

Prof. Dr. Jürgen Nolting

How does it work? – Teil 12

Was ist eigentlich Farbe?

Teil 2: Farbmessung

Im vorigen Artikel haben wir schon einiges über Farben und ihre messtechnische Charakterisierung erfahren:

- Ein Farbeindruck lässt sich durch drei Komponenten definieren. Ursächlich hierfür ist, dass das Auge beim Farbsehen drei Zapfenarten mit unterschiedlichem spektralen Verlauf der Empfindlichkeit einsetzt.
- Es kommt dabei nicht unbedingt auf die spektrale Zusammensetzung des Lichtes an: Wenn die Erregungsanteile der drei Zapfenanteile gleich sind, empfindet man die Farbe als gleich. Zwei Farben sind gleich, wenn sie sich in der additiven Farbmischung gleich verhalten.
- Da ein Farbeindruck durch drei Komponenten definiert wird, ist die mathematische Beschreibung mit einem Vektor (Farbvalenz) sinnvoll.
- Jede Farbvalenz kann als lineare Kombination von drei Basisvektoren (Primärvalenzen) geschrieben werden.
- Verzichtet man auf eine Information über die absolute Helligkeit, kommt man auch mit zwei Werten aus, die sich auf einfache Weise in einem Farbdreieck kartieren lassen. Weit verbreitet ist hier die Normfarbtafel CIE 1931.

Neben der Darstellung eines Farbortes in der Tafel CIE 1931 gibt es noch weitere Darstellungssysteme, die einige Nachteile vermeiden. Darüber soll am Anfang dieses Artikels berichtet werden. Sodann wird die Lage der in der Praxis häufig vorkommenden Planckschen Strahler im Farbdigramm diskutiert. Danach werden die bei der Farbmessung nicht selbst leuchtender Flächen erforderlichen Normbeleuchtungen vorgestellt. Nach einem Kapitel über Besonderheiten bei der Farbmessung schmalbandiger Quellen, wie z.B. LEDs, werden praktische Messverfahren besprochen [1].

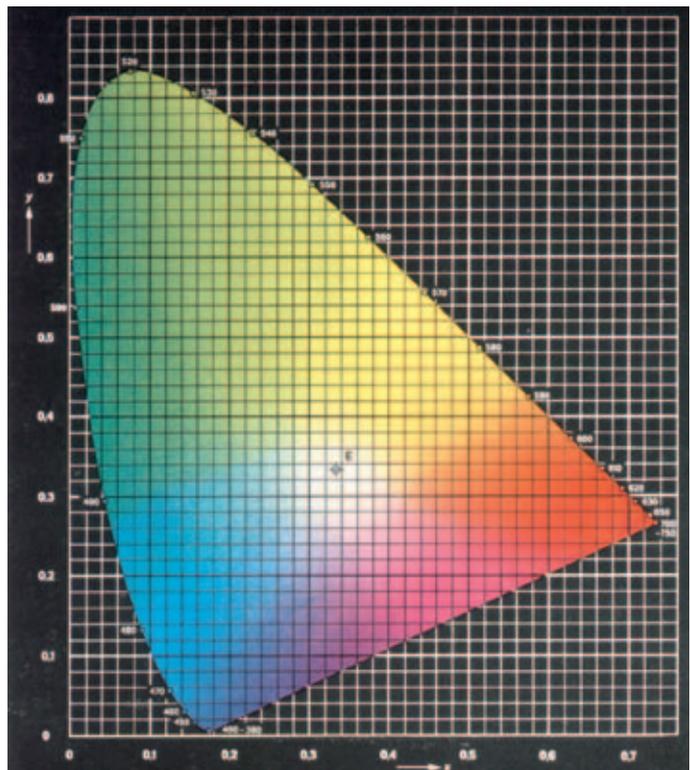


Abb. 1: Normfarbtafel CIE [2]

