

### 3.4.3 Farbräume CIE-L\*a\*b\* System / CIE L\*u\*v\* System allgemein:

Um eine Formel für den allgemeinen Gebrauch herzuleiten, bemühte sich die CIE um eine Normierung, denn viele Formeln beschreiben unterschiedlich große Farbunterschiede für Probenpaare, deren Farbunterschied im Mittel visuell gleich groß bewertet wird. Hieraus sind zwei Farbabstandsformeln entstanden.

Zum einen die CIELab- Formel, gültig für normale reflektierende oder durchlässige Proben.

Der L\*a\*b\* -Farbenraum hat ein Diagramm, in dem gerade Linien aus der Normfarbtafel im allgemeinen zu gekrümmten Linien werden. Die additiven Mischfarben haben demnach ihre Farbörter auf gekrümmten Verbindungslinien der Farbörter der Komponenten. Seine besondere Bedeutung hat der L\*a\*b\*- Farbenraum in den industriellen Bereichen gewonnen, die sich mit der Mischung von Farbmitteln beschäftigen. ( DIN 5033 ), zum anderen die CIELuv-Formel, gültig für Proben, hergestellt durch additive Farbmischung (Film, Fernsehen).

Der L\*u\*v\*- Farbenraum hat gegenüber dem L\*a\*b\* -Farbenraum eine u',v' -Farbtafel, in der Geraden aus der Normfarbtafel Geraden bleiben. Die Farbörter additiver Mischfarben liegen demnach, wie in der Normfarbtafel, auf geraden Verbindungslinien. Seine Bedeutung hat der L\*u\*v\*-Farbenraum in industriellen Bereichen, wo die additive Mischung eine wesentliche Rolle spielt.

Im L\*a\*b\* - und L\*u\*v\* -Farbenraum CIE 1976 können die Farbmaßzahlen auch durch die Kenngrößen L\* -Helligkeit, ab- oder uv- Buntheit und ab- oder uv- Buntonwinkel angegeben werden.

#### 3.4.3.1 CIE L\*a\*b\* System

Dieser Farbenraum ist Grundlage der Farbabstandsbewertung nach DIN 6174.

CIE L\*a\*b\*- Formel:  $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$

oder

$$\Delta E^* =$$

Dieser angenähert empfindungsgemäß gleichabständige Farbenraum ist für  $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n > 0,01$  durch folgende Koordinaten definiert :

$$L^* = 116 \sqrt[3]{(Y/Y_n)} - 16$$

Helligkeit

$$a^* = 500 \left[ \sqrt[3]{(X/X_n)} - \sqrt[3]{(Y/Y_n)} \right]$$

Rot - Grün - Achse

$$b^* = 200 \left[ \sqrt[3]{(Y/Y_n)} - \sqrt[3]{(Z/Z_n)} \right]$$

Gelb - Blau - Achse

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

Sättigung (Buntheit)

$$h = \arctan \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

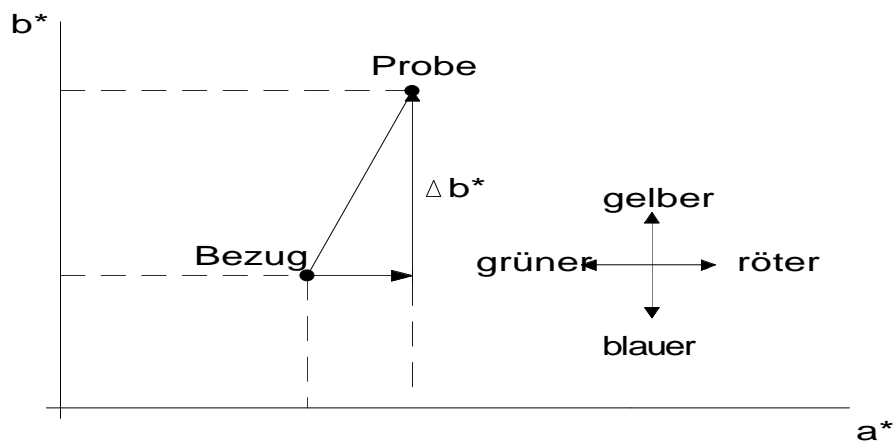
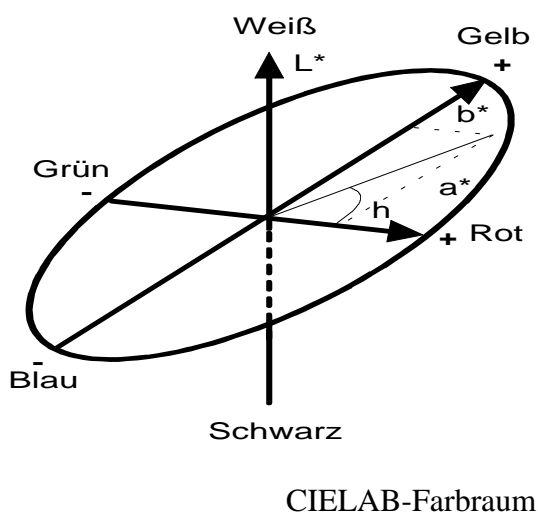
Farbton (Buntton)

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta C^*)^2 - (L^*)^2}$$

$$\Delta C^* = C^*_P - C^*_B ; \quad P = \text{Probe} , B = \text{Bezug oder Standard}$$

Die Normfarbwerte  $X_n, Y_n, Z_n$  sind die Normfarbwerte des vollkommen mattweißen Körpers unter der beleuchtenden Lichtart und legen den Unbuntpunkt fest (DIN 5033). Der mit der Formel ermittelte Wert ist der Farbabstand zweier benachbarter Farben. Hierbei sind die einzelnen Differenzen  $\Delta a^*$  und  $\Delta b^*$  interessant, da sie die Verschiebungstendenzen angeben. Des Weiteren werden die abgeleiteten Größen  $\Delta C^*$  (Sättigungsdifferenz) und  $\Delta H^*$  (Farbtondifferenz) verwendet.

