

Die Darstellung der mit den Agfacolor-Positiv-Farbstoffen ermischbaren Farben

Von Werner Schultze und Hans Hörmann

DK 535,6 (084.5):778.66.

I. Einleitung

Im Agfacolor-Negativ-Positivverfahren wird das zur Vorführung gelangende Bild durch subtraktive Mischung der drei Farbstoffe des Positivfilms erzeugt. Es ist nun von Interesse festzustellen, wie groß die Mannigfaltigkeit der ermischbaren Farben ist und ob auch die Naturfarben in diesem Bereich liegen. Da drei Bestimmungsstücke für die Festlegung von Farben notwendig und hinreichend sind, stellt man sie zweckmäßig im dreidimensionalen Raum dar. Die subtraktiven Mischungen der drei Einzel Farbstoffe bauen so einen Körper auf, der einen Teil des gesamten Farbraumes abgrenzt. Der Farbkörper enthält dann sämtliche Farben, die mit diesen Farbstoffen überhaupt darstellbar sind.

Die reizmetrische Kennzeichnung der Farben kann durch verschiedene Maßzahlgruppen erfolgen. Wir haben im vorliegenden Falle die Normalreizanteile x und y (Farbtafelkoordinaten für das IBK-Dreieck) und die Helligkeit \bar{y} für das räumliche Koordinatensystem gewählt [1]¹⁾. Durch den Aufbau eines solchen Farbkörpers ist man dann in der Lage zu entscheiden, ob bestimmte natürliche Farben — vor allen Dingen hochgesättigte — mit den betreffenden Farbstoffen überhaupt wiedergebbar sind.

II. Der aus den Agfacolor-Positiv-Farbstoffen berechnete Farbkörper

Voraussetzung für die Berechnung des Farbkörpers ist die Kenntnis der spektralen Extinktionskurven der Einzelfarbstoffe des Color-Positivfilms. Dafür standen uns die mit dem selbstregistrierenden Spektralphotometer nach HARDY gemessenen Transparenzkurven der drei Einzelschichten dieses Filmes zur Verfügung. Aus diesen lassen sich in bekannter Weise die Extinktionswerte berechnen. Eine wichtige Voraussetzung für die Bestimmung des Farbkörpers ist die Festlegung einer maximalen Farbdichte für die drei Farbstoffe. Wir legten diese Dichte derart fest, daß die subtraktive Mischung aller drei maximalen Dichten ein Grau von der Schwärzung $S = 2,5$ ergibt. Erfahrungsgemäß reicht diese Dichte bei der Projektion vollkommen zur Wiedergabe von Schwarz aus.

¹⁾ Ein anderes Koordinatensystem wählten FRIESER und REUTHER [1] für die Uvachromfarben.

Der erste Schritt zur Berechnung des Farbkörpers ist der Abgleich der drei Farbstoffe auf ein Grau von der Dichte 2,5. Dazu kann man sich die drei Einzelfarbstoffe in verschiedenen Dichten herstellen und alle drei solange kombinieren, bis die visuelle Beurteilung der übereinandergelegten Proben die Gleichheit mit dem gewünschten Grau zeigt. Wir haben statt dessen eine rechnerische Methode gewählt, die genauer arbeitet. Dabei wird die Gültigkeit des BEERSchen Gesetzes angenommen, was nach unseren Feststellungen im wesentlichen zutrifft. Das Verfahren besteht darin, daß man die für je eine Probe der Einzelfarbstoffe gemessenen spektralen Extinktionswerte summiert und nach Übergang in die entsprechenden Transparenzwerte rechnerisch auswertet. Man findet dabei zunächst eine von Grau verschiedene Farbe und muß nun die Extinktionswerte der einzelnen Farbstoffe mit geeigneten Faktoren multiplizieren, um in der beschriebenen Weise einen möglichst vollkommenen Grauabgleich zu erreichen. Da es sich hier um ein unechtes Grau handelt, muß man auch die Art der Beleuchtung festlegen. Wir wählten hierfür die Normalbeleuchtung E nach DIN 5033. In der Abb. 1 sind die so abgeglichenen Farbstoffe und ihre subtraktive Mischung zu Grau wiedergegeben. Durch diesen Abgleich auf die Dichte 2,5 sind auch die Maximaldichten für die drei Farbstoffe festgelegt. Verringert man diese Dichten für alle drei im gleichen Verhältnis, so erhält man Farben, die von Grau nicht nennenswert abweichen.