■ 1 CIELUV- und CIELAB-System

In der CIE-1931-Farbtafel in Abbildung 1 nehmen die gelben und grünen Bereiche eine auffallend große Fläche ein, da das CIE-System nicht empfindungsgemäß aufgebaut ist. Gleiche Abstände der Farbörter voneinander bedeuten nicht, dass der empfindungsmäßige Unterschied gleich ist. Im grünen Bereich entspricht ein gerade noch wahrnehmbarer Farbunterschied in der Normfarbtafel einer viel größeren Strecke, als in anderen Bereichen. Dieser Zusammenhang wurde von MacAdam 1942 in aufwändigen Versuchsreihen quantitativ bestimmt. Abbildung 2 zeigt eine Normfarbtafel mit eingezeichneten MacAdam-Ellipsen. Diese stellen für 25 Farbörter die Bereiche dar, innerhalb deren ein Farbunterschied nicht wahrnehmbar ist. Zur einfacheren Darstellung sind im Diagramm die Ellipsen allerdings zehnfach vergrößert gezeichnet.

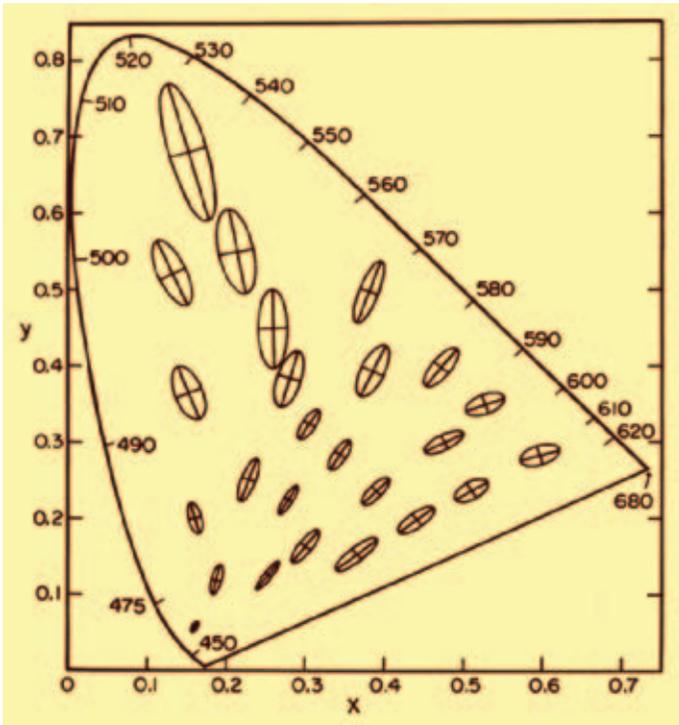


Abb. 2: Zehnfach vergrößerte MacAdam-Ellipsen, innerhalb derer eine Farbumterscheidung nicht möglich ist [3]

Man kann nun versuchen, dass Farbdreieck durch geometrische Transformationen (Koordinatentransformationen) so zu verzerren, dass die Ellipsen zu Kreisen werden, die an allen Farbörtern annähernd den gleichen Radius haben. Dann entsprechen gleiche Abstände im Diagramm gleich empfundenen Farbumterschieden. Dieses leistet das CIELUV-System. In diesem System wird ein Farbort durch die CIE-Nr.15-Farbwertanteile u und v definiert, die sich durch die Transformation

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3} \quad \text{und} \quad v = \frac{6y}{-2x+12y+3}$$

aus den CIE-1931-Farbwertanteilen x und y berechnen lassen. Nimmt man die Leuchtdichte L hinzu, so kann man durch die Angabe von L, u und v eine Farbvalenz eindeutig charakterisieren. Daher heißt das System das CIELUV-Farbsystem. Eine Farbtabelle in diesem System mit eingezeichneten MacAdam-

