung zeigt nunmehr genau wie früher zunehmende Schwarzverhüllung, je größer die Schwarzabdeckung des farbigen Sektors gewählt wird. Ein Leuchten tritt nicht mehr auf, es müßte denn sein, daß man den Kreisel mit einer genügend starken Lichtquelle zusätzlich, ohne daß man ihren Ort kennt, anstrahlt und man wieder unscharf akkommodiert. Das Leuchten entsteht ohne diese Zusatzbeleuchtung deshalb nicht, weil ein Pigment ja

kein Selbstleuchter ist und daher seine Leuchtdichte über ein gewisses Maß hinaus nicht gesteigert werden kann.

Durch die Versuche 1a bis 3a wollen wir zeigen, daß auch ein Pigment bei geeigneter Beleuchtung den Eindruck des Leuchtens hervorrufen kann. Damit ist der Begriff dafür, was wir Leuchten nennen, deutlicher zum Ausdruck gekommen.

Allgemein aus allen Versuchen lernen wir, daß Schwarzverhüllung nur auftritt, wenn eine Vergleichsmöglichkeit der Leuchtdichten des farbigen Gegenstandes und der Umgebung vorhanden ist.

Im Falle einer weißen Umgebung im Dunkelraum kann man die Schwarzverhüllung auch dadurch erzeugen, daß man den farbigen vollen Sektor unverändert läßt, dafür aber die Helligkeit der Umgebung steigert. Daraus ergibt sich aber, daß die Schwarzverhüllung in diesem Falle je nach der Umgebung variabel ist.

Anders liegen indessen die Verhältnisse bei normaler Umgebung und Beleuchtung. Hier wird die Summe aller Lichtwirkungen (Lage und Stärke der Lichtquelle, Beleuchtung und Beschattung der umgebenden Gegenstände usw.) mit der zu untersuchenden Farbe verglichen. Diese Summe ist praktisch die gleiche, wenn man nicht allzu extreme Beleuchtungsverhältnisse wählt<sup>1)</sup>. Außerdem sorgt der zentrale Teil des Sehorgans, der im Gehirn seinen Sitz hat, immer dafür, daß instinktiv alle Vergleichsmöglichkeiten durch eine unbewußte „Beurteilung der Beleuchtungsverhältnisse“ in richtigem Maße herangezogen werden. Ferner muß man beachten, daß, wenn durch Erhöhung der Lichtintensität der Lichtquelle eine Erhöhung der Leuchtdichte der umgebenden Gegenstände erfolgt, auch die zu untersuchende Pigmentfarbe heller wird. Alles dies wirkt darauf hin, daß die Schwarzverhüllung in normaler Umgebung und bei nicht allzu extremen Beleuchtungsverhältnissen für ein Pigment konstant ist, insbesondere dann, wenn man die Beobachtungsverhältnisse irgendwie normiert.

Und aus den obigen Versuchen ergibt sich ferner: Für die Verschwärzlichung existiert ein Nullpunkt, nämlich die Grenze zwischen Leuchten und der eben noch merklichen Verschwärzlichung. Weiter lernen wir aus den Versuchen, daß als reizmetrisches Maß für die absolute Schwarzverhüllung die Größe des Schwarzsektors angesehen werden kann, der über denjenigen hinausgeht, der dem genannten Nullpunkt entspricht.

Damit haben wir aber gleichzeitig das physikalische Korrelat der Schwarzverhüllung gefunden. In Abb. 1 sei  $b$  die Remissionsfunktion<sup>2)</sup> der Pigmentfarbe, die wir auf

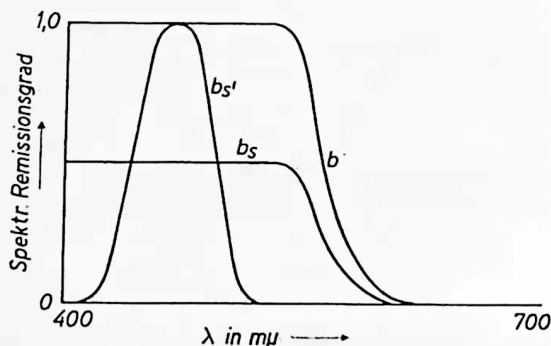


Abb. 1. Physikalisches Korrelat der Schwarzverhüllung.

<sup>1)</sup> Zum Beispiel darf man den farbigen Gegenstand nicht von einem hellerleuchteten Zimmer aus in einer dunklen, stark beschatteten Ecke betrachten.

<sup>2)</sup> Der Remissionsgrad ist die Leuchtdichte des Pigmentes, gemessen in der Einheit der Remission einer ideal weißen Fläche. Die letztere hat also die Remission 1.

dem Farbkreis voll aufziehen. Setzen wir den Remissionsgrad für jede Wellenlänge auf die Hälfte herab, so wird eine neue Kurve  $b_1$  gebildet. Das zugehörige Pigment entsteht, wenn wir den Vollsektor des Farbkreisels mit dem Farbreiz  $b$  zur Hälfte mit Schwarz bedecken. Das heißt also, das physikalische Korrelat für die Schwarzverhüllung einer Farbe ist die Herabsetzung des spektralen Remissionsgrades um einen konstanten Faktor<sup>1)</sup>.

Eine Schwarzverhüllung kann noch durch eine andere Veränderung des spektralen Remissionsgrades eintreten, und zwar durch eine Einengung des Spektralbereiches, wie dies in Kurve  $b'_1$  von Abb. 1 dargestellt ist. Man vergleiche Kurve  $b$  mit  $b'_1$ . Auch

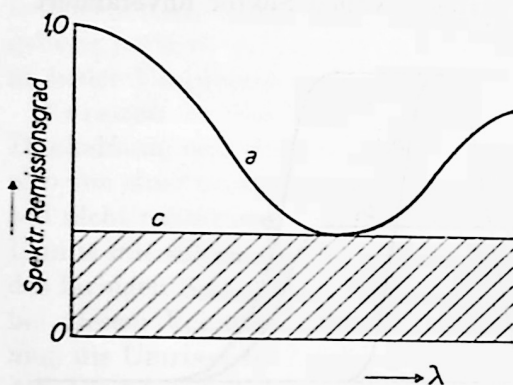


Abb. 2. Physikalisches Korrelat der Weißverhüllung.

in diesem Falle  $b'_1$  wird vom Pigment relativ zur allgemeinen Umgebung, insbesondere zu  $b$ , weniger Licht remittiert. Dieses „Einengungsschwarz“ ist nicht so leicht zu bestimmen, da nicht bekannt ist, in welchem Maße Schwarz auftritt, wenn wir von dem Spektralbereich  $b$  (Abb. 1) etwa 10 mμ auf beiden Seiten abschneiden. Man darf hier nicht den Fehler begehen, daß man sagt: Ich kenne doch beim Einengen die Änderung der Helligkeit und im gleichen Maße muß Schwarz auftreten. Dieser Schluß ist falsch, weil sich beim Einengen gleichzeitig das Verhältnis von Weiß zur Buntheit ändert. Es treten auf diese Weise zunächst

unübersehbare Komplikationen auf. Diese Komplikationen fehlen bei der gleichmäßigen Herabsetzung des spektralen Remissionsgrades.

### Der Weißgehalt

Mischt man zwei Spektralreize, so entsteht eine Farbe, die gegenüber dem gleichfarbigen Spektralreiz mehr oder weniger verweißlicht empfunden wird. Da die Körperfarben größere Teile des Spektrums umfassen, sind sie also immer weißverhüllt. Das physikalische Korrelat der Weißverhüllung besteht also in einer gewissen Ausdehnung der spektralen Zusammensetzung des Farbreizes. Vergleiche noch einmal Abb. 1, in der  $b$  eine „weißere“ Farbe darstellt als  $b'_1$ . In Analogie zum „Einengungsschwarz“ wollen wir von einem „Ausdehnungsweiß“ reden.

Weißverhüllung kann aber auch noch durch eine andere spektrale Eigenschaft des Remissionsgrades zustande kommen, wie wir aus Abb. 2 ersehen.

Den Farbreiz, der durch die Kurve des spektralen Remissionsgrades  $a$  dargestellt ist, können wir als additive Mischung des Farbreizes, der durch  $c$  und durch denjenigen, der durch die Differenz des spektralen Remissionsgrades von  $a$  und  $c$  dargestellt wird, bezeichnen. Der schraffierte Teil ist also ebenfalls ein Teil des Weißgehaltes, der sich leicht bestimmen läßt.

<sup>1)</sup> Natürlich kann die ursprüngliche Farbe  $b$  auch schon an sich verschwärzlicht sein. Wir erhalten dann durch die Herabsetzung des Remissionsgrades eine zusätzliche Schwarzverhüllung.

## Der Vollfarbengehalt

Denkt man sich bei einer weißen Körperfarbe, deren Remissionsfunktion konstant gleich 1 ist, das Remissionsspektrum allmählich eingeengt, so tritt eine Buntheit auf. Zuerst ist die entstehende Farbe aber durch viel Ausdehnungsweiß noch stark weißverhüllt. Durch weiteres Einengen, das bei diesem Versuche so ausgeführt wird, daß der Farbton unverändert bleibt, tritt das Weiß zurück und die Buntheit immer mehr hervor. Diese Buntheit erreicht dabei ein Maximum, denn durch das Einengen entsteht schließlich eine so große Schwarzverhüllung, daß die Buntheit wieder verschwindet.

Es läßt sich nun zeigen, daß das Maximum an Buntheit empfindungsgemäß ungefähr, reizmetrisch<sup>1)</sup> dagegen genau, dann erreicht wird, wenn diese Einengungsgrenzen gerade bei Gegenwellenlängen<sup>2)</sup> liegen: Die Gesamtheit aller eben beschriebenen Farbreize mit je zwei senkrechten Grenzen, wo der Remissionsgrad von 0 auf 1 springt, nennt man Optimalfarben und speziell diejenige mit Gegenwellen als Grenzen Vollfarben.

Unter allen Pigmentfarben gleichen Farbortes im Farbdreieck (Farbreize gleicher Reizart) sind die Optimalfarben die hellsten Körperfarben, wie SCHRÖDINGER [4] bewies.

## Das physikalische Korrelat der OSTWALDSchen Maßzahlen

Abb. 3 (a) stellt die Remissionsfunktion einer Körperfarbe dar. Es ist allgemein möglich, eine zweite Remissionskurve (b) zu konstruieren, die folgende Eigenschaften besitzt:

1. Das so entstehende Pigment (b) sieht trotz verschiedener physikalischer Zusammensetzung ebenso aus wie a, d. h. „Die Pigmente a und b besitzen bedingt gleiche Farbreizvalenzen“. Man sagte früher, sie seien metamer.

2. Die Kurve (b) besitzt eckige Form. Sie enthält einen horizontalen niedrigen Teil  $W_1W_2$  und einen erhöhten Teil  $V_1$  mit gleichmäßiger Remission.

3. Die Grenzen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  des erhöhten Teiles  $V_1$  liegen bei Gegenwellenlängen.

Die Kurve b kann nun folgendermaßen interpretiert werden:

Der Kurventeil  $W_1$  und  $W_2$ , vervollständigt durch den gestrichelten Teil  $W_3$ , entspricht einem Weißreiz. (Beleuchtung mit einem äquinergetischen Spektrum vorausgesetzt.) Die Menge des Weißreizes kann durch die Ordinate  $w$  charakterisiert werden. Der Kurventeil  $V_1$  kann aufgefaßt werden als Remissionsfunktion einer abgedunkelten Vollfarbe. Die Vollfarbe ist nämlich nicht mit voller Intensität vertreten, sondern nur mit dem Betrage  $v$ . Der gesamte Kurvenzug  $W_1 + V_1 + W_2$  stellt die additive Mischung von  $w + v$  dar. Setzen wir den Abstand des Maximums von b von der Horizontalen durch den Ordinatenwert 1,0 gleich  $s$ , so folgt

$$s + v + w = 1.$$

Diese Darstellung durch diese Summe setzt uns in den Stand, eine anschauliche Deutung für das Gemisch anzugeben. Sie stellen die sogenannten anteiligen Kom-

<sup>1)</sup> Was das heißt, wird später erläutert (S. 204).

<sup>2)</sup> Gegenwellenlängen sind solche, deren Spektralreize in gewissem Verhältnis gemischt Unbunt ergeben.



ponenten  $v$  und  $w$  auf einem Farbkreis dar (Abb. 4). Der Restsektor ist physikalisch gewissermaßen nicht vorhanden. Er stellt also das Schwarz  $s$  dar. Man nennt die Werte  $w$ ,  $s$  und  $v$  daher den Weiß-, Schwarz- und Vollfarbenanteil.

Der Sektor  $s$  als Bruchteil des Gesamtkreises ist identisch mit dem Werte  $s$  der Abb. 3. Denn sowohl in Abb. 3 als auch in Abb. 4 ist  $s = 1 - (w + v)$ .  $s$  und  $w$  sind

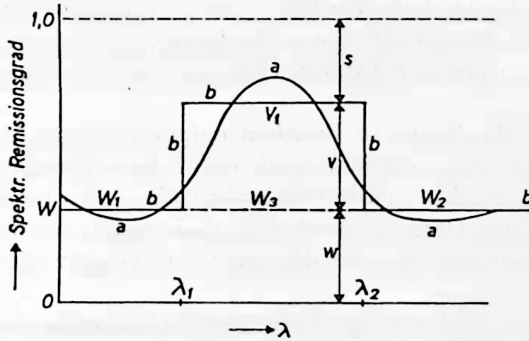


Abb. 3.  
Physikalisches Korrelat der OSTWALD-Maßzahlen.