Man kann nun beliebig viele Punkte des Farbkörpers ermitteln, indem man bei jedem Farbstoff die Dichte von Null bis zu diesem Maximum variiert und hiermit alle möglichen Dreierkombinationen bildet. Diese Farben erfüllen den ganzen vom Farbkörper umgrenzten Raum. Für den vorliegenden Zweck interessiert im wesentlichen die Oberfläche des Farbkörpers. Man kann daher die Zahl der notwendigen Farbstoffkombinationen erheblich reduzieren, indem man sich auf diejenigen Farben beschränkt, die auf der Oberfläche des Farbkörpers liegen. Eine nähere Überlegung zeigt, daß man dazu jeweils für mindestens einen der drei Farbstoffe die Dichte Null oder die maximale Dichte (2,5) einhalten und die beiden anderen innerhalb dieser Grenzen variieren muß. Man hat dadurch weiterhin den Vorteil, daß nur Zweierkombinationen sowie Dreierkombinationen mit konstantem Wert für einen Farbstoff zu bestimmen sind.

Die rechnerische Ermittlung der einzelnen subtraktiven Mischungen erfolgt grundsätzlich in ähnlicher Weise wie es oben für den Grauabgleich beschrieben wurde. Die für diesen Grauabgleich bestimmten Extinktionswerte für die drei Einzelfarbstoffe dienen nun als Grundlage für die Berechnung der Mischfarben. Zu diesem Zwecke werden die Extinktionswerte von 10 zu 10 $m\mu$ mit den erforderlichen Faktoren auf die Dichten 2,0; 1,5; 1,0; 0,5 und 0,25 reduziert, in einigen Fällen mußten noch andere

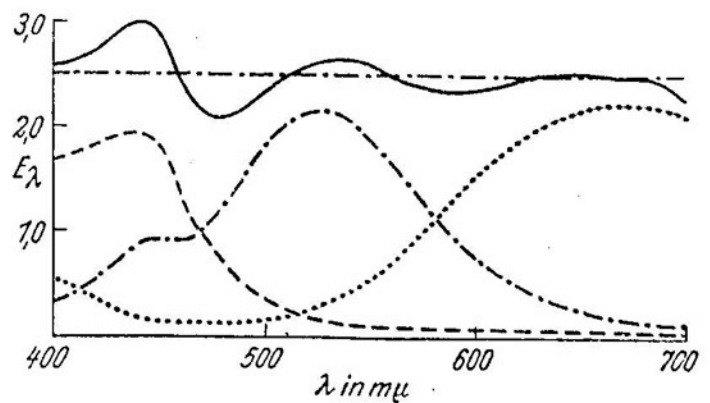


Abb. 1. Extinktionskurven der Agfacolor-Positiv-Einzelarbstoffe. Gelb (---), Purpur (-·-·-) und Blaugrün (.....), sowie des aus ihnen ermischnen unechten Grau der Dichte 2,5 (—).

Dichten zur Vervollständigung herangezogen werden. Zum Beispiel geht dann die Berechnung der Kombination Gelb 2,5, Purpur 0,5 und Blaugrün 1,0 so vor sich:

Man multipliziert zunächst die auf Grau 2,5 abgeglichenen Extinktionswerte bei Gelb mit 1,0, bei Purpur mit 0,2 und bei Blaugrün mit 0,4, addiert jeweils die drei Werte, geht zu den Transparenzen über und wertet schließlich mit Hilfe der 30 Aus-