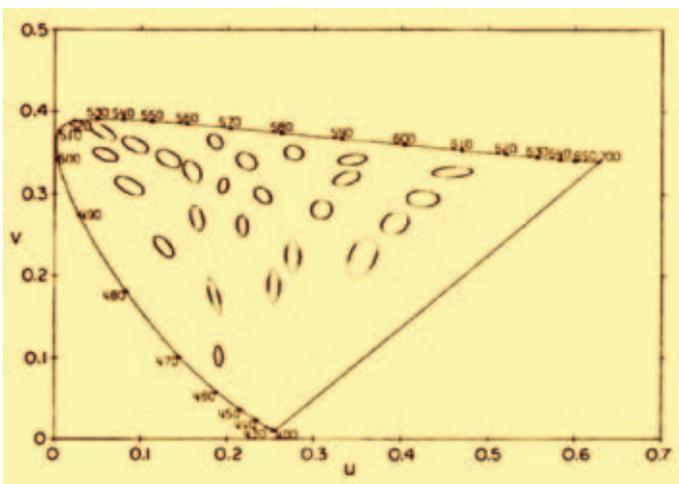
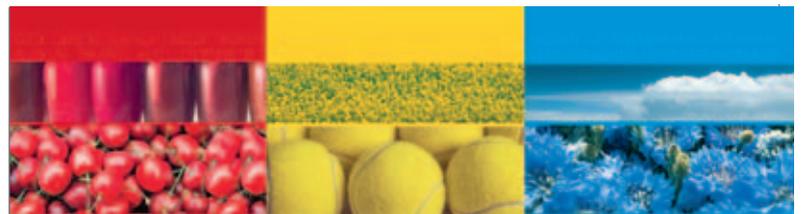


Abb. 3: MacAdam-Ellipsen im CIELUV-System [3]



TAMELING
CONSULTING

Was denken Sie,
wenn Sie eine
bestimmte
Farbe
sehen?



Zusatzangebote

Personalisierte Geburtstagsgrüße

Neukundengewinnung

Kundenbindung Weiterempfehlung

**Neue Ideen für Ihre
Direktwerbung**

Wertsteigerung Imageverbesserung

www.tameling-consulting.de

Tameling Consulting GmbH Augustinusstr. 9B 50226 Frechen T 022 34/690 330



Ellipsen zeigt die Abbildung 3. Man erkennt, dass die Ellipsen ähnlicher, aber noch immer nicht gleich sind.

Bei der Definition eines Farbabstandsmaßes versucht man die verbleibenden Fehler zu minimieren. Leider gibt es verschiedene gebräuchliche Maße, die sich nicht ineinander umrechnen lassen. Allen gemein ist, dass sie in bestimmten Bereichen des Farbdreiecks besser stimmen als in anderen – lediglich die Bereiche, in denen das der Fall ist und die Größe der Fehler sind unterschiedlich.

Eine gebräuchliche Formel bezieht sich auf das CIELU'V'-System, dessen Koordinaten aus den CIE-1931-Koordinaten x und y nach den Transformationsgleichungen

$$u' = \frac{4x}{-2x+12y+3} \quad \text{und} \quad v' = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

berechnet werden. Man definiert das CIELU'V'-Abstandsmaß ΔE_{uv}^* auf folgende Weise:

$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(L^*)^2 + (u^*)^2 + (v^*)^2}$$

$$\text{mit } u^* = 13 L^* (u' - u'_w)$$

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

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} - 16$$

Dabei sind u'_w und v'_w die Farbkoordinaten des Unbuntpunktes im CIELU'V'-Diagramm. Y_w ist der Normfarbwert des Weißpunktes aus dem CIE-1931-System.

Eine weitere Abstandsformel ergibt das CIELAB-Abstandsmaß ΔE_{ab}^* , das speziell für Aufsichtfarben gute Ergebnisse liefert [4]. Dabei entspricht ein Farbortabstand von einer Einheit in diesem Maß sechs Schwellwerten der Wahrnehmung. Deutlich sichtbar werden Werte ab 3.5 – das entspricht der Toleranz der Normdruckfarben. Ein Abstand von 7 Einheiten wirkt bereits als sehr störend.