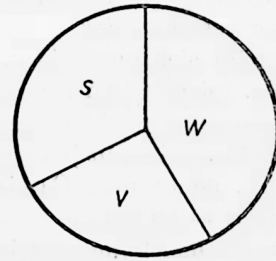


Abb. 4.  
Der OSTWALDSche Farbkreis.

die Schwarz- und Weißanteile bezüglich des Vollfarbenanteiles  $v$ . Als dritte Maßzahl wählt man irgendeine Kennzeichnung des Farbtones, z. B. die farbtongleiche Wellenlänge  $\lambda_f$ , d. h. die Wellenlänge desjenigen Spektralreizes, dessen additive Mischung mit Weiß zu der gleichen Farbe führt.

### III. Gewisse Nachteile des OSTWALDSchen Systems

Diese an sich außerordentlich anschauliche und daher so wertvolle Maßzahlentriade von OSTWALD besitzt nun, abgesehen von der abweichenden und nicht ganz einwandfreien Bestimmungsmethode OSTWALDS<sup>1)</sup> folgende Nachteile:

I. Die Schwarz- und Weißanteile stellen nicht die wahren Unbuntanteile dar. Der Grund dafür ist der, daß schon die Vollfarbe, wenn auch in sehr geringem Maße, weiß und schwarzverhüllt ist, wie wir später zeigen werden. Um die wahren Anteile zu bekommen, müßte man zu  $s$  und  $w$  die entsprechenden Schwarz- und Weiß-Werte der Vollfarbe (multipliziert mit dem Sektor  $v$ ) hinzufügen und den  $v$ -Sektor durch einen kleineren ersetzen, wobei jetzt an Stelle der Vollfarbe eine weder schwarz- noch weißverhüllte zu setzen wäre. Vorerst sind diese Werte nicht bekannt. Wir kommen hierauf noch genauer zurück.

II. Ein weiterer Nachteil der OSTWALDSchen Maßzahlen besteht darin, daß man als farbigen Anteil die Vollfarbe wählt. Obwohl die Vollfarbe reizmetrisch sehr wohl definiert ist — sie ist nämlich die Optimalfarbe, deren Spektralgrenzen bei Gegenwellenlängen liegen —, besitzt sie doch keine große Anschaulichkeit. Das liegt daran, daß eine Vollfarbe als Körperfarbe praktisch nicht realisiert werden kann.

<sup>1)</sup> OSTWALD bestimmt  $s$  und  $w$  nicht von Kurve  $b$ , sondern von  $a$  (Abb. 14); vgl. hierzu RICHTER [5].

III. Mit Hilfe des OSTWALDSchen Systems lassen sich eine Reihe von Farben — es handelt sich um die Optimalfarben, die einen weiteren oder engeren Spektralbereich besitzen als die Vollfarben, ferner um gewisse schwache Abdunklungen dieser Optimalfarben — nicht mehr mit positiven OSTWALD-Maßzahlen darstellen, vielmehr muß man zu negativen Schwarz- und Weißanteilen greifen. Es muß indessen zugegeben werden, daß diese von LUTHER sogenannten Fehlfarben als Pigmente in der Natur nur sehr selten vorkommen. Nach LUTHER ist die Farbe des Smaragd eine Fehlfarbe [2]. Auch Filter sehr engen Spektralbereiches gehören hierher.

#### IV. Erweiterung des OSTWALDSchen Systems

Diese Nachteile des OSTWALDSchen Systems lassen sich grundsätzlich beheben.

Man hat in der Vollfarbe die geringen Mengen von Schwarz und Weiß festzustellen und die entsprechenden Werte den OSTWALDSchen Schwarz- und Weißanteilen hinzuzufügen. Die Vollfarbe ist durch eine solche Farbe zu ersetzen, die in Wahrheit nicht mehr schwarz- und weißverhüllt ist. Diese Farbe sähe noch bunter aus als die Vollfarbe. Wir kommen auf diese Weise zu einem Spektralreiz und eliminieren dadurch gleichzeitig die Unanschaulichkeit der Vollfarbe.

Nun wird man einwenden:

Ein Spektralreiz entspricht nicht einer Körperfarbe. Hiergegen darf gesagt werden: Auch die Vollfarbe existiert normalerweise als Körperfarbe nicht; wollte man ihn realisieren, müßte man sie aus einem Spektrum herausblenden (wie es RÖSCH [6] tat) und das durch additive Mischung dieses Spektralbereiches entstehende Licht auf eine Projektionswand werfen. Man müßte ferner dafür sorgen, um diesem farbigen Fleck das Aussehen einer Körperfarbe zu geben, daß er eine weiße Umgebung bekommt, deren Leuchtdichte gleich ist derjenigen, die entsteht, wenn man das Gesamtspektrum auf eine gleich große Fläche projiziert, die der farbige Fleck einnimmt. Man vergleiche hierzu das über die Entstehung der Schwarzverhüllung eingangs Gesagte<sup>1)</sup>. Der Spektralreiz kann in entsprechender Weise gewissermaßen als sehr enge Optimalfarbe dargestellt werden.

Ein zweiter Einwand ist, daß ein nur monochromatisches Licht reflektierendes Pigment wegen des besonders hohen Einengungsschwarzgehaltes schwarz aussieht. Dem kann nach dem Erörterten sehr einfach dadurch begegnet werden, daß man die Helligkeit der Spektralfarbe in folgender Weise steigert: Wählt man in weißer Umgebung die Intensität des Spektralreizes durch besondere Projektionseinrichtungen so, wie sie in dem Weißspektrum der Umgebung vorkommt, so erscheint sie schwarz. Steigert man ihre Intensität, ohne die Helligkeit der Umgebung zu ändern, so verliert die Farbe die Schwarzverhüllung und bei bestimmter Helligkeit ist die Schwärzlichkeit völlig verschwunden. Wir wählen nun den Spektralreiz auf unserem Sektor in dieser ausgezeichneten Helligkeit. Bei Überschreiten dieser Helligkeit tritt ein Leuchten des Spektralreizes auf.

<sup>1)</sup> Zweckmäßig wäre es, der weißen Umgebung noch einige Gegenstände hinzuzufügen, welche gleichzeitig mit ihr beleuchtet werden. Man erhält auf diese Weise eine „normale“ Umgebung, die bei späteren eingehenden Versuchen genormt werden müßte. Wir wollen im folgenden der Kürze halber immer nur von der weißen Umgebung allein reden.

Dieser Spektralreiz läßt sich natürlich nun nicht, wie schon aus dem Obigen zu sehen ist, als Pigment auf den Kreisel aufbringen. Man kann den Sektor etwa so realisieren, wie es auf S. 197 geschah, oder dadurch, daß man ihn aus dem Kreisel ausspart und das System von hinten mit spektralem Licht entsprechender Helligkeit beleuchtet. An sich ist es aber einerlei, wie man das System realisiert.

Da die Spektralreize die gesättigsten Farbreize darstellen, welche realisierbar sind, so kann man sie praktisch auch als Nullpunkt für die Weißbestimmung ansehen. Wir wollen den Weißanteil, der von hier aus gerechnet wird, den wahren Weißanteil nennen. Gegen diese Auffassung kann eingewandt werden, daß die Spektralreize verschieden gesättigt empfunden werden [7]. Man müßte das im Spektralreiz noch vorhandene Weiß bestimmen und diese Werte in Rechnung setzen.

Die Sektoren Schwarz  $s$  und Weiß  $w$  stellen also nunmehr die wahren Schwarz- und Weißanteile des Farbreizes dar, die wir neben dieser neuen „Vollsfarbe“ aufziehen, und es sei nochmals hinzugefügt: der Sektor  $v$  gibt uns einen wohldefinierten – und es will uns scheinen, auch anschaulicheren – Buntanteil an als die frühere Vollfarbe.

Es läßt sich zeigen, daß ein solches System nunmehr alle Körperfarben durch positive Maßzahlen darstellt. Im Laufe unserer weiteren Betrachtungen wird das noch deutlicher werden.

## V. Die Verwirklichung des neuen Systems

Wir kommen nun zu der Ableitung des neuen OSTWALD-Systems und müssen dabei demjenigen, der sich mit der Materie weniger beschäftigt hat, sich aber mit ihr

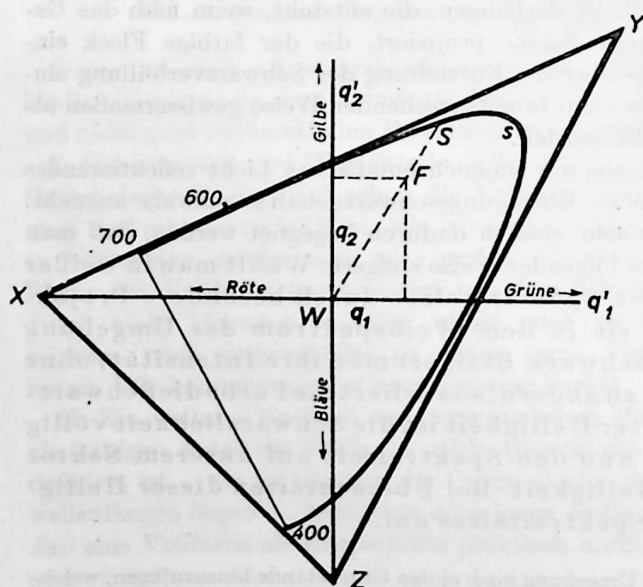


Abb. 5. Farbdreieck mit aufeinander senkrecht stehenden Mittellinien.

im Interesse der Farbenphotographie beschäftigen will, eine eingehende Hilfe geben, indem wir eine ausführliche Beschreibung der LUTHERschen und RICHTERSchen Gedankengänge bringen. Aus den Arbeiten dieser Autoren kann wohl im wesentlichen nur der Eingeweihte Nutzen ziehen.

Vorerst müssen wir den Begriff Farbmoment ableiten, weil wir ihn später besonders anwenden müssen.

Entsprechend den Arbeiten von R. LUTHER definieren wir das (leukozentrische) Farbmoment  $M$  als Produkt des Farbreizgewichtes  $\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$  (Summe der Normalreizbe

träge =  $\Sigma$ , Normblatt DIN 5033 3, 4) mit dem Abstand des Unbuntpunktes  $W$  (Schwerpunkt des Farbdreiecks) von dem Farbort  $F$  im Farbdreieck.

$$M = (\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}) WF.$$

Als Farbdreieck wählen wir das gleichschenklige der Abb. 6 im Normblatt (hier Abb. 5). Es entsteht durch Parallelprojektion des bekannten gleichseitigen Dreiecks. Das Dreieck Abb. 5 zeichnet sich dadurch aus, daß die Mittellinien aufeinander senkrecht stehen. Der Unbuntpunkt  $W$  ist der Schnittpunkt dieser beiden Achsen.

Der Farbort  $F$  ist bekanntlich gleichzeitig der Schwerpunkt des Dreiecks dann, wenn man an die Ecken  $X Y Z$  die entsprechenden Normalreizbeträge  $\bar{x} \bar{y} \bar{z}$  als Gewichte anhängt. Bei Unterstützung in  $F$  ist das Dreieck also im Gleichgewicht. In  $F$  drückt in negativer Richtung  $\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$ .

Legt man durch das Dreieck Drehachsen  $q'_1$  bzw.  $q'_2$ , so muß bei obiger Gewichtsverteilung auch für sie Gleichgewicht herrschen und daher die Summe der Drehmomente bezüglich dieser Achsen gleich Null sein. Die Drehmomente erhalten wir durch Multiplikation der Gewichte, welche auf das Dreieck einwirken mit ihren senkrechten Abständen von der Drehachse. Bezüglich der Drehachse  $q'_2$  also gilt

$$(\bar{y} \cdot XW - \bar{x} \cdot XW) - q_1 (\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}) = 0.$$

(Das Lot von  $Y$  auf  $q'_2$  ist gleich  $XW$ ).

Bezüglich der Drehachse  $q'_1$  gilt

$$(\bar{y} \cdot XW - \bar{z} \cdot XW) - q_2 (\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}) = 0.$$

Setzt man  $XW = ZW = 1$  für das Achsenkreuz  $q'_1 q'_2$  und bezeichnen wir die ersten Klammern der beiden Ausdrücke mit  $M_1$  und  $M_2$ , so ergibt sich

$$M_1 = \bar{y} - \bar{x} \quad M_2 = \bar{y} - \bar{z}. \quad (1)$$

Wir nennen sie die „Eichmomente“. Es läßt sich dann im Dreieck elementar ableiten, daß für das (leukozentrische) Farbmoment die Gleichung

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad \text{und daher aus (1)} \quad M = \sqrt{(\bar{y} - \bar{x})^2 + (\bar{y} - \bar{z})^2}$$

gilt. Wir haben damit die Möglichkeit, die Farbmomente auszurechnen, wenn die Eichreizbeträge  $\bar{x} \bar{y} \bar{z}$  gegeben sind<sup>1)</sup>.