Wenn  $b^*$  gegen  $a^*$  aufgetragen wird, sind die Farbörter in dem entsprechenden  $a^*, b^*$  - Diagramm nicht eindeutig einer Farbart zugeordnet, da ihre Lage vom Helligkeitswert  $L^*$  abhängt. Gerade Linien in der Normfarbtafel werden im allgemeinen zu gekrümmten Linien im  $L^*a^*b^*$  - Diagramm.



Aufspaltung des Farbabstandes nach  $\Delta a^*$  und  $\Delta b^*$  im CIELAB System

(Die Farbtafel unterscheidet sich zur Normfarbtafel darin, daß die unbunten Farben bei jeder Lichtart im Nullpunkt der Ebene liegen. Dies wird durch die Division der Normfarbwerte durch die Normfarbwerte des idealen Weiß erreicht.)

### 3.4.3.2 CIE-L\*u\*v\* System

Dieser angenähert empfindungsgemäß gleichabständige Farbenraum ist für  $X/X_n$ ,  $Y/Y_n$ ,  $Z/Z_n > 0,01$  durch Formel :

$$\text{CIEL}^*u^*v^* \text{ - Formel : } \Delta E^* = \sqrt{(L^*)^2 + (u^*)^2 + (v^*)^2}$$

mit folgenden Koordinaten festgelegt :

$$L^* = 116 \sqrt[3]{(Y/Y_n)} - 16$$

$$u^* = 13 L^* (u' - u'_n)$$

$$v^* = 13 L^* (v' - v'_n)$$

Bei der CIEL\*u\*v\* -Formel geht die Helligkeit in hohem Maße mit ein, wie man der Definition von u\* und v\* entnehmen kann. Der mit der Formel ermittelte Wert ist der Abstand einer durch additive Mischung entstandenen Farbe zum Idealweiß.

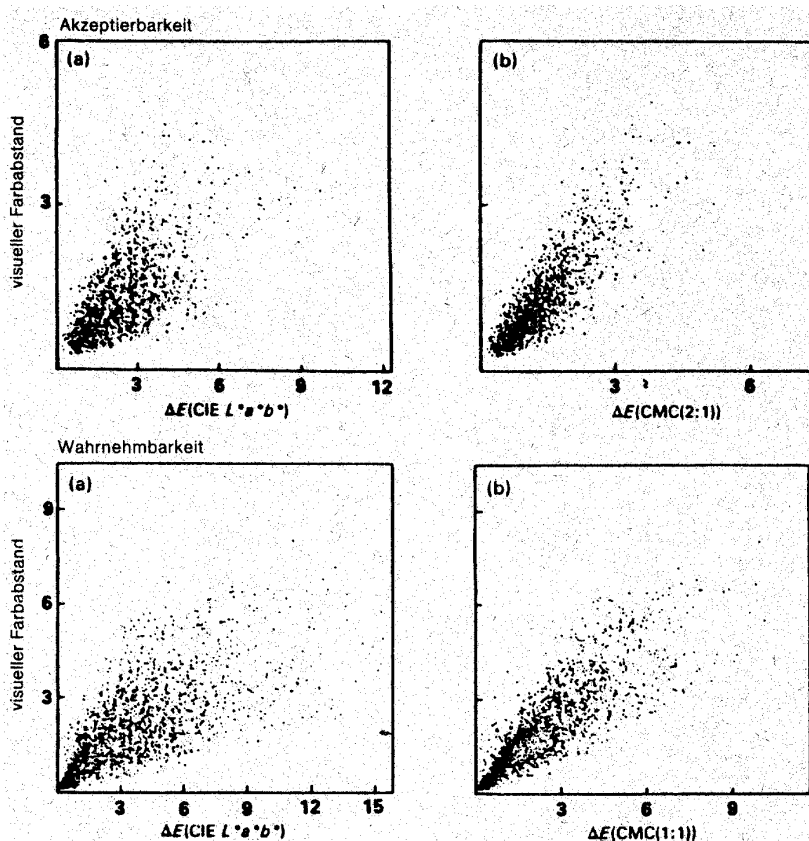
### 3.4.4 CMC System

Eine weitere korrigierte Formel, die mit verschiedenen Faktoren erweitert wurde, um eine noch bessere Gleichabständigkeit zu erreichen ist die CMC -Formel (Colour Measuring Committee - Society of Dyers and Colorists).

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\Phi_{L^*}^2}{H_L^2 R^+} + \frac{\Phi_{C^*}^2}{H_C^2 R^+} + \frac{\Phi_{H^*}^2}{H_H^2 R}}$$

$S_L$ ,  $S_C$ ,  $S$  sind Werte in Abhängigkeit von  $L^*$ ,  $C^*$  und  $H^*$

$l$  und  $c$  sind wählbare Korrekturfaktoren, mit denen die Werte an bestimmte Proben angepasst werden können, um die beste Korrelation mit den visuellen Untersuchungen zu ergeben. So bietet die Kombination 2:1 gute Übereinstimmung zu visuell empfundenen Differenzen bei noch tolerierbaren Farbunterschieden und die Kombination 1:1 liefert gute Ergebnisse bei der Untersuchung von Wahrnehmungsschwellen (kleinste Farbabstände), weil hierbei die Helligkeitsbewertung stärker eingeht.  $\Delta E$  dient als Toleranzmaß bei der Nachstellung von Färbungen, da zwei identische Färbungen nicht hergestellt werden können. Ebenso ist es ein Genauigkeitsmaß bei Farbmeßgeräten.



Vergleich von CIELab und CMC Daten

### 3.5 Metamerie

Es wurde schon weiter oben festgestellt, daß zwei Proben mit gleichen Remissionskurven unter allen Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen gleich aussehen und die gleichen Normfarbwerte haben. Die umgekehrte Behauptung gilt nicht. Es gibt vielmehr Proben mit unterschiedlichen Remissionskurven, die zumindest unter einer Beleuchtung für einen Beobachter gleich aussehen können. Solche Probenpaare werden bedingt gleich oder metamer genannt. Die Remissionskurven müssen dabei mindestens drei Schnittpunkte aufweisen, um als metamer bezeichnet werden zu können.