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_w}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_w}} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_w}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_w}} \right)$$

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

■ 2 Plancksche Strahler im Farbdreieck

In der Praxis häufig anzutreffen sind Lichtquellen, die auf der Basis von Glühemission arbeiten. Diese glühenden Körper senden ein kontinuierliches Spektrum aus, das sich nach dem Planckschen Gesetz berechnen lässt. Sie werden daher als Plancksche Strahler bezeichnet. Die Plancksche Strahlung zeigt je nach Temperatur des Körpers verschiedene Farben: Bei niedriger Temperatur erscheinen die Körper zunächst rötlich zu glühen, danach wechselt die Farbe über Gelb nach Weiß, um bei weiterer Temperaturerhöhung dann bläulich-weiß zu werden. Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Farbortkurve bei steigender Temperatur im CIELU'V'-System.

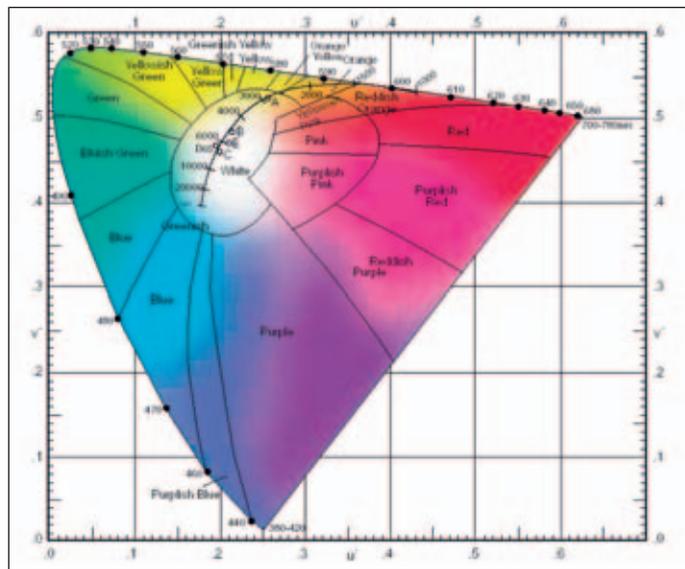


Abb. 4: Farbörter Planckscher Strahler für verschiedene Temperaturen in Kelvin im CIELU'V'-Diagramm [5]

Es ist natürlich möglich, dass auch andere als Plancksche Strahler einen Farbort aufweisen, der auf der Kurve der Planckschen Strahler liegt. In solchen Fällen wird der Farbort häufig einfach durch die Farbtemperatur angegeben. Das ist die Temperatur des Planckschen Strahlers, der denselben Farbort hat. In den seltensten Fällen wird der Farbort eines technischen Strahlers (z.B. einer Leuchtstofflampe) aber genau auf dieser Kurve liegen. Streng genommen darf man einem solchen Strahler dann keine Farbtemperatur zuordnen. Aber oft wird der Farbort in der Nähe der Kurve liegen. Man sucht dann diejenige der Planckschen Farben auf, die am ähnlichsten zur Farbe des Strahlers ist. Die sich ergebende Temperatur müsste man konsequenterweise als ähnlichste Farbtemperatur bezeichnen. Meistens wird aber auch einfach der Begriff der Farbtemperatur gebraucht. Diese Vorgehensweise wird oftmals angewendet für Strahler, die das Auge als weißlich empfindet. Es ist aber z.B. unsinnig und unmöglich, für das gesättigte gelbe Licht einer Natrium-Dampf Lampe eine Farbtemperatur anzugeben.

■ 3 Normlichtarten

Wir haben gesehen, dass die Farbvalenz eines beleuchteten Körpers abhängt vom Spektrum der Beleuchtung und vom spektralen Verlauf der Remission des Körpers. Zwei metamere Farben, die bei Tageslichtbeleuchtung die gleiche Farbvalenz ergeben, können bei Glühlampenlicht ganz anders erscheinen. Man müsste also genau genommen für jede Körperfarbe verschiedene Farbvalenzen angeben, je nach der Art der verwendeten Beleuchtung. Dies ist unpraktikabel. Aus diesem Grund ist man übereingekommen, bei wenigen, genau definierten Lichtarten die Farbörter anzugeben. Diese werden als Normlichtarten bezeichnet. Früher war als „Tageslichtersatz“ die Normlichtart C in Gebrauch mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6500 K, die von einer Wolframlampe mit vorgeschaltetem Flüssigkeitsfilter erzeugt werden kann. Dieser Strahlung fehlt aber gegenüber „echtem“ Tageslicht der langwellige UV-Anteil, so dass Fluoreszenzfarbstoffe (optische Aufheller und Leuchtfarben) ein anderes Spektrum abstrahlen als