Unterstützt man den Hebel  $WFS$  ( $S$  = Schnittpunkt von  $WF$  mit dem „Spektralfarbenzug“, den Farborten der Spektralreize<sup>2)</sup>) in  $W$  und hängt in  $S$  das Gewicht  $\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s$  (das Normalreizgewicht des Spektralreizes, zu welchem Weiß gemischt die Farbe  $F$  ergibt) an, so findet man nach der Hebelbeziehung<sup>3)</sup> für das obige Gleichgewicht:

$$M = (\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}) WF = (\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s) WS.$$

Für Farbreize gleichen Farbtönen ist  $WS$  konstant, denn sie liegen alle auf  $WS$ . Es ist also für farbtongleiche Farbreize  $M$  dem Wert  $\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s$  der sogenannten

<sup>1)</sup> Es gibt eine sehr einfache Methode, diese Farbmomente graphisch zu ermitteln, s. LUTHER, S. 54 und RICHTER, S. 112.

<sup>2)</sup> DIN 5033, 4, 2.

<sup>3)</sup> Vgl. LUTHER, S. 548.



„Farbigkeit“<sup>1)</sup> proportional. Dunkelt man eine Farbe ab bzw. verschwärzt man sie, so wird  $\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s$  naturgemäß kleiner und damit auch  $M$ . Vermischt man einen Farbreiz mit Weiß, so wird  $\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s$  ebenfalls kleiner, weil der Spektralreiz durch Weißreiz verdrängt wird. Damit sinkt bei Weißzumischung ebenfalls das Farbmoment  $M$ .

Unbunte Farbreize besitzen das Farbmoment Null.

Wir kommen nun zu den Betrachtungen über den sogenannten LUTHER-NYBERG-schen [8] [9] Farbkörper, an Hand dessen wir die OSTWALD'schen Bestimmungsstücke ableiten können.

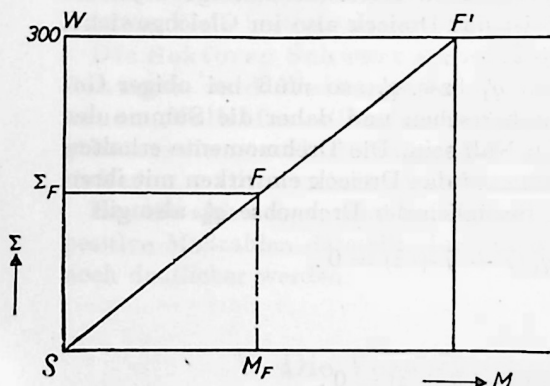


Abb. 6. Schnitt durch den LUTHER-NYBERG'schen Farbkörper.

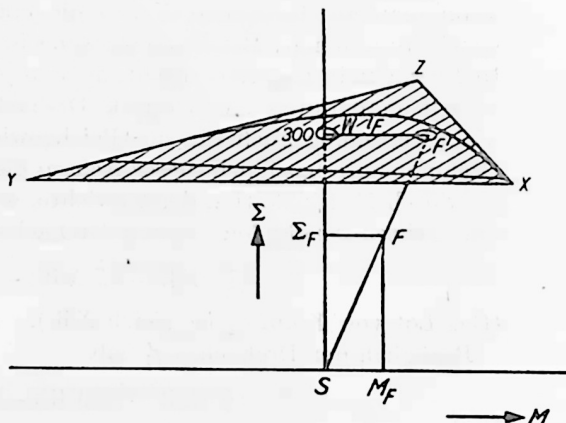


Abb. 7. Anordnung des Farbdreiecks im LUTHER-NYBERG'schen Farbkörper.

In einem rechtwinkligen Koordinatensystem tragen wir als Abszisse die Farbmomente  $M_F$  farbtongleicher Farbreize  $F$  und als Ordinate die Summe der Normalreizbeträge  $\bar{x} + \bar{y} + \bar{z} = \Sigma_F$  auf.

In Abb. 6 ist ein Punkt  $F$  mit dem Farbmoment  $M_F$  und dem Normalreizgewicht  $\bar{x}_F + \bar{y}_F + \bar{z}_F = \Sigma_F$  dargestellt. Der Punkt  $S$  stellt den Schwarzpunkt dar, denn sein Reizgewicht und Farbmoment sind gleich Null.  $W$  bedeutet den Weißpunkt, seine Normalreizsumme ist  $= 300$ <sup>2)</sup>, sein Farbmoment ebenfalls  $= 0$ . Verbinden wir  $S$  mit  $F$  und verlängern bis zum Schnitt  $F'$  mit der Horizontalen durch Punkt  $W$ , so gilt

$$\frac{M_F}{WF'} = \frac{\Sigma_F}{300} ;$$

setzen wir in Farbdreieck Abb. 5  $WF' = l_F$ , die leukozentrische Hebellänge von  $F$ , so folgt unter Zuhilfenahme der Definition des Farbmomentes S. 199

$$\frac{l_F \cdot \Sigma_F}{WF'} = \frac{\Sigma_F}{300}$$

und daher

$$\frac{WF'}{300} = l_F \quad (1)$$

<sup>1)</sup> Vgl. Fußnote 1) S. 190.

<sup>2)</sup> Vgl. Normblatt DIN 5033. Für Normalreizbeträge für Weiß sind danach  $\bar{x} = 100$ ;  $\bar{y} = 100$ ,  $\bar{z} = 100$ . Äquiennergetische Beleuchtung vorausgesetzt.

Für Farbreize gleichen Farbtones sind also die Werte  $WF'$  (Abb. 6) den leukoentrischen Hebellängen (Abb. 5) proportional.

Faßt man also die Horizontale  $WF'$  als Schnitt durch ein Farbdreieck auf, so kann man  $F'$  als Farbort von  $F$  in diesem Dreieck [10] (Abb. 7) betrachten.

In unserem System seien zwei Farbreize  $F_1$  und  $F_2$  gegeben (Abb. 8). Sie sollen additiv gemischt werden. Da sich bei additiver Mischung farbtongleicher Farben die „Farbigkeiten“  $\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s$  additiv verhalten, so gilt das gleiche für die Farbmomente  $M_{F_1}$  und  $M_{F_2}$ . Ebenso addieren sich die Normalreizgewichte  $\bar{x}_{F_1} + \bar{y}_{F_1} + \bar{z}_{F_1}$  und  $\bar{x}_{F_2} + \bar{y}_{F_2} + \bar{z}_{F_2}$ . Daraus ergibt sich aber elementar, daß sich der Farbpunkt  $F$  der additiven Mischung dadurch bestimmen läßt, daß wir die Vektoren  $SF_1$  und  $SF_2$  addieren. Es entsteht der Vektor  $SF$ . Gleichfalls ergibt sich elementar, daß auf der Verbindungslinie von  $F_1$  und  $F_2$  alle anteiligen additiven Mischungen der Farbreize  $F_1$  und  $F_2$  liegen.

Aus diesen vektoriellen Beziehungen finden wir, daß unser Diagramm als Schnitt durch den normalen Farbraum ( $XYZ$ ) betrachtet werden kann, denn auch dort gelten die entsprechenden vektoriellen Beziehungen, [11].

Verbindet man in Abb. 9 einen Farbort  $F$  mit dem Schwarzpunkt  $S$ , und bewegt man die Farborte  $F'$  auf dieser Linie, so erhalten wir nach dem obigen

als Repräsentanten aller so entstehenden Farbreize nur einen einzigen Dreieckspunkt  $F'$  im Farbdreieck. Das heißt auf  $SF'$  liegen alle Farben gleichen Farbortes oder „gleicher Reizart“. Sie unterscheiden sich nur durch die Normalreizsumme oder durch ihre Helligkeit  $\bar{y}$ . Die Farbreize unterhalb  $F$  sind die anteiligen Mischungen der Farbreize  $F$  und  $S$  (Schwarz). Sie lassen sich also hervorbringen durch einen Farbkreis, auf dem ein  $F$ -Sektor und ein Schwarzsektor aufgezogen sind.

Aus der reinen Helligkeitsänderung ergibt sich, daß die Remissionsfunktionen der Farbreize auf  $SF'$  dadurch entstehen können, daß der spektrale Remissionsgrad

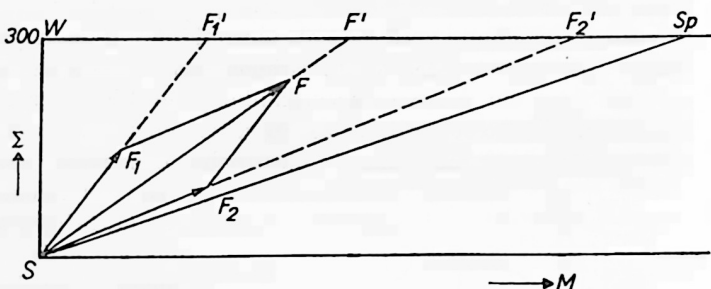


Abb. 8. Additive Mischung zweier Farbreize als vektorielle Addition im LUTHER-NYBERGSchen Farbkörper.

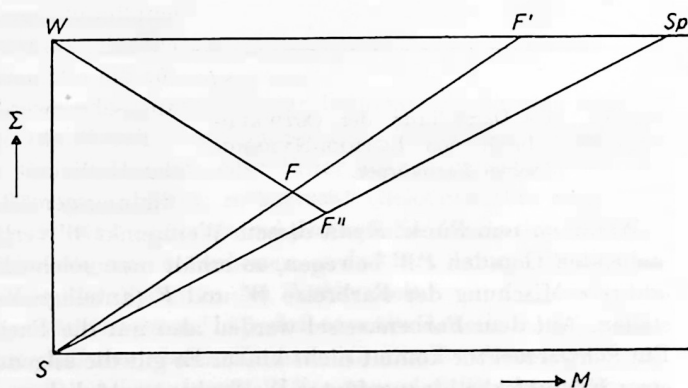


Abb. 9. Die Bedeutung der Eckfarbe  $F$  im LUTHER-NYBERGSchen Farbdreieck.

irgendeiner der Remissionsfunktionen z. B. von  $F^1$ ) bei allen Wellenlängen mit dem gleichen Faktor multipliziert wird. Bewegt sich nun der Punkt von  $S$  nach  $F'$ , so ist die Farbe zuerst schwarz; je weiter sie nach  $F'$  rückt, um so mehr verliert sie an Schwarz. Wie wir früher (S. 191 ff) sahen, muß es demnach zwischen  $S$  und  $F'$  einen Punkt  $F$  geben, an welchem die Farbe jegliche Schwarzverhüllung bei Betrachtung in weißer Umgebung verloren hat, obwohl die Farbe an sich in ihrer Helligkeit noch weiter gesteigert werden kann. Erhöht man von  $F$  aus die Helligkeit noch weiter, so muß jetzt ein der Schwarzverhüllung der Pigmente entgegengesetzter Zustand eintreten. Die Farbe verliert das Aussehen einer Pigmentfarbe, sie beginnt zu leuchten (wohlbemerkt wie immer in natürlicher Umgebung betrachtet).

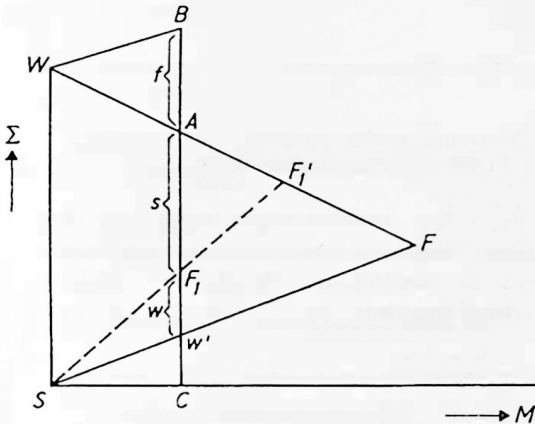


Abb. 10. Die Darstellung der OSTWALD-Maßzahlen durch den LUTHER-NYBERG-schen Farbkörper.

Wenn wir nun Punkt  $F$  mit diesem Weißpunkt  $W$  verbinden und uns auf der entstehenden Geraden  $FW$  bewegen, so erhält man solche Farbreize, die eine anteilige additive Mischung der Farbreize  $W$  und  $F$  (anteilige Vektoren  $SW$  und  $SF$ ) darstellen. Auf dem Farbenkreisel werden also nur die Farben  $W$  und  $F$  aufgebracht. Ein Schwarzsektor kommt nicht hinzu. Es gilt die allgemeine Erfahrung, daß ein zu einer Körperfarbe hinzugefügter Weißsektor natürlich zu keiner Schwarzverhüllung, aber auch nicht zu einem Leuchten Veranlassung gibt. Die Farbe kann zwar ihren Farbton empfindungsgemäß etwas verändern (nicht natürlich die reizmetrisch zu bewertende farbtongleiche Wellenlänge), es tritt sonst aber nur Weißverhüllung auf. Wir glauben, daß wir diese Erfahrung, wie oben, auch auf den vorliegenden Grenzfall übertragen dürfen. Korrekterweise müßte das indessen erst durch das Experiment erhärtet werden.

Genau, wie wir es uns beim Schwarz überlegt haben, könnte man nun auch  $WF$  so weit über  $F$  verlängern, bis die dadurch repräsentierten Farben  $F''$  kein Weiß mehr enthalten. Wir sind auf diese Weise zum Spektralreiz gewisser Helligkeit gelangt,  $F''$  liegt auf der Geraden  $Sp$ , weil diese alle Spektralreize enthält.