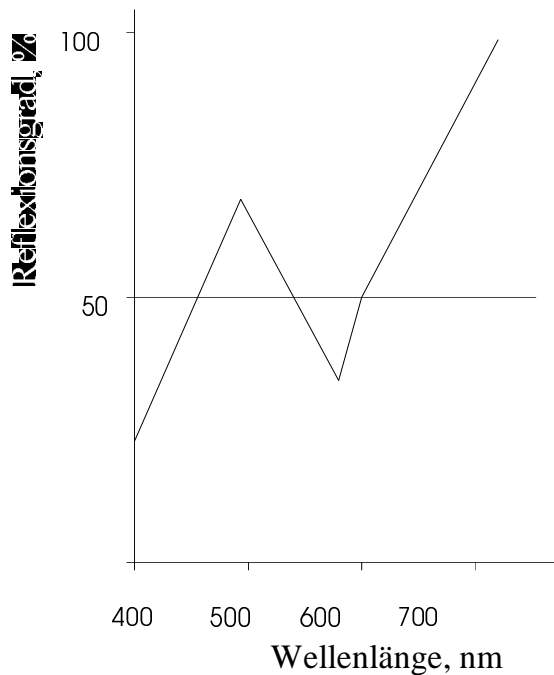


Abb.: Graues Probenpaar, das für die Normlichtart D 65 und den 10° Normalbeobachter metamer ist.

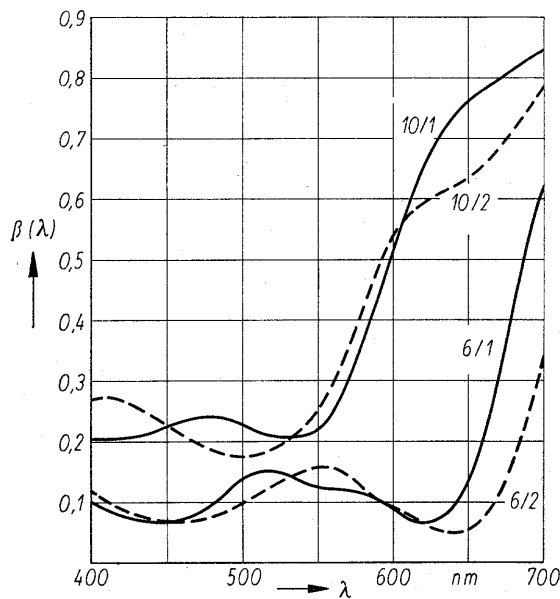
Die Farbvalenz wird durch drei Farbwerte ( Integralwerte ) bestimmt. Zwei Farbvalenzen sind gleich, wenn die entsprechenden Integrale gleich sind, dazu müssen aber die Farbreizfunktionen

$\varphi_{\lambda} = S_{\lambda} \cdot \beta(\lambda)$  nicht gleich sein. Sind beide Farbflächen von der gleichen Lichtart  $S_{\lambda}$  beleuchtet, so können trotz gleicher Farbvalenzen (also gleichen Aussehens) die Remissionskurven  $\beta(\lambda)$  verschieden sein. Um die Ungleichheit zweier Farbvalenzen zu erkennen, muß man nur die Lichtart verändern, so erscheint eines der Integralpaare unterschiedlich. Es ergibt sich zu der ersten Berechnung eine Farbdifferenz  $\Delta E$ , die als Metamerieindex bezeichnet wird. Dazu dient ein empfindungsgemäß bewertendes Farbabstandsmaß, das den Farbunterschied der (unter der Bezugslichtart gleichen) Farbvalenzen bei der neuen Lichtart kennzeichnet. Als Bezugsgrößen bei der Ermittlung des Metamerieindex gehen in die Farbabstandsformel die spektrale Strahlungsleistung von D65 und spektralen Empfindlichkeitswerte des 10° Beobachters ein. Der Metamerieindex bezeichnet ein Abweichungsmaß gegenüber anderen Bedingungen als denen des Bezugs.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2}$$

Für die Praxis ist der Metamerieindex ein wichtiges Maß zur Bestimmung von Farbunterschieden. Metamere Probenpaare, deren Remissionskurven bekannt sind, dienen zur Überprüfung von Abmusterungsleuchten, z.B. solcher, die das mittlere Tageslicht mit 6500 K nachstellen sollen. Diese Leuchten können nicht die genormte Strahlungsverteilung von D65 haben und deshalb ist neben dem Farbwiedergabeindex noch ein weiteres Maß notwendig, der Metamerieindex. Dieser wird rechnerisch über die Farbabstandsformel ermittelt, kann aber auch durch eine visuelle Untersuchung überprüft werden. Nach der CIE gelten Lampen mit einem  $\Delta E < 0,5$  als sehr gut und solche mit  $\Delta E > 2$  als schlecht. Diese Werte beziehen sich auf die CIEL\*a\*b\*-Formel. Bei der Farbnachstellung mit Hilfe von Farbmeßsystemen werden Rezepte berechnet, die eine Farbe mit möglichst den

gleichen Normfarbwerten ergeben. Eine identische Nachstellung ist nicht möglich. Vorlage und Nachstellung sollen aber bei einer Lichtart / Beobachter - Kombination gleich aussehen.



Remissionskurven

### 3.6 Farbwiedergabe Index

Um ein visuelles Übertragungssystem in Bezug auf seine Farbwiedergabe zu beurteilen, sind eine Vielzahl von Informationen notwendig. Eine beliebige Farbvalenz, die durch die drei Größen Farbton, Helligkeit und Sättigung gekennzeichnet ist, müßte sich wiederum durch Angabe oder Berechnung dieser Werte beschreiben lassen.