bei Tageslicht. Heutzutage hat sich demgegenüber die Normlichtart D65 durchgesetzt, die (allerdings nur näherungsweise) mit Xenon-Kurzbogenlampen erzeugt werden kann. Hier muss man ein Zuviel an UV sogar herausfiltern. Die ähnlichste Farbtemperatur liegt ebenfalls bei 6500 K.

Zur Simulation von Lampenlicht dient die Normlichtart A, die von einer Wolframlampe mit der Farbtemperatur 2856 K emittiert wird.

Für die graphische Industrie und die Fotografie hat auch die Normlichtart D50 Bedeutung erlangt, da sie für die Abmusterung von Dias und Fotos nach der ISO-Norm 3446 vorgeschrieben ist.

Abbildung 5 zeigt die spektralen Strahlungsverteilungen für die Normlichtarten A, C, D65 und D50.

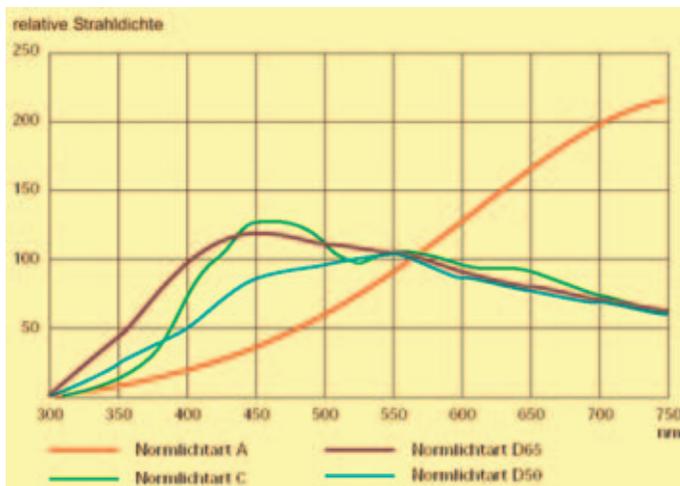


Abb.5: Normlichtarten A, C, D65 und D50 [6]

4 Farbmessung

Es existieren drei prinzipiell unterschiedliche Methoden, um eine Farbe messtechnisch zu bestimmen, die Vergleichsmethode, die Dreibereichsmethode und die Spektralmethode. Nach dem bisher gesagten sollte aber klar sein, dass es sich immer nur um die Farbvalenz handeln kann, die in diesen Verfahren bestimmt wird, nicht aber um ein Maß für die Farbwahrnehmung.

Vergleichsmethode

Die Vergleichsmethode basiert auf der Idee, zu einer zu messenden Farbvalenz durch Vergleich eine genau gleich aussehende zu finden, deren Farbvalenz bekannt ist. Diesen Vergleich kann prinzipbedingt nur ein Beobachter ausführen, so dass durchaus individuelle Abweichungen möglich sind. Bei geringen Anforderungen an die Genauigkeit kann zum Vergleich eine Farbmustersammlung (Farbatlas, Farbmusterkarte) herangezogen werden. Problematisch wird es, wenn die zu messende Farbvalenz zu keiner in der Sammlung vorhandenen passt. Dann muss man zwischen sechs Nachbarfarben zu interpolieren versuchen, was auch bei großer Übung nur ungenau möglich ist.