<sup>1)</sup> Der Farbreizvalenz  $F$  können bekanntlich Farbreize mit verschiedenen Remissionsfunktionen zugeordnet werden.

Die selbstleuchtenden Farben besitzen nun natürlich keine normale Remissionsfunktion mehr. Wollte man diesen Begriff indessen beibehalten, was, wie wir später sehen werden (s. S. 208), zweckmäßig ist, so würde das bedeuten, daß alle bzw. die meisten Teile der Kurven einen Remissionsgrad größer als 1,0 erhalten. Wir wollen solche Kurven Pseudoremissionsfunktionen nennen.

Der ausgezeichnete Farbreiz  $F$ , der also empfindungsgemäß kein Schwarz mehr enthält, kann zweckmäßig als Nullpunkt für die reizmetrische Schwarzbestimmung angesehen werden.

Bei Punkt  $W$  liegt das weiße Pigment der Helligkeit 100, es besitzt weder empfindungsgemäß noch reizmetrisch Schwarz.

Das Dreieck  $FSW$  (Abb. 10) hat nun eine besondere Bedeutung ( $F$  sei jetzt ein beliebiger Farbreiz). Man kann es nämlich als ein Farbdreieck auffassen mit den in den Ecken angebrachten Gewichten  $s, w, f$ . Zu einem in seinem Innern gelegenen Punkt  $F_1$  gelangt man in folgender Weise: Man geht von  $F$  auf der Dreiecksseite  $FW$  nach  $F'_1$ . Dieser Punkt  $F'_1$  ist als anteilige Mischung von  $F$  und  $W$  aufzufassen. Von  $F'_1$  schreiten wir auf der Linie  $F'_1S$  nach  $F_1$ , was als anteilige Mischung von  $F'_1$  und Schwarz aufzufassen ist. Vergleiche ein Beispiel in Abb. 11 im Zusammenhang mit Abb. 10.

Wir erinnern uns an die Darstellung der Farben mit Hilfe der NEWTONschen Schwerpunktskonstruktion und werden, ohne daß wir es genauer ausführen, erkennen, daß die nach Abb. 10 beschriebene Bestimmung des Punktes  $F_1$  auf diesem Verfahren beruht. Die Grundgewichte stellen ein Schwarz, d. h. schwarze Körper-

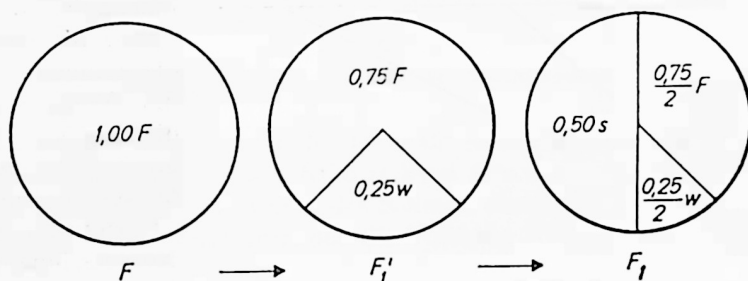


Abb. 11. Abb. 10 erläutert durch Farbkreise.

farbe (schwarzer Körper), ferner ein Weiß (z. B. für Pigmente durch eine 100%ig reflektierende weiße Fläche oder für Filter durch eine absolut durchlässige Glasplatte) und endlich eine Farbe  $F$  (als ein Pigment oder Filter ebenso beleuchtet wie das Weiß) dar. Ist  $F_1$  der Unterstützungspunkt, so herrscht Gleichgewicht, wenn man an die entsprechenden Ecken die Gewichte  $s, w$  und  $f$  hängt. Die Werte der Gewichte sind gleichzeitig als Dreieckskoordinaten aufzufassen, so daß ihre Summe gleich 1 ist. Auf diese Weise entsprechen sie den Sektoren des Farbkreisels.

Es läßt sich nun leicht beweisen (LUTHER [12]), daß man die Anteile  $w, s, f$  geometrisch dadurch erhalten kann, daß man durch  $F_1$  (Abb. 10) eine Parallele zu  $SW$  und durch  $W$  eine solche zu  $SF$  zieht.  $AB$  ist dann  $f$ ,  $AF_1 = s$  und  $F_1W' = w$ . In dieser Betrachtungsweise wird die Strecke  $SW$  zur Einheitsstrecke.

Nun wollen wir den Teil des LUTHER-NYBERGschen Systems abgrenzen, in dem alle Körperfarben (eines bestimmten Farbtons) liegen [13] (Abb. 12). Wir suchen zu diesem Zweck die Orte der Optimalfarben und erhalten eine Kurve, die durch den Weiß- und Schwarzpunkt, d. h. die weiteste und engste Optimalfarbe geht und die in bezug auf die  $\Sigma$ -Achse für die Momente  $M$  ein Maximum an der Stelle  $V$  besitzt. Nach S. 199 ist  $V$ , da sie das größte Farbmoment besitzt, die Optimalfarbe mit der größten Farbigkeit. Es ist von LUTHER bewiesen, daß die Sprungstellen bei Gegenwellenlängen liegen. Damit schließt sich der Kreis zu den Betrachtungen, die wir auf S. 195 machten.

Der Kurventeil  $VW$  enthält alle diejenigen Optimalfarben, deren Remissionspektren weiter geöffnet sind als die der Vollfarbe. Die Momente nehmen ab, weil





es sich um Pigmente handelt, in  $F'$  kein Selbstleuchten auftreten. Es handelt sich also beim Übergang um einen reinen Schwarzentzug. Man erkennt das umgekehrt auch daran, daß der Übergang von  $F'$  nach  $F''$  so aufgefaßt werden kann, daß man die voll aufgezeichnete Pigmentfarbe  $F'$  durch einen Schwarzsektor teilweise ersetzt. Auf dem Farbenkreisel  $F''$  (a) (Abb. 13) ist aber ein schwarzer Sektor nicht vor-

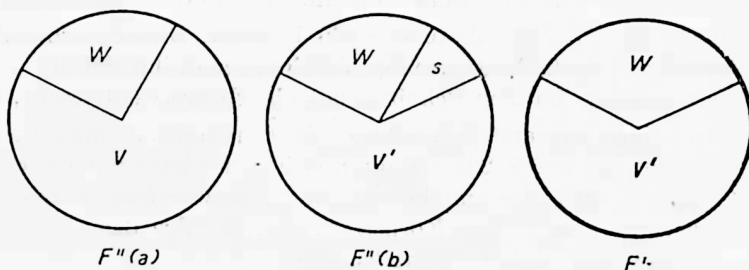


Abb. 13. Abb. 12 erläutert durch Farbkreisel.

handen, wenn man  $F''$  als Punkt des OSTWALDschen Dreiecks  $WSV$  betrachtet. Durch Verkleinerung eines solchen Sektors kann also das Schwarz nicht entzogen werden. Aus dem Weiß  $W$  kann man das Schwarz ebenfalls nicht entnehmen, weil es keines besitzt. Daraus folgt aber, daß die Vollfarbe  $V$  reizmetrisch bezüglich des

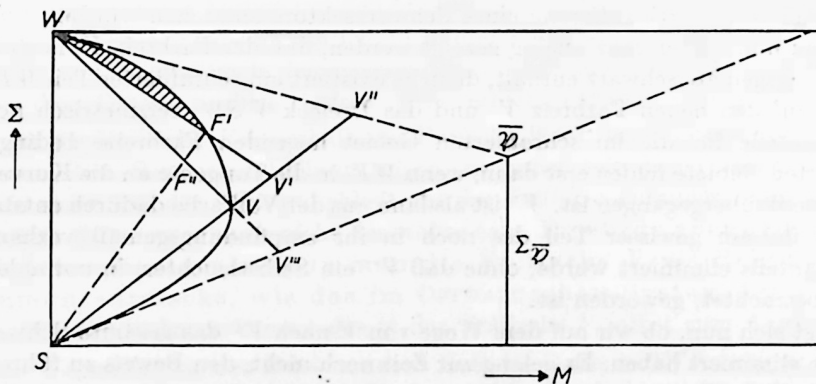


Abb. 14. Ableitung der Vollst-Farbe.

OSTWALD-Dreiecks *WSV* kein, wohl aber empfindungsgemäß noch Schwarz enthalten muß. Im Grunde ist diese Schwarzverhüllung darin begründet, daß es außerhalb des OSTWALD-Dreiecks noch Körperfarben, d. h. nicht selbstleuchtende Farben gibt.

Man muß sich also die Vollfarbe  $V$  aufgeteilt denken in eine solche noch weiterer Aufhellung  $V'$  und einen schwarzen Sektor  $s$  [Abb. 13  $F''(b)$ ].

Geht man von  $F''(b)$  nach  $F'$  (Abb. 12 und 13), so verschwindet dieser  $s$ -Sektor und an seine Stelle tritt  $V'$  und das neue  $W$ , wobei das Verhältnis von  $V'/W$  in  $F'$  gegenüber dem in  $F''(b)$  nicht verändert wird.

Was bedeutet nun  $V'$ ? Einmal nannten wir diese Farbe eine Aufhellung von  $V$ , d. h. sie liegt auf der Verlängerung von  $SV$  über  $V$  hinaus (Abb. 14). Da anderer-

seits  $F'$  nach Abb. 13 nur aus  $V'$  und  $W$  additiv zusammengesetzt ist, so muß  $V'$  auf der Verlängerung von  $WF'$  über  $F'$  hinaus liegen.  $V'$  ist also der Schnittpunkt von  $SW$  und  $VF'$ .

$F'$  ist als Pigment nicht selbstleuchtend, es besteht aus  $V'$  und  $W$  ohne Schwarz. Macht nun etwa  $V'$  den Eindruck des Selbstleuchtens, da es ja außerhalb des Pigmentfarbenreizkörpers liegt? Nehmen wir an, es wäre der Fall, so müßte es auf  $SV'$  einen Punkt geben, der gerade nicht mehr leuchtet. Dieser Farbreiz  $\bar{V}'$  wäre also auch schwarzfrei (empfindungsgemäß). Verbindet man ihn mit  $W$ , so wird  $SF'$  unterhalb  $F'$  geschnitten. Da dem Schnittpunkt ein Farbreiz entspricht, der durch einen weißen und einen schwarzfreien Sektor mit  $\bar{V}$  entsteht, so müßte er ebenfalls schwarzfrei sein (vgl. das auf S. 204 Gesagte). Gehen wir jetzt von diesem Schnittpunkt zu  $F'$  über, so wird eine empfindungsgemäß schwarzfreie Farbe aufgehellt.  $F'$  müßte also leuchten. Da  $F'$  eine Körperfarbe ist, so führt das zu einem Widerspruch. Daraus folgt aber, daß  $V'$  nicht leuchtet.

Wir haben also beim Übergang von  $V$  zu  $V'$  aus  $V$  Schwarzmengen eliminieren können. Mit anderen Worten: Die Vollfarbe  $V$  enthält Schwarz. Wir wollen noch einmal präzisieren, was wir unter Eliminieren von Schwarz aus der Vollfarbe verstanden: An Hand des LUTHER-NYBERG'schen Diagrammes machten wir wahrscheinlich, daß eine Vollfarbe in weißer Umgebung den (empfindungsgemäßen) Eindruck der Schwarzverhüllung (wenn auch in sehr geringem Grade) machen müßte. Infolgedessen müßte eine noch „vollere Farbe“ existieren, aus der die Vollfarbe kreiselmäßig durch Hinzufügung eines Schwarzsektors entstehen würde.

Es kann nun weiter ganz analog gezeigt werden, daß der Farbreiz  $V'$  noch immer empfindungsgemäß Schwarz enthält, denn es existiert ein schraffierter Teil  $WF'$ , der, bezogen auf den neuen Farbreiz  $V'$  und das Dreieck  $V'SW$ , reizmetrisch negative Schwarzanteile für die im schraffierten Gebiet liegenden Farbreize bedingt. Die schraffierten Gebiete fehlen erst dann, wenn  $WF'$  in die Tangente an die Kurve  $WVS$  im Punkte  $W$  übergegangen ist.  $V''$  ist alsdann aus der Vollfarbe dadurch entstanden, daß aus ihr ein gewisser Teil des noch in ihr empfindungsgemäß vorhandenen Schwarzanteils eliminiert wurde, ohne daß  $V''$  ein Selbstleuchter, in normaler Umgebung betrachtet, geworden ist.

Es fragt sich nun, ob wir auf dem Wege von  $V$  nach  $V''$  das gesamte Schwarz der Vollfarbe eliminiert haben. Es gelang zur Zeit noch nicht, den Beweis zu führen, daß das der Fall ist. Wir wissen auch nicht, ob der Beweis überhaupt ohne psychologische Versuche möglich ist.

Nehmen wir an, daß  $V''$  wirklich kein Schwarz enthält, daß  $V''$  also gerade auf der obenerwähnten Grenze zwischen Schwarzverhüllung und Leuchten läge, so würde die gesamte Gerade  $WV''$  und deren Verlängerung ebenfalls keine Schwarzverhüllung zeigen, denn jeder Punkt von  $WV''$  geht in den anderen über durch bloße Weißzumischung auf dem Farbenkreis.