Die Schwierigkeit liegt hier in den Farbübertragungsfehlern, die sich bei der subjektiven Beurteilung durch den menschlichen Sehapparat ergeben.

Zu diesem Zweck wurde der Farbwiedergabeindex geschaffen. Er soll eine Kenngröße für die farbmetrisch richtige Farbwiedergabe eines Übertragungssystems darstellen und darüber hinaus noch einfach zu bestimmen sein.

Zur Bestimmung des Farbwiedergabeindex wird ein Satz genormter Testfarben, die durch ihre spektralen Strahldichtefaktoren definiert sind, von dem zu prüfenden System reproduziert. Anschließend werden die farbmetrischen Abweichungen gemessen und im Farbwiedergabeindex zusammengefaßt.

Als farbmetrisch richtige Farbwiedergabe wird dann gefordert, daß die Farbvalenzen der Testfarben bei der Wiedergabe durch ein Übertragungssystem mit den Farbvalenzen, die die Testfarben im Bezugszustand haben, unabhängig von der tatsächlichen Aufnahmeart. Da die Testfarben und die Bezugslichtart (D 65) festgelegt sind, liegen auch die Normfarbwerte der Testfarben im Bezugszustand fest. Zur Bestimmung des Farbwiedergabeindex werden die Normfarbwerte der Testfarben zum einen im Bezugszustand, zum anderen bei der Wiedergabe gemessen.

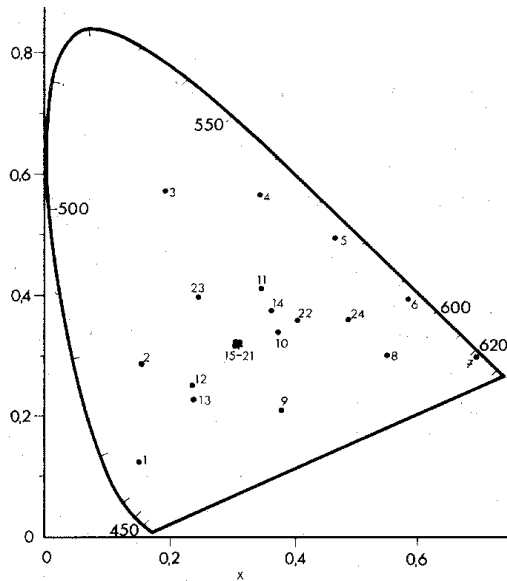


Abb. der Testfarben

Beide Farbarten werden nach der Eintragung in die CIE-UCS-Farbtabelle, mit folgender Farbabstandsformel berechnet:

$$\Delta E = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2}$$

Der Farbabstand  $\Delta E$  wird in CIE-Einheiten gemessen, die einem gerade wahrnehmbaren Farbunterschied entsprechen.

Diese 'jnd' (just noticeable differences) entsprechen der dreifachen Standardabweichung der MacAdam Ellipsen.

Der Farbabstand  $\Delta E_i$  der Testfarbe  $i$  zwischen Wiedergabe und Bezugszustand dient zur Herleitung des speziellen Farbwiedergabeindex  $R_i$ :

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i; \quad \text{der Faktor 4,6 in der Formel wurde willkürlich gewählt.}$$

Der allgemeine Farbwiedergabeindex  $R_a$  ergibt sich aus dem Mittelwert der speziellen Farbwiedergabeindizes der ersten acht Testfarben, die einen Kranz um den Unbuntpunkt bilden:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

Der Farbwiedergabeindex wird in der heutigen Praxis häufig eingesetzt:

- Kennzeichnung der Farbwiedergabe in der Farbfernsehübertragungskette
- Farbwiedergabe in der Farbphotographie beim Vergleich eines projizierten Dias mit einem bei Tageslicht betrachteten Farbbild
- Farbwiedergabe von Lichtquellen

### 4.3 Farbdensitometer

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Methoden der Farbmessung, das Gleichheitsverfahren, das Spektralverfahren und das Dreibereichsverfahren (s.o.).



Die photographische Schicht enthält bei Colormaterialien drei verschiedene Farbstoffe, die für den Bildaufbau notwendig sind, der Anteil hängt von verschiedenen Faktoren, wie Silberhalogenidgehalt, Belichtungsintensität und Entwicklungsbedingungen ab. In der Photographie ist die optische Dichte ein Maß für die Lichtschwächung durch die Farbanteile in der Schicht. Zur Bestimmung der optischen Dichte einer Filmschwärzung wird in der Fotografie ein Densitometer verwendet.

Beim Farbdensitometer sind zusätzlich Meßfilter in verschiedenen Farben vorgeschaltet, die für ihren Spektralbereich transparent und für die beiden anderen undurchlässig sind.

Es gibt verschiedene Gründe für die Messung der optischen Dichte:

- Beurteilung des visuellen Helligkeitseindrucks eines Bildes
- Vorhersagen über das Verhalten eines Filmes beim Kopiervorgang
- Bestimmung des Farbstoffgehalts zur Kontrolle des Farbprozesses
- Kennzeichnung photographischer Eigenschaften mit Hilfe von sensitometrischen Dichtekurven

### 4.3.1 Der allgemeine Dichtebegriff

Um photographische Schichten auswerten zu können, ist die Transmission ein geeignetes Maß um die Wirkung der Belichtung und Entwicklung auf die Schicht quantitativ zu bewerten.

Die optische Dichte wird als  $D = \lg \frac{1}{\tau}$  definiert.

In der Sensitometrie werden die Dichten der drei Farbstoffschichten eines Filmmaterial getrennt im blauen, grünen und roten Licht gemessen. Genauso wie in der S/W-Dichtemessung ein auf S/W-Material abgebildeter Stufengraukeil im weißen Licht gemessen wird, wird bei der Farb-Dichtemessung ein auf Farbmaterial abgebildeter Stufengraukeil im blauen, grünen und roten Licht densitometrisch gemessen.

Die Dichte ist eine Funktion der Wellenlänge des Lichtes mit dem gemessen wird. Man erhält für die Charakterisierung eines auf Farbmaterial aufgenommenen Stufenkeils drei Kurven.