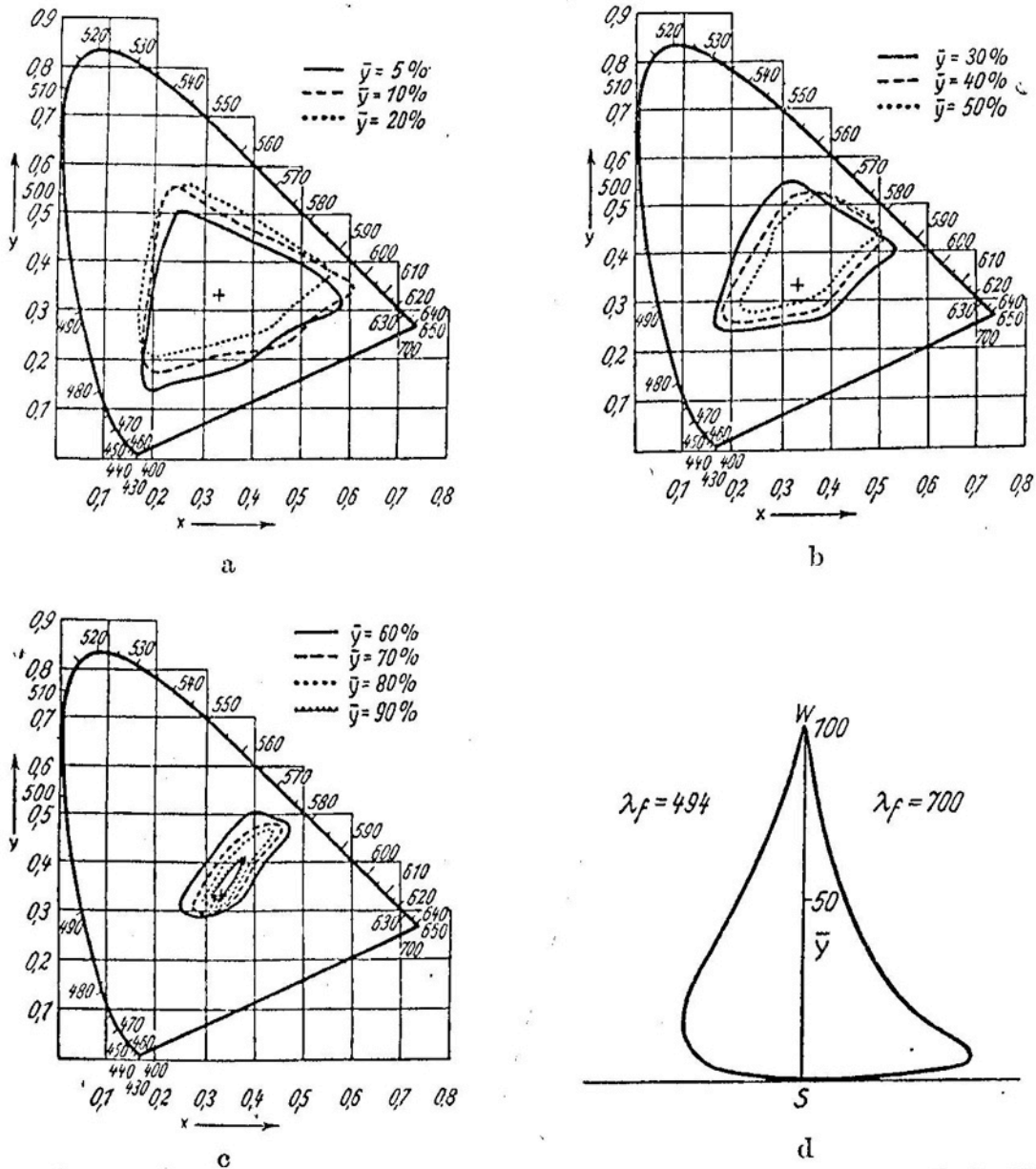


Abb. 2. Schnitte gleicher Helligkeit durch den Agfacolor-Positivfarbkörper und ein Vertikalschnitt gleichen Farbtones.

a) $\bar{y} = 5, 10, 20\%$. b) $\bar{y} = 30, 40, 50\%$. c) $\bar{y} = 60, 70, 80$ und 90% . d) $\lambda_f = 494$ und $700 \text{ m}\mu$.

wahlordinaten in bekannter Weise die Transparenzkurve reizmetrisch aus. Berechnet wurden etwa 200 solcher Kombinationen. Sie wurden zunächst in verschiedenen Helligkeitsstufen von 10 zu 10% zusammengefaßt, für die ganz dunklen Farben wurden die Stufen etwas enger gewählt. So wurden beispielsweise alle Farben mit Helligkeiten zwischen 40 und 50% in einem Diagramm dargestellt und ebenso die zwischen 50 und 60%. Daraus wurde nun der Farbkörperschnitt für die Helligkeit $\bar{y} = 50\%$ durch Interpolation nahe beieinander liegender Farborte aus den beiden obigen

Diagrammen bestimmt. Die Schnitte für den gesamten Color-Positivfarbkörper sind in der Abb. 2a–c dargestellt.

Daraus ergibt sich, daß der Farbkörper bei $\bar{y} = 100\%$ in eine Spitze einmündet (sämtliche Farbstoffkonzentrationen gleich Null). Mit abnehmender Helligkeit verbreitert sich der Körper mehr und mehr, um sich schließlich wieder einzuschnüren und in dem Graupunkte mit der Helligkeit $\bar{y} = 0,3\%$ (Graudichte 2,5) zu enden. Die Abb. 2d stellt einen Farbtonschnitt durch diesen Körper dar.