Die Gerade  $WV''$  wäre also als Ausgang für Schwarzmessungen wohl geeignet. Alle Punkte des LUTHER-NYBERG'schen Diagrammes innerhalb  $WS$ , der Geraden  $SV$  und der Kurve  $VW$  können als Farbkreiselmischungen irgendeines Farbreizes der schwarzfreien Geraden  $WV''$  mit Schwarz aufgefaßt werden.

<sup>1)</sup> In der Abbildung nicht gezeichnet.

Wir können nun für das Segment  $SV$  eine ganz ähnliche Überlegung wie für das Segment  $WV$  machen, wobei beim Übergang der Geraden  $SV$  in die Tangente  $SV'''$  aus der Vollfarbe alles Weiß eliminiert wird. Wie schon LUTHER [15] zeigte, geht diese Tangente auf die Spektralkurve  $Sp$  des Farbendreiecks (s. S. 200 und Abb. 7) zu, denn die Gerade  $SV'''$  enthält die weißfreien Farbreize, d. h. die Spektralreize verschiedener Helligkeit.

Aus  $WV''$  und  $SV'''$  erhalten wir als Schnitt  $\bar{B}$ , einen besonders ausgezeichneten Punkt und damit eine ausgezeichnete Farbe<sup>1)</sup>. Er stellt nämlich einmal einen Spektralreiz dar wegen seiner Lage auf  $SSp$ , d. h. wir können ihn als weißfrei betrachten. Das andere Mal ist seine Schwarzverhüllung gleich Null, wegen seiner Lage auf  $WV''$ . Dieser ausgezeichneten Farbe kommt eine ganz bestimmte Helligkeit  $\bar{y}_{\bar{B}}$  zu. Also Spektrallicht nur dieser ausgezeichneten Helligkeit in natürlicher Umgebung künstlich dargeboten, zeigt (so will es uns scheinen) die Schwarzverhüllung Null.

Bei allen diesen Überlegungen muß aber immer darauf hingewiesen werden, daß wir die vorher angeführte Voraussetzung machten, nämlich, daß all die Farben außerhalb des OSTWALD-Dreiecks  $WSV$  und außerhalb des LUTHER-NYBERG-Körpers, soweit sie von uns betrachtet wurden, sich bezüglich Schwarz- und Weißverhüllung genau so verhalten, wie die normalen Pigmentfarben. Ob diese Voraussetzung berechtigt ist, müßte eigentlich erst durch das Experiment geprüft werden. Indessen glauben wir, daß sie der Prüfung nach den allgemeinen Erfahrungen an Pigmentfarben standhalten wird.

Wenn wir nun unsere Farben mit den Anteilen  $\mathfrak{S}$ ,  $\mathfrak{W}$  und  $\mathfrak{B}$  aus dem Dreieck  $WS\bar{B}$  bestimmen, so besitzen wir (vermutlich) in  $\mathfrak{W}$  und  $\mathfrak{S}$  den wahren Weiß- und Schwarzanteil, während, wie nunmehr leicht ersichtlich, die Weiß- und Schwarzanteile, die man aus dem OSTWALD'schen Dreieck  $WSV$  erhielt, geringer sind als die wahren Werte, da die Vollfarbe  $V$  innerhalb des Dreiecks  $WS\bar{B}$  liegt. Sollte nun  $V''$  doch noch einen Rest Schwarzverhüllung zeigen, so haben wir durch unsere Methode immerhin einen Teil der Schwärzlichkeit aus der Vollfarbe eliminiert. Der Schwarzanteil würde daher zwar noch nicht der wahre sein. Er würde aber dem wahren Anteil näher liegen als wenn man die Vollfarbe  $V$  als Eckpunkt des Bestimmungsdreiecks, wie das im OSTWALD'schen System der Fall ist, wählte. Am deutlichsten kommt das in der Vollfarbe  $V$  selbst zum Ausdruck. Im Dreieck  $VWS$  besitzt sie den Schwarzanteil Null, im Dreieck  $\bar{B}WS$  dagegen den von Null verschiedenen und dem wahren Schwarzgehalt näherkommenden Schwarzanteil

$$\frac{V''V}{V''S}$$

Andererseits ist der Weißanteil  $\mathfrak{W}$  der wahre, denn durch den Übergang von  $V$  zu  $V'''$  würde aller Weißgehalt bis zum Spektralreiz aus  $V$  eliminiert.

An Stelle der Vollfarbe  $V$  setzen wir einen Spektralreiz  $\bar{B}$  bestimmter Helligkeit, wodurch wir, wie eben auseinandergesetzt, den zweiten Nachteil, der Unanschaulichkeit der Vollfarbe, vermeiden (S. 196).

<sup>1)</sup> Wir bezeichnen die Punkte und Farben mit den gleichen Buchstaben, wie wir das in unserer Betrachtungsweise schon immer taten. Wir wählen deutsche, sonst für Vektoren übliche Buchstaben, weil andere nicht zur Verfügung stehen.



Nun haben wir bei all diesen Überlegungen mit Farbreizen operiert, die außerhalb des Pigmentfarbenreizkörpers (*SVW*) liegen. Solche Farbreize können also von keinen Pigmenten herrühren und besitzen keine eigentliche Remissionsfunktion, in der alle Remissionsgrade  $\leq 1,0$  sind. Trotzdem können wir die Farben künstlich durch Projektion zusammengefaßter Spektralbereiche herstellen, so daß sie uns Pigmente vortäuschen. Wir wollen sie daher Pseudopigmente nennen. Da man, wie gesagt, bei ihnen nicht mehr von Remissionsfunktionen sprechen kann, wollen wir die entsprechenden Kurven Pseudoremissionsfunktionen nennen, wie wir früher schon sagten.

Man verfährt folgenderweise: Wir gehen aus von einem geeigneten aequienergetischen Spektrum. Das Weiß, welches entsteht, wenn man das Spektrum auf eine

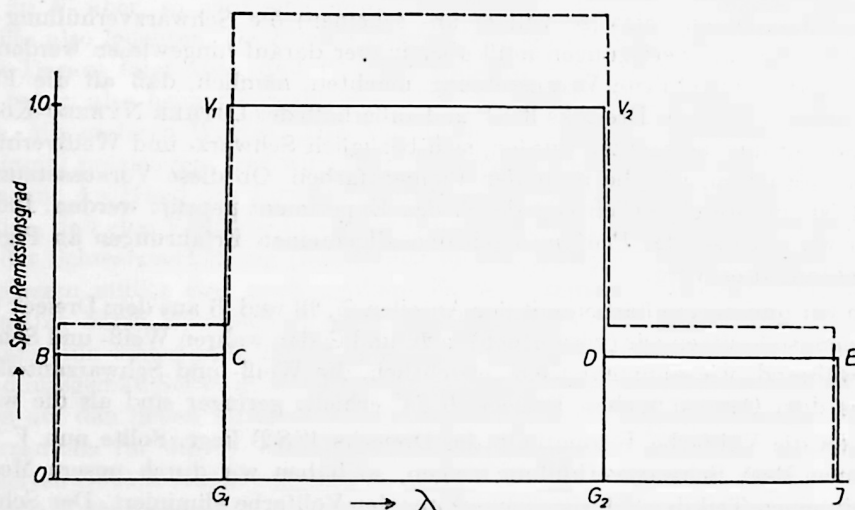


Abb. 15. Darstellung der Farbreize von Abb. 14 durch Remissionsfunktionen.

bestimmte Einheitsfläche mit irgendeinem geeigneten optischen System zusammenfaßt, wird als Standard für eine Umfeld-Beleuchtung festgesetzt. Innerhalb dieses Umfeldes projizieren wir mit gleicher Optik auf gleiche Einheitsfläche zusammengefaßte Teile des Spektrums. Wir erhalten dadurch die Farben des Luther-Nyberg-Körpers. Blenden wir ebensolche Teile heraus, steigern aber deren Intensität, so erhalten wir die Pseudopigmente und damit auch Farben, die innerhalb *VWS* liegen. Will man die Farben als Kreiselfarben erzeugen, verfährt man so, daß man sie von der Rückseite des Kreisels her durch einen entsprechend ausgesparten Sektor hindurchschickt oder auch auf einen entsprechend weißen Sektor des Kreises von vorn synchron mit dem Kreisel rotierend aufprojiziert.

Die Remissionsfunktionen der Farbreize auf der Geraden *VW* (der Abb. 14) haben die Form der Abb. 15 (*OBCV1V2DEJ* ausgezogene Kurve). OSTWALD nennt diese Farben die Hellklaren, d. h. schwarzfreien Farben, allerdings nur „schwarzfrei“ nach seiner Definition; in Wirklichkeit sind sie ja, wie wir zeigten, nicht schwarzfrei.  $G_1G_2$  sind Gegenfarben, also Grenzpunkte für die Vollfarbe.

Ein Farbreiz  $F'$  (Abb. 14) auf der Oberfläche des LUTHER-NYBERG'schen Pigmentfarbenkörpers, der aus  $F''$  durch Aufhellung hervorging, besitzt als Optimalfarbe eine Remissionsfunktion (Abb. 16 ausgezogen), welche weiter geöffnet ist als die der Vollfarbe ( $G_1, G_2$  sind Gegenfarben). Andererseits können wir ihr auch eine Pseudoremissionsfunktion zuordnen, indem wir die Funktion von  $F''$  (Abb. 15  $OBCV_1V_2DEJ$ ) überall um einen gewissen Faktor erhöhen. Die Kurve ist in Abb. 15 gestrichelt gezeichnet. Von  $\lambda = G_1$  bis  $G_2$  besitzt sie Pseudoremissionsgrade, die größer sind als 1,0. Umgekehrt können wir die Remissionsfunktion von  $F''$  (Abb. 15  $OBCV_1V_2DEJ$ ) auffassen als überall um den gleichen Faktor herabgesetzte Funktion der Optimalfarbe  $F'$  ( $F''$ , Abb. 16 gestrichelt).

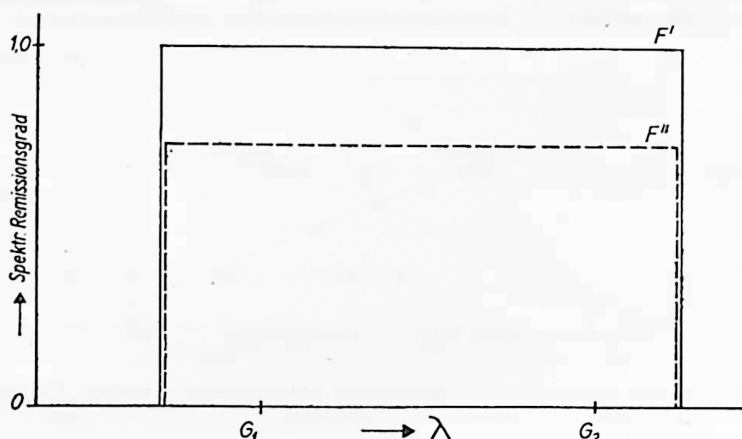


Abb. 16. Darstellung der Farbreize von Abb. 14 durch Remissionsfunktionen.

Es geben also folgende Farbreize paarweise gleiche Empfindungen, sie besitzen demnach bedingt gleiche Farbreizvalenzen:

1. Die ausgezogene Kurve Abb. 15 und die gestrichelte Abb. 16,
2. die gestrichelte Abb. 15 und die ausgezogene Abb. 16.

Die Pseudoremissionsfunktion von  $V''$  (Abb. 14) hat die Form der Vollfarbe  $V$ , nur daß auch hier die spektralen Pseudoremissionsgrade  $> 1,0$  geworden sind. Die Pseudokurven der Farbreize auf  $V''W$  sind denen der Optimalfarben gleich und besitzen ebenfalls größere spektrale Remissionsgrade als 1,0.

$\bar{W}$  selbst, das einen Optimalbereich sehr geringer Breite darstellt, hat einen sehr großen Pseudoremissionsgrad.

Wir nehmen nun noch einmal vorübergehend für die folgenden Betrachtungen an, daß  $W\bar{W}$  wirklich schwarzfrei sei. Falls dies nicht der Fall ist, denke man sich eine Gerade durch  $W$  gelegt, deren Winkel mit  $SW$  größer ist als Winkel  $SW\bar{W}$ . Die neue Gerade soll dann unter den früher gemachten Voraussetzungen schwarzfrei sein. Alle Farben nun, die oberhalb der Geraden  $W\bar{W}$  (Abb. 17) liegen, besitzen dann einen wirklich negativen Schwarzanteil, d. h. diese Farben leuchten. Erst nach Überschreitung der Linie  $W\bar{W}$  beginnen sich die Farben schwarz zu verhüllen und daher Pigment- bzw. Pseudopigmentcharakter anzunehmen.

Man kann also sagen: Oberhalb  $W\bar{B}$  liegen die Selbstleuchter (u. a. gewöhnliche Lichtquellen), wie sie in gewöhnlicher Umgebung im Hellraume aussehen.

Zwischen den Schenkeln des Winkels  $W\bar{B}S$  und der Kurve  $WVS$  liegen die Pseudopigmente, d. h. also mit Hilfe von Kunstgriffen herzustellende Farbreize, die in normaler Umgebung Pigmente vortäuschen können, und deren Pseudoremissionsfunktionen zum Teil oder überall höhere Werte als 1,0 annehmen.