Die optische Dichte wird wie folgt definiert:

$$D = \lg \frac{1}{\tau} = \lg \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} \cdot s(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} \cdot s(\lambda) \cdot \tau(\lambda) d\lambda}$$

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten der Dichte:

- Integraldichte ist die optische Dichte des entwickelten, aus mehreren Schichten bestehenden Farbmaterials. Sie wird mit Hilfe des Densitometers gemessen.
- Analytische Dichte ist die Dichte einer der Schichten eines Mehrschichtmaterials als Maß für den Farbstoffgehalt dieser Schicht.

### **4.3.2 Spektrale Meßbedingungen: Status A - und Status M- Densitometrie (Nach DIN 4512)**

Zur Bestimmung der visuellen optischen Dichte ist neben den geometrischen Bedingungen folgendes zu beachten:

- Bei visuellen Messungen durch einen normalsichtigen Beobachter soll die relative spektrale Verteilung der auf die Probe fallenden Strahlung im sichtbaren Spektralgebiet einer Verteilungstemperatur von 3000 K entsprechen.
- Werden physikalische Empfänger verwendet, so muß deren relative spektrale Empfindlichkeit an  $V(\lambda)$  angeglichen sein, wenn die auf die Probe fallenden Strahlung im sichtbaren Spektralbereich eine Verteilungstemperatur von 3000 K besitzt.

Für die Farb- bzw. S/W- Densitometrie gilt, daß die Dichtemessung immer dem Verwendungszweck angepaßt sein muß.

Status A : Für die visuelle Auswertung eines Bildes müssen die spektralen Bedingungen bei der Messung eine geeignete Beleuchtung und die spektrale Empfindlichkeit des normalsichtigen Auges annähern.

Status A -Dichten werden gemessen, um die optischen Dichten im blauen, grünen und roten Bereich des Spektrums zu bestimmen, die direkt oder durch Projektion betrachtet werden sollen.

Status M : Für das photographische Kopierverfahren müssen die spektrale Strahlungsverteilung der Lichtquelle (=Printlampe ) und die spektrale Empfindlichkeit des Kopiermaterials angenähert werden.

Status M -Dichten werden für strahlungsempfindliche Materialien gemessen, von denen noch Kopien angefertigt werden, z.B. Farbnegativfilm.

### **4.3.3 Geometrische Bedingungen (Nach DIN 4512)**

Zur Bestimmung der optischen Dichte sind folgende geometrische Bedingungen in genügender Näherung zu erfüllen:

- Die Strahlung muß gleichmäßig aus dem Halbraum auf die Probe fallen. Nur der senkrecht aus der Probe treffende Anteil darf gemessen werden.
- Der Einfluß von Reflexionen zwischen der Probe und Teilen der Meßapparatur (z.B. Schutzglas, Filter, Oberflächen des Beleuchtungskörpers oder der Auffangfläche des Empfängers) muß vernachlässigbar klein bleiben.
- Die Störstrahlung muß vernachlässigbar klein sein.

### **4.3.4 Vorstellung der X- Rite Densitometer 310, 810 und 820 TRX**

X-Rite-Densitometer 310 TRX

- Dichte-Eichung (Durchlicht)
- Korrekturwert-Eingabe
- Messung der absoluten Dichte
- Dichte- Differenz-Messung
  - Standardwert-Eingabe
  - Referenzkeil-Einspeicherung
    - HD-LD-Eichung vom Referenzkeil
- Farbbalance-Messung

#### X-Rite-Densitometer 820 TRX

- Filterwahl
- Statusfilter-Umschaltung
- Datenspeicher DBASE Funktion
- Korrekturwerteingabe
- Referenzstreifen-Abspeicherung
- Kurvenzeichnung durch Plotter
- Ausdruck der Dichtewerte
- Eichung Durchlicht
- Eichung Auflicht

Siehe auch Bedienungsanleitungen im Farbpraktikum

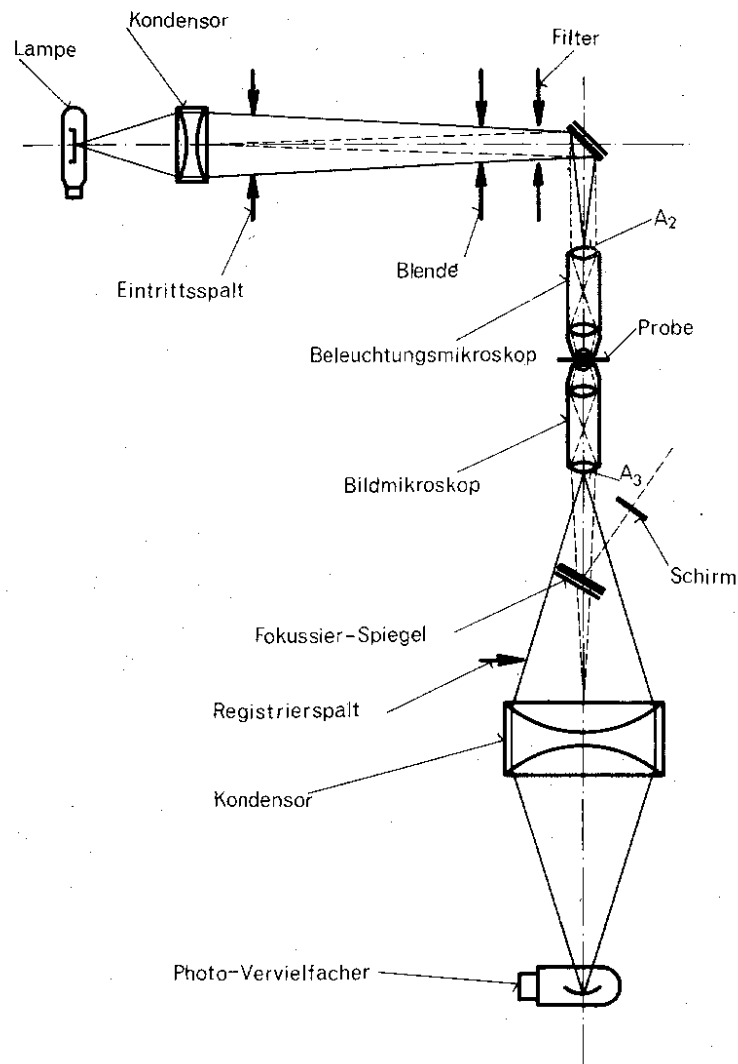
Messung der visuellen optischen Dichte:

Man mißt die Schwächung des Lichts durch ein Bild, das direkt oder durch Projektion betrachtet werden soll. Für die Messung der Reflexionsdichte soll die Empfängerempfindlichkeit und die spektrale Charakteristik auf der Ausgangsseite des Densitometers die  $V(\lambda)$ -Kurve für das Tagessehen annähern.

#### 4.4 Farbmikrodensitometer

Mikrodensitometer dienen zur Erfassung der optischen Dichte in sehr kleinen Bereichen photographischer Materialien. Sie werden sowohl in der wissenschaftliche Photographie, für die Untersuchung der Detailwiedergabe oder die Auswertung von Spektrosensitogrammen, als auch bei vielen Anwendung photographischer Schichten, z.B. für die Spektralanalyse oder die Astronomie, benötigt. Die Zahl der in Laboratorien gebauten und in der Literatur beschriebenen Modelle übersteigt deshalb sicherlich diejenige der "Makrositometer". Einige von ihnen werden auch für den Verkauf hergestellt. Die Geometrie des Strahlenganges weicht bei diesen Geräten aus Gründen der notwendigen Vergrößerung und der für die Messung benötigten Energie im allgemeinen stark von den Normbedingungen für die Messung im diffusen Licht ab. Die Dichtewerte verschiedener Geräte unterscheiden sich deshalb für streuenden Schichten erheblich, und unumgänglich. Besitzt die Beleuchtungseinrichtung (Kondensor) eine große Apertur, so mißt man auch hier annähernd optische Dichten im diffusen Licht. Als einfachste Vertreter des Gerätetyps können manche Spektrenauswerter, Instrumente für Messungen an Spektralaufnahmen, gelten. Auch Mikrodensitometer älterer Bauart, früher meist Mikrophotometer genannt, sind heute noch vielfach im Gebrauch. Ein Mikrodensitometer

für die Untersuchung der Struktureigenschaften entwickelter photographischer Bilder haben Altman und Stultz konstruiert. Derartige Untersuchungen erfordern ein Gerät mit sehr hohem Auflösungsvermögen, extrem geringem Streulicht und großer Empfindlichkeit, Eigenschaften, die käufliche, meist für vielseitige Verwendung ausgelegte Instrumente selten zu bieten vermögen. Die Autoren beleuchten die Probe mit Hilfe einer Bandlampe, eines Kondensators und eines Beleuchtungsmikroskops. Ein zweites Mikroskop bildet das Probenfeld vergrößert auf einem Registrierspalt ab. Die Ausleuchtung einer stets gleich großen Kathodenfläche des Photovervielfachers wird dadurch erreicht, daß die Mikroskope das Bild der Lichtquelle im Okular des Beleuchtungsmikroskops bei A2 in die Austrittspupille A3 des Bildmikroskops abbilden und A3 wiederum durch dem direkt hinter dem Registrierspalt befindlichen Kondensator auf die Photokathode abgebildet wird. Zur Einstellung des Probenfeldes und zur Kontrolle der Abbildungsschärfe ist ein in den Strahlengang schwenkbarer Spiegel vorgesehen, der das Probenbild auf einen Mattglasschirm wirft. Durch logarithmische Verstärkung des Photostromes werden direkt optische Dichten zw. 0 und 3 auf einem Kompensationsschreiber registriert. Verschiedene Papiergeschwindigkeiten des Schreibers ermöglichen Übertragungsfaktoren von der Probenbewegung (Probenantrieb ebenfalls mit Synchronmotor) zum Diagramm zw. 20 und 8000. Die Breite des Registrierspaltes läßt sich kontinuierlich, die Länge in Stufen ändern. Bei einer 200-fachen Vergrößerung liegt die effektive Spaltbreite auf der Probe (gleich Breite des Registrierspaltes dividiert durch Vergrößerung) zwischen 0 und 20  $\mu\text{m}$ , die effektive Spaltlänge zwischen 50 und 400  $\mu\text{m}$ . Das Auflösungsvermögen erreicht mit geeigneten Mikroskopobjektiven die Abbesche Auflösungsgrenze. Zum Beispiel werden 1000 Linien/mm mit einer effektiven Spaltbreite von 0,3  $\mu\text{m}$ , einer numerischen Apertur des Kondensators von 0,25 und einer solchen des Objektivs von 0,4 registriert. Die üblichen Gebrauchsbedingungen für 800 Linien pro mm liegen bei 1  $\mu\text{m}$  effektiver Spaltbreite und Apertur von 0,25 bzw. 0,4. 1800 Linien/mm erreicht man bei 0,1  $\mu\text{m}$  Spaltbreite und Apertur von 0,65 bzw. 0,4. Die optischen Dichten besitzen Werte zw. solchen im doppelt diffusen und solchen im gerichteten Licht gemessenen. Sie müssen, wenn erforderlich, mit normgerecht vermessenen Proben kalibriert werden. Streulicht vermeiden die Autoren bei der Konstruktion weitestgehend. Erst die Dichten von Linien, die bei  $D < 1,4$  schmaler als 2  $\mu\text{m}$  sind, verringern sich durch Streulicht mit abnehmender Linienbreite in steigendem Maße, Linien höherer Dichte werden auch schon bei größerer Breite beeinflusst.