Weitaus günstiger ist es, die zu messende Farbe aus drei Lichtern mit bekannter Valenz nachzumischen. Hierzu dienen Dreifarbenmessgeräte. Selbstverständlich ist man aber auch hier auf die subjektive Beurteilung durch den Beobachter angewiesen, die individuell unterschiedliche Messergebnisse liefert. Für



Abb. 6: Vergleichsmethode [7]

technische Messungen wird dieses Prinzip daher nicht mehr eingesetzt.

Dreibereichsmethode

Bei der Dreibereichsmethode wird die Bestimmung der drei Farbwerte x , y und z mit Hilfe von drei Empfängern durchgeführt, deren spektrale Empfindlichkeitskurve mit Hilfe von optischen Filtern an die Normspektralwertkurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ angepasst sein müssen. Das Ausgangssignal der drei Empfänger ist dann direkt proportional zum Farbwert. Problematisch ist hierbei die Erzeugung der drei Anpassungsfilter mit hinreichender Genauigkeit. Eine technisch brauchbare Lösung arbeitet z.B. mit dem Verfahren der Partialfilterung. Hierbei werden eine große Zahl von Farbgläsern im parallelen Strahlengang hintereinander geschaltet. Je nach gewünschtem Bei-

Benetzungstropfen & Liquid Gel

Für durchgängiges und angenehmes Tragen von Kontaktlinsen

TheraTears® bringt sofortige und langanhaltende Linderung bei trockenen Augen durch Befeuchtung und Nachbenetzung von Kontaktlinsen aller Art.

TheraTears® Benetzungstropfen und TheraTears® Liquid Gel sind konservierungsmittelfrei. Sie enthalten ausgewogene patentierte Elektrolyte, welche die Linsen leitfähig machen und befeuchten. Sie lindern schnellaufkommende Augenreizungen und mangelnden Tragekomfort.

TheraTears® fördert einen langanhaltenden Tragekomfort von weichen und formstabilen sowie Dauertrage-Kontaktlinsen bei Tag und in der Nacht.

Vertrieb Deutschland:
Bach Optic GH-GmbH
Emil-Hoffmann-Str. 55-59
D- 50996 Köln
+49 (0) 22 36 - 9 62 29-0

Vertrieb Schweiz:
Rothschild Optik AG
Witikonstr. 295/2
CH- 8053 Zürich
+41 (0) 43 - 4 99 20 60

Vertrieb Österreich:
George Biastoch
A- 4522 Sierning
+43 (0) 6 64 - 3 00 40 80

ADVANCED VISION RESEARCH
www.theratears.com
© 2005 Advanced Vision Research

trag des einzelnen Farbglases füllt dieses den Strahlengang allerdings nur teilweise aus. Abbildung 8 zeigt ein Beispiel für das x-, y- und z-Filter für die Verwendung vor einem Photomultiplier. Bei dem Verfahren der Partialfilterung muss natürlich darauf geachtet werden, dass das Filterpaket immer vollständig ausgeleuchtet ist.

Geräte, die nach der Dreibereichsmethode arbeiten, werden als Colorimeter bezeichnet.

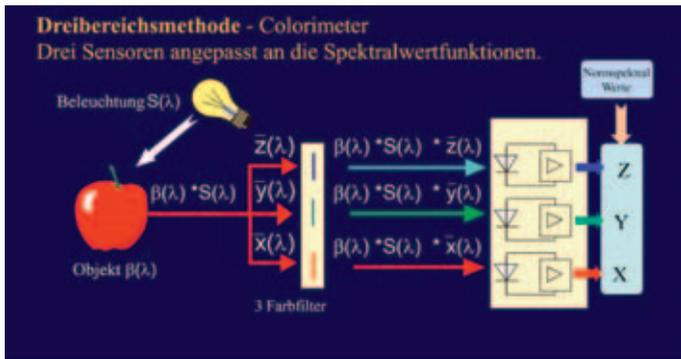


Abb. 7: Dreibereichsmethode [7]