III. Vergleich mit der Praxis

Um festzustellen, ob diese errechneten subtraktiven Mischungen nicht zu stark idealisierte Ergebnisse liefern, haben wir eine Reihe von subtraktiven Mischfarben im Positivfilm selbst praktisch hergestellt und reizmetrisch ausgewertet. Dazu wurde das Material nacheinander mit blauem, grünem und rotem Licht verschiedener Dosierung anbelichtet, so daß die Lichteindrücke in den drei Teilschichten in den verschiedenen Verhältnissen zueinander stehen. Wir haben 128 Anbelichtungen gemacht, die mit dem selbstregistrierenden Spektralphotometer nach HARDY ausgemessen und in der üblichen Weise ausgewertet wurden. Da die unbelichteten Stellen des entwickelten Materials nur 72% Helligkeit hatten, mußten zum besseren Vergleich mit dem errechneten Farbkörper alle Helligkeitswerte auf diese Helligkeit von 72% bezogen werden. Die Zusammenfassung in Helligkeitsgruppen und die Interpolation von Werten für eine bestimmte Helligkeit geschah in der gleichen Weise wie oben beschrieben. Als Beispiel ist in der Abb. 3 der Schnitt bei $y = 10\%$ für die berechneten und die gemessenen Werte dargestellt. Die nähere Betrachtung dieser Abbildung zeigt im Gebiet von Gelb über Rot, Purpur nach Blau bis Blaugrün eine weitgehende Übereinstimmung. Nur im grünen Gebiet bleiben die Messungen etwas innerhalb der berechneten Werte. Auffälligerweise sind dagegen im Gelbgrün bis Gelb die Farben sogar gesättigter. Dies ist darin begründet, daß bei den Anbelichtungen zum Teil die maximale Farbdichte der gelben Farbe den berechneten Farbkörper überschritten hat. Eine solche „Übersteuerung“ der Farben würde aber beim normalen unverzweigten Negativ-Positivprozeß nicht auftreten. Man kann also feststellen, daß die Meßwerte nur wenig von dem errechneten Farbkörper abweichen und dieser deshalb allen weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt werden kann.

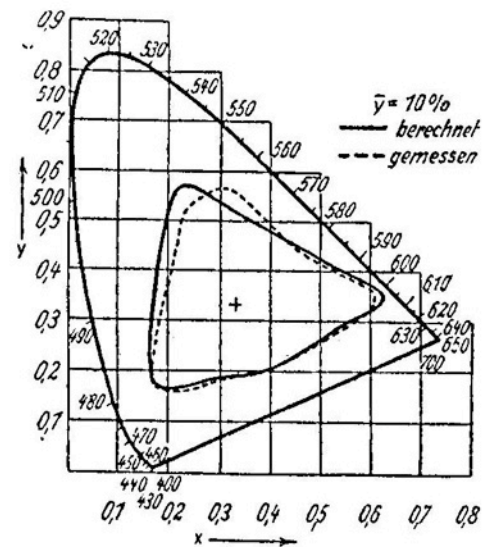


Abb. 3. Vergleichender Schnitt für $\bar{y} = 10\%$ durch den berechneten (—) und den gemessenen Agfacolor-Positivfarbkörper (---).

IV. Vergleich mit Naturfarben

Von besonderem Interesse ist nun ein Vergleich dieses Positivfarbkörpers mit den gesättigten natürlichen Farben. Hierfür verwendeten wir zahlreiche eigene Messungen an BAUMANN-Pigmenten und anderen Farbanstrichen sowie die Messungen an einer

großen Zahl von OSTWALD-Farben, die wir Herrn Dr. M. RICHTER verdanken. Insgesamt wurden 447 Anstriche verwertet, ferner haben wir eine große Anzahl von Blüten und Blättern ausgemessen und ausgewertet¹⁾. Der Vergleich dieser Messungen mit dem Agfacolor-Positivfarbkörper zeigt, daß die natürlichen Farben vom Blaugrün über das Grün bis zum Gelb durchweg innerhalb dieses Farbkörpers liegen, und zwar für die geringen Helligkeiten ziemlich stark, für die höheren weniger. Dagegen liegt von den Farben Blau, Purpur und Rot ein Teil außerhalb des Farbkörpers. Als Beispiele sind in der Abb. 4 die Helligkeitsschnitte bei $\bar{y} = 10\%$ und $\bar{y} = 50\%$ wiedergegeben. Die Herstellung dieser Schnitte für die Pigmentfarben erfolgte ebenso wie beim berechneten Farbkörper durch entsprechende Interpolation nahe benachbarter Werte.