Zwischen der Kurve  $WVS$  und  $WS$  liegen die reellen Pigmente, welche eine Remissionsfunktion besitzen, deren Ordinaten alle  $\leq 1,0$  betragen. In der Nähe der Kurve  $WVS$  befinden sich indessen diejenigen Pigmente, die sich praktisch durch Anstriche oder Filter nicht verwirklichen lassen, weil Pigmente mit solchen Remissionskurven nicht existieren. Man kann sie daher nur künstlich erzeugen.

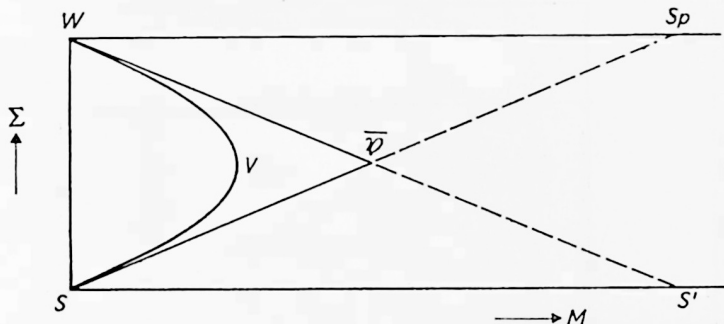


Abb. 17. Lage der verschiedenen Farbreize im LUTHER-NYBERG'schen Diagramm.

$SSp$  stellt die Spektralreize dar, und zwar unterhalb  $\bar{B}$  als Pseudopigmente. Oberhalb  $\bar{B}$  auf  $SSp$  liegen die monochromatischen Lichtquellen.

Unterhalb  $SSp$  können keine reellen Farbreize mehr liegen, weil sie gesättigter als die Spektralreize wären. Alle diese unterhalb und rechts von  $S\bar{B}Sp$  sind virtuell. Man kann mit ihnen rechnen und ihnen gewisse Eigenschaften zusprechen. Es ist aber unmöglich, sie zu realisieren und sich von ihnen irgendeine Vorstellung zu machen. Zu ihnen gehören u. a. die Eichreize an den Ecken des Farbdreiecks für den Fall, daß die Spektralkurve ganz im Innern des Dreiecks liegt. Der rote und blaue Eichreiz des IBK-Systems sind besonders unanschaulich, denn sie besitzen die Helligkeit 0, tragen aber trotzdem zur Farbgebung mit bei. Da auch sie unterhalb der Linie  $S\bar{B}Sp$  liegen, besitzen sie eine höhere Sättigung als die Spektralreize. Darauf beruht ihre virtuelle Eigenschaft, trotz großer Dunkelheit „färben“ zu können.

Für uns besitzt die Abszisse des LUTHER-NYBERG'schen Systems noch einiges Interesse. Die Helligkeit der Farben, die auf dieser Linie liegen, ist gleich 0, sie sollten also schwarz sein. Da (Abb. 17) der Schnitt  $S'$  mit der  $W\bar{B}$ -Verlängerung der Abszisse angehört, ist seine Helligkeit gleich 0. Als Punkt der schwarzfreien Geraden  $W\bar{B}$  ist er nicht schwarz. Wir haben also auch hier wieder, ähnlich wie beim Blau- und Rotreiz des IBK-Systems, an dem Farbreiz zwei widersprechende Eigenschaften entdeckt. Man wird mit diesem Widerspruch versöhnt, wenn man bedenkt, daß die Farbreize ein außerordentlich hohes Farbmoment und daher sehr hohe Farbigkeit besitzen. Von  $S'$  bis  $S$  nimmt der Schwarzanteil zu und das Moment entsprechend ab.

Den analytischen Ausdruck für die Berechnung der Vollfarben-, Weiß- und Schwarzanteile  $\mathfrak{B}$ ,  $\mathfrak{W}$ ,  $\mathfrak{S}$  im Dreieck  $SW\bar{\mathfrak{B}}$  gewinnt man in Analogie zu einer gleichen Ableitung im OSTWALD-Dreieck nach RICHTER [16] folgendermaßen:

Die dort abgeleiteten Gleichungen setzen über die Natur des Farbreizes der dritten Ecke des Dreiecks neben  $W$  und  $S$  nichts voraus, so daß sie also für jeden beliebigen Farbreiz gelten, also auch für unser  $\bar{\mathfrak{B}}$ . Es ist nach RICHTER allgemein, wenn diese dritte Ecke von irgendeinem Farbreiz  $V$  belegt ist:

$$\text{der Farbanteil } v = \frac{M_F}{M_v} \quad \frac{M_F \text{ Farbmoment eines Farbreizes } F}{M_v \text{ Farbmoment des Farbreizes } V}.$$

Der Weißanteil

$$W = \frac{\bar{x}_F + \bar{y}_F + \bar{z}_F - v(\bar{x}_v + \bar{y}_v + \bar{z}_v)}{300}$$

$\bar{x}_F \bar{y}_F \bar{z}_F$  Normalreizbeträge von  $F$ ,  $\bar{x}_v \bar{y}_v \bar{z}_v$  Normalreizbetrag von  $V$ .

Der Schwarzanteil

$$s = 1 - (v + w).$$

$v$  läßt sich noch nach S. 199 f schreiben als

$$\frac{M_F}{M_v} = \frac{\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s}{\bar{x}_{vs} + \bar{y}_{vs} + \bar{z}_{vs}} = \frac{\text{„Farbigkeit“ von } F}{\text{„Farbigkeit“ von } V}.$$

Setzen wir jetzt an die dritte Ecke den Farbreiz  $\bar{\mathfrak{B}}$ , so finden wir:

$$\mathfrak{B} = \frac{\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s}{\bar{x}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{z}_{\bar{\mathfrak{B}}}}. \quad (1)$$

Denn, da  $\bar{\mathfrak{B}}$  ein Spektralreiz ist, ist natürlich seine Farbigkeit gleich seiner Normalreizsumme.

Also wird der Weißanteil

$$\mathfrak{W} = \left[ \bar{x}_F + \bar{y}_F + \bar{z}_F - \frac{\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s}{\bar{x}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{z}_{\bar{\mathfrak{B}}}} \cdot \bar{x}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}} + \bar{z}_{\bar{\mathfrak{B}}} \right] : 300$$

$$\mathfrak{W} = [(\bar{x}_F + \bar{y}_F + \bar{z}_F) - (\bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s)] : 300$$

$$\mathfrak{S} = 1 - (\mathfrak{B} + \mathfrak{W}).$$

III

$\mathfrak{W}$  läßt sich noch in folgender Weise vereinfachen:

$\bar{x}_F - \bar{x}_s = \bar{x}_w$  wobei  $\bar{x}_w, \bar{y}_w, \bar{z}_w$  die Weißreizvalenz darstellt, die man zu der  
 $\bar{y}_F - \bar{y}_s = \bar{y}_w$  Spektralreizvalenz  $\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s$  zumischen muß, um die Farbreiz-  
 $\bar{z}_F - \bar{z}_s = \bar{z}_w$  valenz  $\bar{x}_F, \bar{y}_F, \bar{z}_F$  zu erhalten.

Da  $\bar{x}_w = \bar{y}_w = \bar{z}_w$  ist, so folgt

$$\mathfrak{W} = \frac{\bar{x}_F - \bar{x}_s}{100} = \frac{\bar{y}_F - \bar{y}_s}{100} = \frac{\bar{z}_F - \bar{z}_s}{100}.$$

I



In ähnlicher Weise läßt sich die Formel  $\mathfrak{B}$  umgestalten. Wir schreiben (1) in der Form

$$\mathfrak{B} \cdot (\bar{x}_{\mathfrak{B}} + \bar{y}_{\mathfrak{B}} + \bar{z}_{\mathfrak{B}}) = \bar{x}_s + \bar{y}_s + \bar{z}_s.$$

Da  $(\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)$  und  $(\bar{x}_{\mathfrak{B}}, \bar{y}_{\mathfrak{B}}, \bar{z}_{\mathfrak{B}})$  farbtongleiche Spektralreizvalenzen darstellen und sie infolgedessen gleichen Farbort (auf den Spektralfarbenzügen) haben, so gilt

$$\frac{\bar{x}_s}{\bar{x}_{\mathfrak{B}}} = \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}} = \frac{\bar{z}_s}{\bar{z}_{\mathfrak{B}}}$$

und daher

$$\bar{x}_s = \frac{\bar{y}_s \bar{x}_{\mathfrak{B}}}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}} \quad \bar{y}_s = \frac{\bar{y}_s \bar{y}_{\mathfrak{B}}}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}} \quad \bar{z}_s = \frac{\bar{y}_s \bar{z}_{\mathfrak{B}}}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}}.$$

Also

$$\mathfrak{B} (\bar{x}_{\mathfrak{B}} + \bar{y}_{\mathfrak{B}} + \bar{z}_{\mathfrak{B}}) = \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}} (\bar{x}_{\mathfrak{B}} + \bar{y}_{\mathfrak{B}} + \bar{z}_{\mathfrak{B}})$$

und

$$\mathfrak{B} = \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_{\mathfrak{B}}}.$$

II

Damit haben wir die drei Gleichungen I, II und III zur Berechnung der Dreieckskoordinaten bzw. der Sektoren auf dem Farbkreis gefunden.

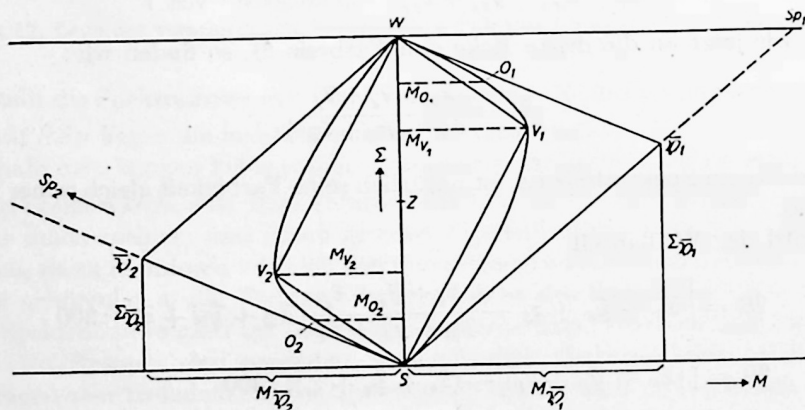


Abb. 18. Vollständiger Schnitt durch den LUTHER-NYBERG'schen Farbkörper. Darstellung der kompensativen Farbreize.

Unbekannt ist der Wert  $\bar{y}_{\mathfrak{B}}$ . Man könnte ihn graphisch bestimmen, indem man die beiden Tangenten an die Kurve  $WVS$  (Abb. 17) in  $W$  und  $S$  konstruiert. Indessen erfordert das sehr viel Arbeit, weil für jede Wellenlänge in sehr langwieriger Weise die Kurve  $WVS$  aus den Optimaldaten berechnet werden muß. Glücklicherweise steht uns eine einfachere Berechnungsmethode für  $\bar{y}_{\mathfrak{B}}$  zur Verfügung.

Wir hatten gesehen, daß die Horizontale durch  $W$  als Schnitt des Farbdreiecks (Abb. 7, S. 200) anzusehen ist, auf dem der Unbuntpunkt  $W$  und der Ort des farbtongleichen Spektralreizes  $Sp_1$  liegt (Abb. 18). Verlängert man die Strecke  $Sp_1W$  über  $W$

hinaus, so muß auf dieser Verlängerung der kompensative Spektralreiz<sup>1)</sup>  $Sp_2$  zu  $Sp_1$  liegen, und mithin müssen alle Farbreize, die auf der linken Seite von  $WS$  stehen, die Abwandlungen nach Weiß und Schwarz der Gegenfarbe darstellen.

Konstruiert man nun den Schnitt des Pigmentfarbenkörpers für alle Kompensationspigmentfarben, so ergibt sich nach LUTHER-NYBERG ein zentral-symmetrisches Gebilde (in bezug auf Mittelpunkt  $z$  von  $WS$ ). Denn nach der Hebelbeziehung müssen bei Kompensationsfarben die leukozentrischen Farbmomente gleich, aber entgegengesetzt sein. So liegt z. B.  $V_1$  zu  $V_2$  in bezug auf den Mittelpunkt  $Z$ , ebenso  $O_1$  zu  $O_2$  symmetrisch. Die vektorielle Addition solcher Optimalfarbenvektoren gibt den Vektor  $SW$ , wie es sein muß, da zwei kompensative Optimalfarben sich zum Gesamtspektrum, also zu Weiß, ergänzen. Da nun die Kurve  $WV_1S$  zu  $SV_2W$  symmetrisch liegt, so gilt das gleiche von den Tangenten  $S\bar{\mathfrak{B}}_2$  und  $W\bar{\mathfrak{B}}_1$ , einerseits und  $S\bar{\mathfrak{B}}_1$  und  $W\bar{\mathfrak{B}}_2$  andererseits. Die Punkte  $\bar{\mathfrak{B}}_1$  und  $\bar{\mathfrak{B}}_2$  entsprechen sich also, und da  $\bar{\mathfrak{B}}_1W\bar{\mathfrak{B}}_2S$  ein Parallelogramm ist, so ist klar, daß  $\bar{\mathfrak{B}}_1$  und  $\bar{\mathfrak{B}}_2$  additiv gemischt, Weiß  $W$  ergeben; ihre vektorielle Addition führt zum Vektor  $SW$ .