Strahlengang des Mikrodensitometres von Altman und Stultz

#### 4.6 Farbphotographische Aufnahmematerialien

Neben der Detailwiedergabe (Körnung und Konturenschärfe) ist die Farbwiedergabe ein bestimmender Faktor für die Qualität farbiger photographischer Bilder. Die Farbwiedergabe beschreibt, mit welcher Genauigkeit die Objektfarben durch das photographische Farbbild wiedergegeben werden. Zu Aussagen über die Genauigkeit kann man mittels subjektiver und objektiver Bewertungsmethoden kommen. Die objektive Messung ist der Vorrang gegenüber der subjektiven Beurteilung zu geben, weil physiologische und psychologische Eigenschaften des menschlichen Farbwahrnehmungsvermögens (Farberinnerungsvermögen, Farbumstimmung, Lieblingsfarben) einen großen Unsicherheitsfaktor für die Beurteilung darstellen. Aus den angegebenen Gründen ist die objektive Prüfung der Farbwiedergabe zu einem Bestandteil der Sensitometrie geworden. Grundlage solcher Farbwiedergabeprüfungen sind Farbmessungen auf der Basis des Normvalenzsystems.

Die einfachste Prüfung auf dieser Grundlage besteht darin, für ausgewählte Objektfarben sowie deren Reproduktionen im fotografischen Bild die zugehörigen Farbwerte zu messen.

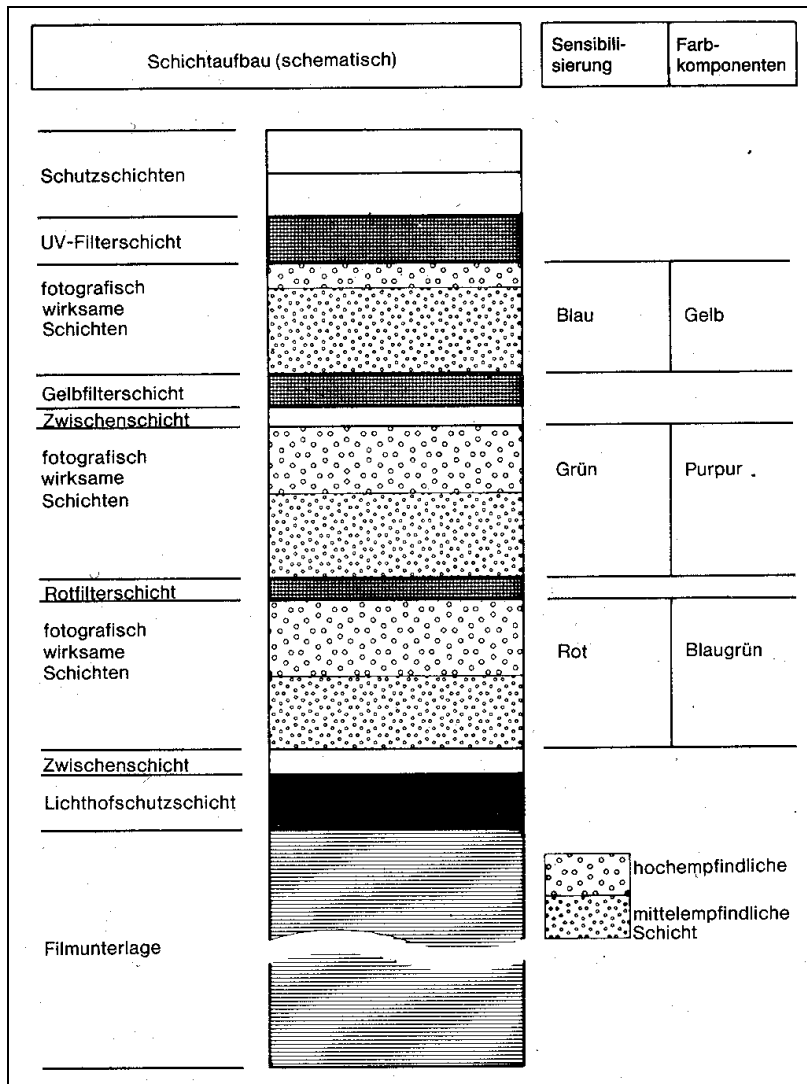
Die dabei ermittelten Differenzen stellen eine Maßzahl für die Genauigkeit der Farbwiedergabe für die ausgewählten Objektfarben dar. Die mittlere Differenz ist der sogenannte Farbwiedergabeindex. Die Benutzung eines solchen Farbwiedergabeindex. Die Benutzung eines solchen Farbwiedergabeindex hat den Nachteil, daß große Unterschiede in der Genauigkeit der Wiedergabe verschiedener Farben nicht erkannt werden können. Deshalb ist es in vielen Fällen günstiger, eine grafische Darstellungsform zu wählen, in der die ermittelten Farbwerte bzw. daraus abgeleitete Größen aufgetragen werden. Bei der Verwendung hinreichend vieler Objektfarben läßt sich nach solchen Verfahren ein geschlossener Kurvenzug ermitteln, der im Vergleich zu dem entsprechenden Kurvenzug der wiedergegebenen Farben eine vollständige Aussage zu Farbwiedergabegenauigkeit gestattet.