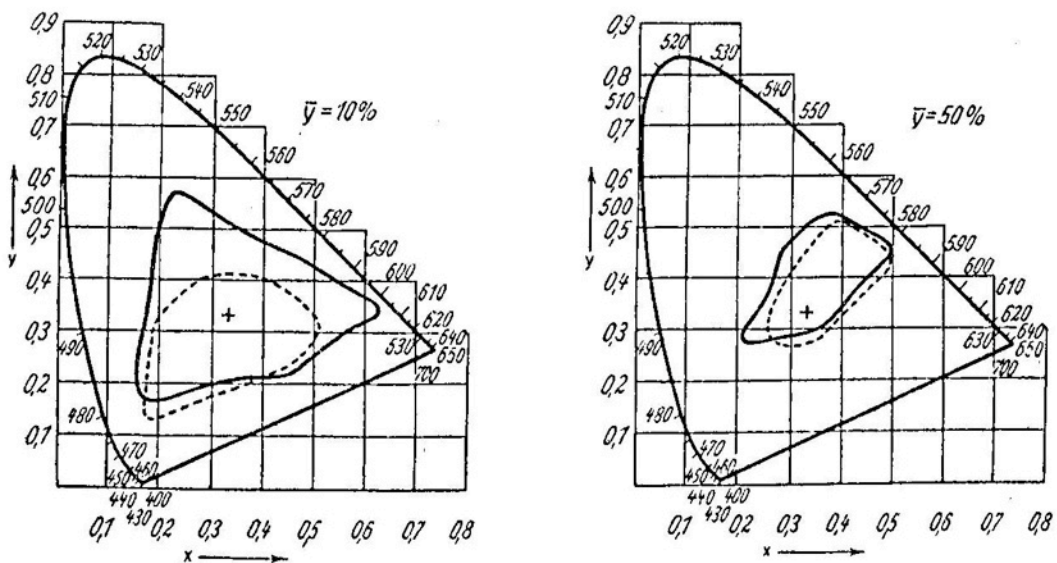


Abb. 4. Vergleich der Schnitte $\bar{y} = 10\%$ und $\bar{y} = 50\%$ des berechneten Agfacolor-Positivfarbkörpers (—) mit den entsprechenden für die Pigmentfarben (---).

Der Agfacolor-Positivfilm kann also grundsätzlich alle natürlichen Farben wiedergeben mit Ausnahme einiger sehr gesättigter Purpur- und Blautöne. Aber auch diese Farben können naturgetreu ermischt werden, wenn man auf eine strenge Einhaltung der Helligkeitsbedingung verzichtet und die Wiedergabe dieser Farben mit einer proportional verringerten Helligkeit zuläßt. Dies ist aber, wie die früheren Ausführungen zeigen²⁾, im Falle der Projektion infolge der dunklen Umgebung ohne Beeinträchtigung der Farben möglich.

Die Untersuchungen zeigen also, daß die Farbstoffe des Agfacolor-Positivfilms zur subtraktiven Ermischung der natürlichen Farben ausreichen. Damit allein ist aber eine naturgetreue Wiedergabe aller Farben noch nicht gewährleistet, denn sie hängt auch von der Dosierung der Farbstoffe ab. Diese ist aber durch die Registrierung der aufzunehmenden Farben im Negativfilm und durch die Art der Übertragung auf den Positivfilm gegeben.

¹⁾ Siehe dazu die vorhergehende Arbeit von H. HÖRMANN und W. SCHULTZE, S. 111.

²⁾ Siehe dazu die vorhergehende Arbeit von H. HÖRMANN und W. SCHULTZE, S. 113.

V. Zusammenfassung

1. Aus den spektralphotometrischen Messungen der Einzelfarbstoffe des Agfacolor-Positivfilms wurden rechnerisch die subtraktiven Mischungen bestimmt und räumlich als Farbkörper dargestellt.

2. Durch dosierte Anbelichtung des Positivfilms wurde eine größere Zahl von subtraktiven Mischfarben praktisch erzeugt. Der Vergleich mit den Rechnungen zeigt befriedigende Übereinstimmung.

3. Eine große Zahl von Farbanstrichen, Blüten und Blättern wurde ebenfalls spektralphotometrisch ausgemessen und nach reizmetrischer Auswertung mit dem erwähnten Farbkörper verglichen. Nur einige von ihnen liegen außerhalb des Farbkörpers, bei geeigneter Helligkeitsverminderung werden sie ebenfalls von diesem umschlossen.

Schrifttum

1. Frieser, H. und Reuther, R., Z. techn. Phys. 19 (1938) 77.