Damit haben wir aber den Schlüssel zu der Berechnung von  $\bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_1}$  und  $\bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_2}$ , es sind diejenigen Helligkeiten, in denen die beiden spektralen Kompensationsfarbreize  $\bar{\mathfrak{B}}_1$  und  $\bar{\mathfrak{B}}_2$  gemischt werden müssen, um Weiß der Helligkeit 100 zu geben.

Als erste Beziehung finden wir also

$$\bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_1} + \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_2} = 100. \quad (1a)$$

Wir wollen die Bezeichnungen vereinfachen und setzen:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{\bar{\mathfrak{B}}_1} &= \bar{x}_1; & \bar{x}_{\bar{\mathfrak{B}}_2} &= \bar{x}_2, \\ \text{ferner} & & \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_1} &= \bar{y}_1; & \bar{y}_{\bar{\mathfrak{B}}_2} &= \bar{y}_2 \\ & & \bar{z}_{\bar{\mathfrak{B}}_1} &= \bar{z}_1; & \bar{z}_{\bar{\mathfrak{B}}_2} &= \bar{z}_2. \end{aligned}$$

Ferner seien die Normalreizanteile von  $Sp_1$  und  $Sp_2$  (Abb. 18)

$$x_1 y_1 z_1 \quad \text{und} \quad x_2 y_2 z_2.$$

Setzen wir die Strecke  $WSp_1 = L_1$  und  $WSp_2 = L_2$ , so gilt dann nach der Hebelbeziehung

$$(\bar{x}_1 + \bar{y}_1 + \bar{z}_1) L_1 = (\bar{x}_2 + \bar{y}_2 + \bar{z}_2) L_2, \quad (1)$$

ferner gilt

$$\frac{\bar{x}_1}{\bar{y}_1} = \frac{x_1}{y_1} \quad (2)$$

$$\frac{\bar{y}_1}{\bar{z}_1} = \frac{y_1}{z_1} \quad (3)$$

$$\frac{\bar{x}_2}{\bar{y}_2} = \frac{x_2}{y_2} \quad (4)$$

$$\frac{\bar{y}_2}{\bar{z}_2} = \frac{y_2}{z_2}, \quad (5)$$

das sind 5 Gleichungen mit 6 Unbekannten.

<sup>1)</sup> Kompensationsfarben stellen allgemein Farben dar, die, additiv gemischt, Unbunt ergeben, Komplementärfarben sind solche, die sich zum Gesamtweißspektrum ergänzen (vgl. RICHTER, S. 96).

Wir können deshalb infolge Fehlens der sechsten Gleichung nicht die Einzelwerte  $\bar{y}_1$  und  $\bar{y}_2$  selbst, sondern nur ihre Verhältnisse

$$\frac{\bar{y}_1}{\bar{y}_2} \quad \text{errechnen. (49)}$$

Aus Gleichung (2) folgt

$$\bar{x}_1 = \bar{y}_1 \cdot \frac{x_1}{y_1} \quad \text{Sp}_1$$

und aus Gleichung (3)

$$\bar{z}_1 = \bar{y}_1 \cdot \frac{z_1}{y_1}.$$

Aus Gleichung (4) folgt

$$\bar{x}_2 = \bar{y}_2 \cdot \frac{x_2}{y_2} \quad \text{Sp}_2$$

und aus Gleichung (5)

$$\bar{z}_2 = \bar{y}_2 \cdot \frac{z_2}{y_2}.$$

Diese Werte, in Gleichung (1) eingesetzt, ergeben:

$$\left[ \bar{y}_1 \cdot \frac{x_1}{y_1} + \bar{y}_1 + \bar{y}_1 \cdot \frac{z_1}{y_1} \right] \cdot L_1 = \left[ \bar{y}_2 \cdot \frac{x_2}{y_2} + \bar{y}_2 + \bar{y}_2 \cdot \frac{z_2}{y_2} \right] \cdot L_2.$$

Da  $x_1 + y_1 + z_1 = x_2 + y_2 + z_2 = 1$  ist (als Dreieckskoordinaten), folgt Sp<sub>1</sub>/Sp<sub>2</sub>

$$\frac{\bar{y}_1}{\bar{y}_2} = \frac{L_2 \cdot y_1}{L_1 \cdot y_2}. \quad \text{WSp}_1, \text{WSp}_2 \quad (6)$$

Eine einfache geometrische Beziehung im Farbdreieck ergibt:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{x_1 - \frac{1}{3}}{\frac{1}{3} - x_2}, \quad \text{Spektrallicht - Weiss}$$

also mit Gleichung (6)

$$\frac{\bar{y}_1}{\bar{y}_2} = \frac{(\frac{1}{3} - x_2) y_1}{(x_1 - \frac{1}{3}) y_2} = \frac{(\frac{1}{3} - y_2) y_1}{(y_1 - \frac{1}{3}) y_2}. \quad (7)$$

Aus (1a) folgt

$$\bar{y}_1 = \frac{100}{1 + \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1}}. \quad \text{Wellenlänge 100} \quad (8)$$

Aus Gleichung (7) und (8) läßt sich  $\bar{y}_1$  und  $\bar{y}_2$  bzw.  $\bar{y}_{\text{Sp}_1}$  und  $\bar{y}_{\text{Sp}_2}$  bestimmen. Gleichung (7) enthält die bekannten Dreieckskoordinaten der Spektralreize bei  $\text{Sp}_1$ .

Zur Festlegung der Werte  $x_2$  und  $y_2$  benötigen wir den Dreiecksort der Gegenwellenlänge  $\text{Sp}_2$ . Er kann im Farbdreieck als Schnittpunkt der Geraden  $\text{Sp}_1W$  und der geradlinig aufgefaßten Spektralkurve zwischen zwei Wellenlängen gelten, deren Differenz nur 1 m $\mu$  beträgt. Diese beiden Wellenlängen lassen sich leicht mit Hilfe einer Tabelle von JUDD [17] berechnen.

Ist Purpur Gegenfarbe zum Spektralreiz bei  $\text{Sp}_1$ , so braucht man nur die Gerade  $\text{Sp}_1W$  mit der Purpurgeraden zum Schnitt zu bringen.

In Tabelle I sind die Werte  $\bar{y}_{\text{Sp}}$  angegeben und in Abb. 19 in größerem Maßstab

in Abhängigkeit von  $\lambda$  dargestellt. Vorderhand mögen aus Abb. 19 durch Interpolation die fehlenden Werte bestimmt werden. Ist der Farbreiz ein Purpur, so ist der zugehörige  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Wert gleich 100 minus demjenigen, welcher zur Gegenwellenlänge gehört.

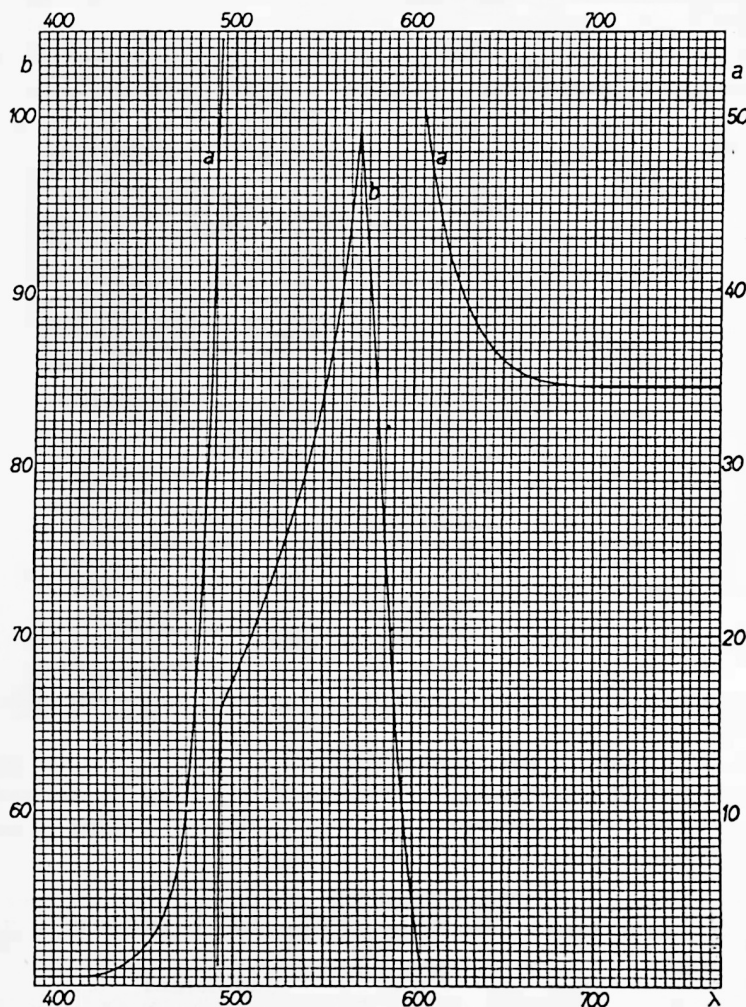


Abb. 19.  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Werte in Abhängigkeit von  $\lambda$ .

Die eigentümliche Form des Mittelstückes in der  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Kurve, die noch einmal in Abb. 20 in kleinerem Maßstab dargestellt ist, beruht darauf, daß in diesem Gebiet Purpurtöne Kompensationsfarben sind. Zu den Wellenlängen  $\lambda = 570 \text{ m}\mu$  und  $\lambda = 493 \text{ m}\mu$ , d. h. den beiden Spitzen der Kurven, sind die Enden des Spektrums kompensativ. Hieraus, ferner aus der Symmetrie des LUTHERSchen Körpers und unserer Ableitung folgt, daß sich die betreffenden  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Werte zu 100 ergänzen. So gibt der  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Wert bei  $\lambda = 493 \text{ m}\mu$  mit dem  $\bar{y}_{\bar{y}}$ -Wert bei  $700 \text{ m}\mu$  zusammen 100.

Die zwischen den beiden Spitzen liegenden Wellenlängen haben als Kompen-



sationsfarbe die Purpurtöne, die entstehen, wenn die Enden des Spektrums (Rot =  $780\text{ m}\mu$  und Violett =  $380\text{ m}\mu$ ) miteinander gemischt werden. Mischt man Rot und Violett etwa in gleichem Verhältnis, so wird die Gegenwellenlänge etwa in der Mitte zwischen den beiden Spitzen liegen. Der  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Wert für das Purpurgemisch wird einen Zwischenwert zwischen dem  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Wert des Rot und dem des Violett annehmen. Da der  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Wert der Gegenfarbe diesen zu 100 ergänzt, so muß er zwischen denjenigen der beiden Spitzen liegen. Das ist, wie aus der Kurvenform hervorgeht, auch der Fall.

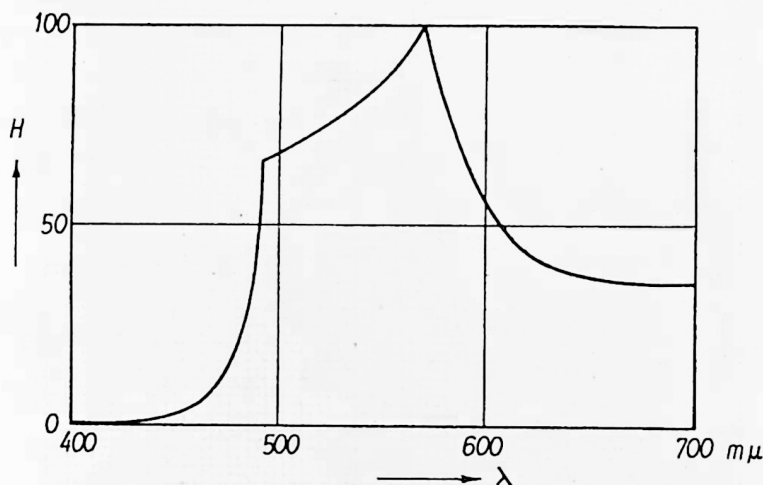


Abb. 20.  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Werte in Abhängigkeit von  $\lambda$ .

Der Gang der Maßzahlbestimmung einer gegebenen Farbe wäre also nunmehr folgender:

Mit Hilfe irgendeines Meßverfahrens (Remissionsfunktion, Dreifarbenmethode, RÖSCH-Verfahren, DRESLER-Zelle usw.) werden die drei Normalreizbeträge der betreffenden Farbe bestimmt, daraus mit bekannten einfachen Formeln die Werte für  $\lambda_f$ ,  $\bar{y}_F$  und  $\bar{y}_s$  errechnet und mit Hilfe der Gleichungen

$$\begin{aligned} \mathfrak{M} &= \frac{\bar{y}_F - \bar{y}_s}{100} \\ \mathfrak{B} &= \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_{\bar{g}}} \\ \mathfrak{C} &= 1 - (\mathfrak{M} + \mathfrak{B}) \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{y}_s \text{ errechnet sich leicht aus der sogenannten spek-} \\ \text{tralen Farbdichte } p \text{ (Normalblatt DIN 5033; 4, 3)} \\ p = \frac{y_s(y_F - \frac{1}{3})}{y(y_s - \frac{1}{3})} = \frac{\bar{y}_s}{\bar{y}_F} \quad \text{und daraus} \\ \bar{y}_s = \bar{y}_F \cdot \frac{y_s}{y_F} \cdot \frac{y_F - \frac{1}{3}}{y_s - \frac{1}{3}} \end{array} \right. \quad (1)$$

und unter Benutzung der  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Werte unserer Tabelle I die Größen  $\mathfrak{M}$ ,  $\mathfrak{C}$  und  $\mathfrak{B}$  bestimmt.