Auf den grundlegenden Kenntnissen der Farbenlehre aufbauend, beschäftigte man sich ab etwa 1860 im Rahmen der damals noch recht beschränkten technischen Möglichkeiten mit dem Prinzip des Drei-Farbenauszugs. Von einem Motiv fertigt man dazu drei Schwarzweißaufnahmen an mit jeweils einem Filter in den Primärfarben Blau, Grün und Rot und erhält drei Negative mit unterschiedlicher Helligkeitsverteilung. Die drei Negative werden dann zu drei Positiven umkopiert und schließlich entsprechend der additiven Farbmischung mit drei Diaprojektoren und vorgeschalteten Filtern übereinander projiziert. Bis heute spielt die Aufteilung des Aufnahmelichts in die drei Primärfarbenbereiche eine grundlegende Rolle, wenn auch in abgewandelter und weiterentwickelter Form; farbige Aufsichtsbilder sind ja heute problemlos anzufertigen. Fortschritte auf dem Gebiet der Photochemie erlauben außerdem eine weitaus praktischere Handhabung moderner Photomaterialien. so ist gelungen, Photoschichten nur für einen bestimmten Spektralbereich zu sensibilisieren, d. h. die Schicht reagiert nur auf Licht eines festgelegten Bereichs von Wellenlängen. Um eine Reaktion auf alle Farben des Spektrums hervorzurufen, benötigt man nach den Gesetzen der Farblehre drei Schichten, von denen je eine für blaues, grünes und rotes Licht empfindlich ist. Moderne Photomaterialien erfüllen diese Aufgabe in hohem Maße. Außerdem ist es technisch möglich, die drei Schichten übereinander auf einen Schichtträger zu gießen, so daß nicht mehr drei Aufnahmen eines Motivs erforderlich sind, sondern nur noch eine einzige, bei der alle drei Schichten gleichzeitig belichtet werden. Darüber hinaus ist es gelungen, mit Farbstoffen außer der Helligkeit auch die Farbigekeit eines Motivs auf das Photomaterial zu übertragen. Heute stehen der bildmäßigen Photographie drei Wege zur Verfügung, um Schwarzweißschichten mit Farben zu verbinden:

- Chromogene Entwicklung: Die Farbstoffe werden während der Entwicklung in den Schichten gebildet.
- Chromolytische Entwicklung: die Farbstoffe sind bereits in den Schichten enthalten und werden im Silberbleichverfahren teilweise ausgebleicht.
- Farbdiffusionsverfahren: Auch hier sind die Farbstoffe bereits eingelagert; die benötigten Farbpartikel müssen erst in die Bildschicht wandern

Alle Verfahren setzen voraus, daß die Photomaterialien für Farbbilder eine blauempfindliche, eine grünempfindlich und eine für rotes Licht empfindliche Schicht besitzen. Die Farbstoffe, die in den Schichten entstehen oder vorhanden sind, entsprechen allerdings nicht der jeweiligen spektralen Sensibilität, sondern man verwendet die entsprechende Komplementärfarbe. Die blauempfindliche Schicht wird also mit Farbstoff der Farbe Yellow eingefärbt, die grünempfindliche mit Magenta und die rot empfindliche mit Cyan. Nach der Farbenlehre lassen sich ja mit diesen drei subtraktiven Grundfarben alle anderen Farben mischen. Die Anwendung der subtraktiven Farben ist durch die

Überlagerung der drei Farbschichten zu erklären. Bei einer solchen Anordnung ist eine Farbmischung (bei transparenten Stoffen und Körperfarben) nur nach der subtraktiven Methode möglich. Es bleibt also festzuhalten, daß das Prinzip der Farbphotographie auf einer Kombination von beiden Farbmischemethoden beruht.



Farbschichtaufbau

## **Abbildungen und Skizzen :**

### **1 Skizze Script Seite 2**

Spektrale Dichten einer visuellen grauen Farbfilmprobe und ihrer  
Einzelfarbstoffschichten

### **2 Abbildung 37 Richter S. 83**

Spektrale Strahlungsverteilung  $S\lambda$  für die Normlichtarten A, C und D65

### **3 Abb. 29 W.Schultze Seite 37**

Schema des Dreibereichsverfahrens

### **4 Abb. 47 W'.Schultze Seite 54**

Ostwald'sche Doppelkegel

### **5 Abb.75 M.Richter Seite164**

psychologische bunttongleiche Dreieck

### **6 Abb. Skript S 16 Körperfarben, Beate Becker**

### **7/8 Abb 48 +Abb 49 W.Schultze S.55/56**

#### **Munsell-Farbkörper**

Umrechnungsdiagramm CIE-Munsell für Value-Stufe 5 (=Hellbezugswert 19,8).  
Jeder Strahl charakterisiert einen bestimmten Farbton, jede geschlossene Kurve eine  
bestimmte Sättigungsstufe

### **9/10 Abbildungen Richter S.64 Abb. 28 und S.74 Abb.33**

**o.a. W.Schultze Abbn. 13, 14, 15 Seite 15,16,17**

Spektralwertkurven

Normspektralwertkurven

### **11 DIN 5033 Blatt 2 Seite 5**

Abbildung Vergleich der Normspektralwertfunktionen für  $2^\circ$  und  $10^\circ$   
Gesichtsfeldgröße

### **12 Meßaufbau siehe Abb.26 S30 W.Schultze**

Spektralphotometrische Farbmessung von Aufsichtsfarben

### **13 Abbildung der Normlichtarten DIN 5033 Teil7 S.2**

### **14 Normfarbtafel mit den Schwellenellipsen nach Mac Adam**

**Abbildung 84 Richter S 177**



- 15/16/17** 3 Abbildungen **Anne Berger Schunn S59/60**
- 18** Abbildung Darstellung des CIELuv-Farbraums in der CIE-UCS-Farbtafel **DIN 5033 Teil 3 S.8**
- 19** Abbildungen Vergleich von CIELab und CMC Daten **S 62 Anne Berger-Schunn**
- 20** Tabelle **Richter S.86** Remissionskurven
- 21** Abb. der Testfarben **G.Vieth Abb,10-4 S.408**
- 22 Skizze Script Seite 2**  
Spektrale Dichten einer visuellen grauen Farbfilmprobe und ihrer Einzelfarbstoffschichten
- 23 W.Schultze S.19**  
Abb.Normfarbtafel
- 24 S113 Richter**  
CIE-UCS-Farbtafel 1960 Abb
- 25** Abb. Farbschichtaufbau **F. Freier S.94**
- 26 Abb G.Vieth S. 156**  
Strahlengang des Mikrodensitometres von Altman und Stultz
- 27 Abb. A. Berger- Schunn S.77**  
Graues Probenpaar, das für die Normlichtart D 65 und den 10° Normalbeobachter metamer ist.
- 28 M.Richter S.88**  
Sogenannte subtraktive Farbmischung