Die  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Werte für die Purpurgeraden sind leicht aus den  $\bar{y}_{\bar{g}}$ -Werten der Gegenwellenlänge zur Purpurwellenlänge zu errechnen. Es gilt nämlich  $\bar{y}_{\bar{g} \text{ purp.}} = 100 - \bar{y}_{\bar{g} \lambda}$ .

Wir schlagen vor, folgendermaßen zu schreiben:

Die Farbreizvalenz  $F$  besitzt die neuen OSTWALD-Anteile

$$\mathfrak{M}, \mathfrak{C} \quad \text{und} \quad \mathfrak{B}_{\lambda}.$$

Tabelle I  
Abhängigkeit der  $H$ -Werte von  $\lambda$

| $\lambda$ | $\bar{y}\bar{p}$ Proz. | $\lambda$ | $\bar{y}\bar{p}$ Proz. | $\lambda$ | $\bar{y}\bar{p}$ Proz. |
|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| 780       | 34,39                  | 574       | 94,10                  | 489       | 40,55                  |
| 700       | 34,39                  | 573       | 95,62                  | 488       | 36,77                  |
| 695       | 34,40                  | 572       | 96,94                  | 487       | 33,34                  |
| 690       | 34,44                  | 571       | 98,10                  | 486       | 30,24                  |
| 685       | 34,51                  | 570       | 99,24                  | 485       | 27,44                  |
| 680       | 34,61                  | 569       | 98,64                  | 482       | 20,63                  |
| 675       | 34,72                  | 568       | 97,56                  | 480       | 17,08                  |
| 670       | 34,85                  | 567       | 96,53                  | 475       | 10,78                  |
| 665       | 35,00                  | 566       | 95,54                  | 470       | 7,05                   |
| 660       | 35,19                  | 565       | 94,60                  | 465       | 4,83                   |
| 655       | 35,48                  | 560       | 90,42                  | 463       | 4,43                   |
| 650       | 35,82                  | 555       | 86,97                  | 460       | 3,59                   |
| 645       | 36,41                  | 550       | 84,12                  | 455       | 2,74                   |
| 640       | 37,12                  | 545       | 81,68                  | 450       | 2,14                   |
| 635       | 38,01                  | 540       | 79,56                  | 445       | 1,71                   |
| 630       | 39,11                  | 535       | 77,68                  | 440       | 1,32                   |
| 625       | 40,45                  | 530       | 75,94                  | 435       | 1,04                   |
| 620       | 42,15                  | 525       | 74,27                  | 430       | 0,84                   |
| 615       | 44,58                  | 520       | 72,71                  | 425       | 0,70                   |
| 610       | 47,16                  | 515       | 71,24                  | 420       | 0,62                   |
| 605       | 50,78                  | 510       | 69,85                  | 415       | 0,58                   |
| 599       | 56,34                  | 505       | 68,56                  | 410       | 0,58                   |
| 595       | 60,79                  | 500       | 67,32                  | 405       | 0,58                   |
| 590       | 67,44                  | 497       | 66,51                  | 400       | 0,58                   |
| 588       | 70,41                  | 495       | 65,94                  | 395       | 0,59                   |
| 585       | 75,17                  | 494       | 65,65                  | 390       | 0,60                   |
| 583       | 78,46                  | 493       | 60,21                  | 385       | 0,60                   |
| 586       | 83,55                  | 492       | 54,50                  | 380       | 0,61                   |
| 578       | 87,18                  | 491       | 48,04                  |           |                        |
| 575       | 92,44                  | 490       | 44,69                  |           |                        |

Gegenfarbenwerte erg. zu 100

Vio: 47,08  
Sio: 33,55

§ erhält die beiden Indizes  $\lambda$  und  $\bar{y}$ , um die Farbe des farbigen Sektors eindeutig nach Farbe ( $\lambda$ ) und Helligkeit ( $\bar{y}$ ) zu charakterisieren.

Mit dieser Triade ist die Anschaulichkeit des OSTWALD'schen Systems beibehalten. Nur haben wir an Stelle der OSTWALD-Werte einmal den wahren Weißanteil, ferner einen dem wahren Schwarzanteil näherkommenden Wert und an Stelle der Vollfarbe die Spektralfarbe gesetzt.

Um zu zeigen, welche Abweichungen zwischen den OSTWALD'schen Koordinaten und den unsrigen bestehen, haben wir Tabelle II aufgestellt. Aus der Tabelle geht hervor, daß bei gewissen Vollfarben (Rot  $\lambda_f = 660 \text{ m}\mu$ , Blaugrün  $\lambda_f = 493,9 \text{ m}\mu$ , Grün  $\lambda_f = 561,1 \text{ m}\mu$  und Purpur  $\lambda_K = -561,1 \text{ m}\mu$ ) recht große Schwarz- und Weißgehalte herauskommen, die beim OSTWALD'schen System noch nicht registriert werden. Verhüllt man die Vollfarben mit Weiß und Schwarz, so werden die Unterschiede verringert, sie sind aber immer noch beträchtlich.

Bei anderen Farben (Gelb  $\lambda_f = 573,7 \text{ m}\mu$ , Blau  $\lambda_f = 467 \text{ m}\mu$ ) sind die Unterschiede

Tabelle II

Gegenüberstellung der OSTWALDSchen Bestimmungstücke mit den unsrigen  
für einige Beispiele

| Farbe                                                              | $\lambda_f$ | $\mathcal{Y}_{\overline{F}}$ | OSTWALDSche<br>Koordinaten |          |          | Erweiterte OST-<br>WALD-Koordinaten |               |               |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------------|---------------|---------------|
|                                                                    |             |                              | <i>S</i>                   | <i>W</i> | <i>V</i> | $\mathcal{S}$                       | $\mathcal{W}$ | $\mathcal{V}$ |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | 660         | 53,2                         | 0                          | 0        | 1,00     | 0,281                               | 0,227         | 0,492         |
| 2. Die Vollfarbe 1 auf d. Kreisel<br>z. Hälfte mit Weiß gemischt.. |             |                              | 0                          | 0,50     | 0,50     | 0,140                               | 0,613         | 0,247         |
| 3. Die weißverhüllte Vollfarbe 2<br>zur Hälfte abgedunkelt .....   |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,57                                | 0,307         | 0,123         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal auf<br>die Hälfte abgedunkelt .....   |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,784                               | 0,154         | 0,062         |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | 561,1       | 90,9                         | 0                          | 0        | 1,00     | 0,086                               | 0,081         | 0,833         |
| 2. Die Vollfarbe 1 auf d. Kreisel<br>zur Hälfte mit Weiß vermischt |             |                              | 0                          | 0,50     | 0,50     | 0,043                               | 0,540         | 0,417         |
| 3. Diese weißverhüllte Vollfarbe 2<br>zur Hälfte abgedunkelt ..... |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,521                               | 0,270         | 0,208         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal auf<br>die Hälfte abgedunkelt .....   |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,761                               | 0,135         | 0,104         |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | 573,7       | 94,5                         | 0                          | 0        | 1,00     | 0,016                               | 0,039         | 0,945         |
| 2. Die Vollfarbe 1 auf d. Kreisel<br>zur Hälfte mit Weiß vermischt |             |                              | 0                          | 0,50     | 0,50     | 0,008                               | 0,52          | 0,473         |
| 3. Diese weißverhüllte Vollfarbe 2<br>zur Hälfte abgedunkelt ..... |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,504                               | 0,26          | 0,236         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal auf<br>die Hälfte abgedunkelt .....   |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,752                               | 0,13          | 0,118         |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | 493,9       | 64,8                         | 0                          | 0        | 1,00     | 0,227                               | 0,281         | 0,492         |
| 2. Vollfarbe 1 zur Hälfte weiß-<br>verhüllt .....                  |             |                              | 0                          | 0,50     | 0,50     | 0,114                               | 0,639         | 0,247         |
| 3. Diese Farbe 2 zur Hälfte ab-<br>gedunkelt.....                  |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,558                               | 0,319         | 0,123         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal zur<br>Hälfte abgedunkelt .....       |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,779                               | 0,159         | 0,062         |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | -561,1      | 9,1                          | 0                          | 0        | 1,00     | 0,081                               | 0,086         | 0,833         |
| 2. Vollfarbe 1 zur Hälfte mit<br>Weiß verhüllt .....               |             |                              | 0                          | 0,50     | 0,50     | 0,041                               | 0,542         | 0,417         |
| 3. Diese Farbe 2 zur Hälfte ab-<br>gedunkelt.....                  |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,521                               | 0,271         | 0,208         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal zur<br>Hälfte abgedunkelt .....       |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,760                               | 0,136         | 0,104         |
| 1. Vollfarbe .....                                                 | 467         | 5,5                          | 0                          | 0        | 1,00     | 0,039                               | 0,016         | 0,945         |
| 2. Vollfarbe 1 zur Hälfte mit<br>Weiß verhüllt .....               |             |                              | 0                          | 50       | 0,50     | 0,02                                | 0,507         | 0,473         |
| 3. Diese Farbe 2 zur Hälfte ab-<br>gedunkelt.....                  |             |                              | 0,50                       | 0,25     | 0,25     | 0,51                                | 0,254         | 0,236         |
| 4. Diese Farbe 3 noch einmal zur<br>Hälfte abgedunkelt .....       |             |                              | 0,75                       | 0,125    | 0,125    | 0,765                               | 0,127         | 0,118         |

zwischen den Bestimmungsstücken bei OSTWALD und uns geringer, insbesondere bei den verhüllten Farben.

Immerhin zeigt die Tabelle, wie berechtigt es ist, das neue System zu benutzen.

### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit enthält einen Vorschlag zur Erweiterung des Farbkennzeichnungsverfahrens nach OSTWALD.

1. Das OSTWALDsche System wird grundsätzlich nach Vorgang von LUTHER, NYBERG und RICHTER erläutert und dessen große Bedeutung hervorgehoben.

2. Die von OSTWALD vorgeschlagenen Maßzahlen Schwarz-, Weiß- und Vollfarbenteil werden eingehend diskutiert und gewisse Nachteile an ihnen beschrieben.

3. Insbesondere wird unterstellt, daß die Vollfarben empfindungsgemäß noch Schwarz und Weiß enthalten, und daß daher die OSTWALDschen Weiß- und Schwarzanteile nicht die wahren Werte darstellen.

4. Um diese Mängel zu beheben, setzen wir an Stelle der Vollfarbe den anschaulicheren Spektralreiz gleichen Farbtones gewisser Helligkeit. Diese Helligkeit ergibt sich aus dem LUTHER-NYBERGschen Pigmentfarbenreizkörper dadurch, daß man bei einem farbtongleichen Schnitt dieses Körpers die Tangenten im Weiß- und Schwarzpunkt ( $W$  und  $S$ ) miteinander zum Schnitt bringt (Punkt  $\bar{B}$  von Abb. 14, S. 205). Die Größe der Helligkeit dieser Spektralreize ist in Abb. 19, S. 215 und in Tabelle I festgelegt.

5. Es werden Formeln angegeben, mit deren Hilfe man aus den bekannten trichromatischen Farbkoordinaten die neuen OSTWALD-Koordinaten in dem so entstehenden Dreieck  $\bar{B}WS$  (Abb. 14) bestimmen kann.

### Literaturverzeichnis

1. ARENS, H., Physik. Z. 43 (1942) 43.
2. LUTHER, R. Z. techn. Physik 540 (1927). Im folgenden wird diese Arbeit nur durch „LUTHER, S. . .“ zitiert.
3. Auf ein eingehendes Literaturverzeichnis haben wir in dieser Arbeit verzichtet, da solche Verzeichnisse sehr ausführlich in folgenden Arbeiten vorliegen: SCHÖBER, H., Physik. Z. 38 (1937) 514; RÖSCH, S., Fortschr. Mineralogie, Kristallographie u. Petrographie 13 (1929) 759; RICHTER, M., Grundriß der Farbenlehre der Gegenwart. Dresden und Leipzig 1940. Die Zitate aus diesem Buche bezeichnen wir künftig: „RICHTER, S. . .“.
4. SCHRÖDINGER, E., Ann. Physik 62 (1920) 603.
5. RICHTER, M., Das Licht II (1941) 75.
6. RÖSCH, S., Fortschr. Mineralogie, Kristallographie u. Petrographie 13 (1929) 759.
7. RICHTER, S. 159.
8. LUTHER, S. 550ff.
9. NYBERG, N. D., Z. Physik 52 (1928) 406.
10. LUTHER, S. 552.
11. RICHTER, S. 111.
12. LUTHER, S. 551.
13. LUTHER, S. 550ff.
14. LUTHER, S. 551.
15. LUTHER, S. 551.
16. RICHTER, S. 110 und Z. techn. Physik 1931 582.
17. JUDD, D. B., J. O. S. A. 23 (1933) 359.