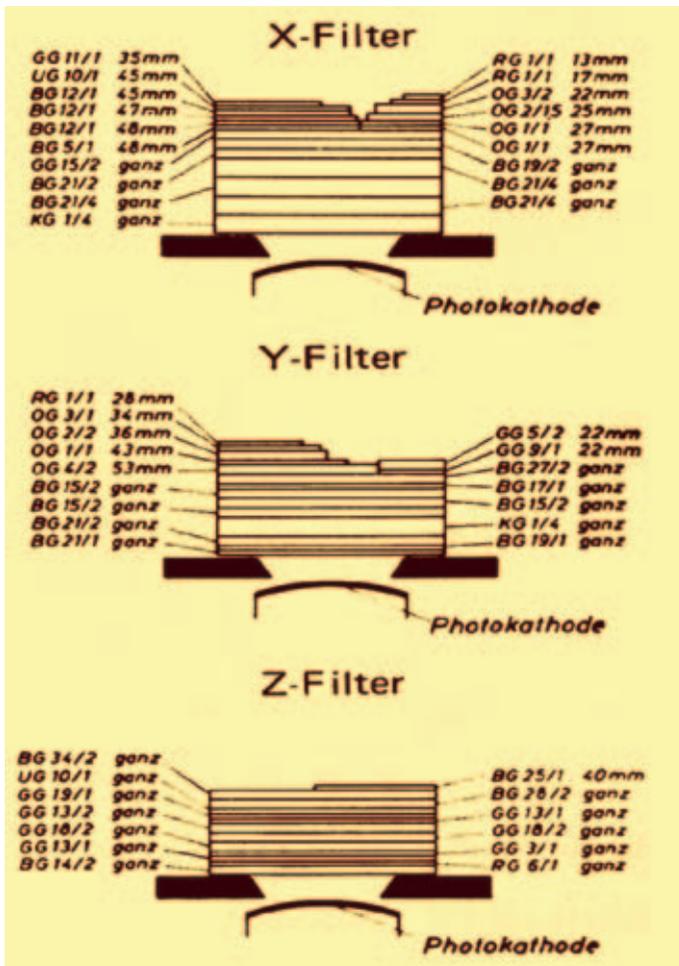


Abb. 8: Partialfilterung für Photomultiplier [2]

Spektralmethode

Eine valenzmetrisch exakte Farbmessung ist möglich, wenn man mit einem Spektrophotometer den spektralen Verlauf des Farbreizes $\varphi(\lambda)$ bestimmt und dann in einer nachgeschalteten Auswertung rechnerisch mit den Normspektralwertkurven $\bar{x}(\lambda)$,

$\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ bewertet, d.h. die Produkte aufsummiert, wie es im vorigen Artikel dieser Reihe vorgestellt wurde. Diese Auswertung kann heutzutage direkt in der Steuersoftware des Spektrometers erfolgen. Abbildung 10 zeigt zwei Screenshots einer derartigen Auswertung [8]. Im linken Teil ist das gemessene Spektrum $\varphi(\lambda)$ aufgetragen. Der berechnete Farbort wird numerisch ausgegeben (rechts unten), gleichzeitig erfolgt eine Eintragung in das CIE-1931-Farbdreieck. Darstellung im CIELUV- und CIELU'V'-Diagramm ist ebenfalls möglich.

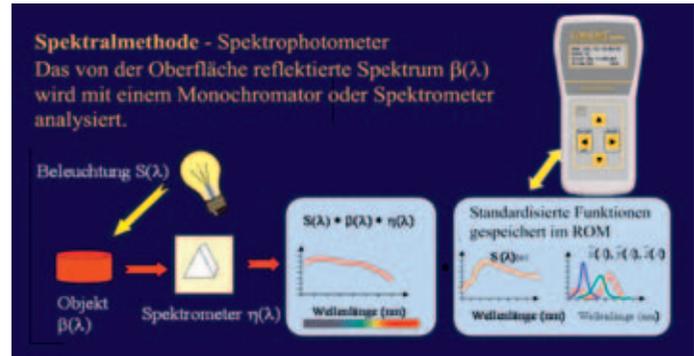


Abbildung 9: Spektralmethode [7]

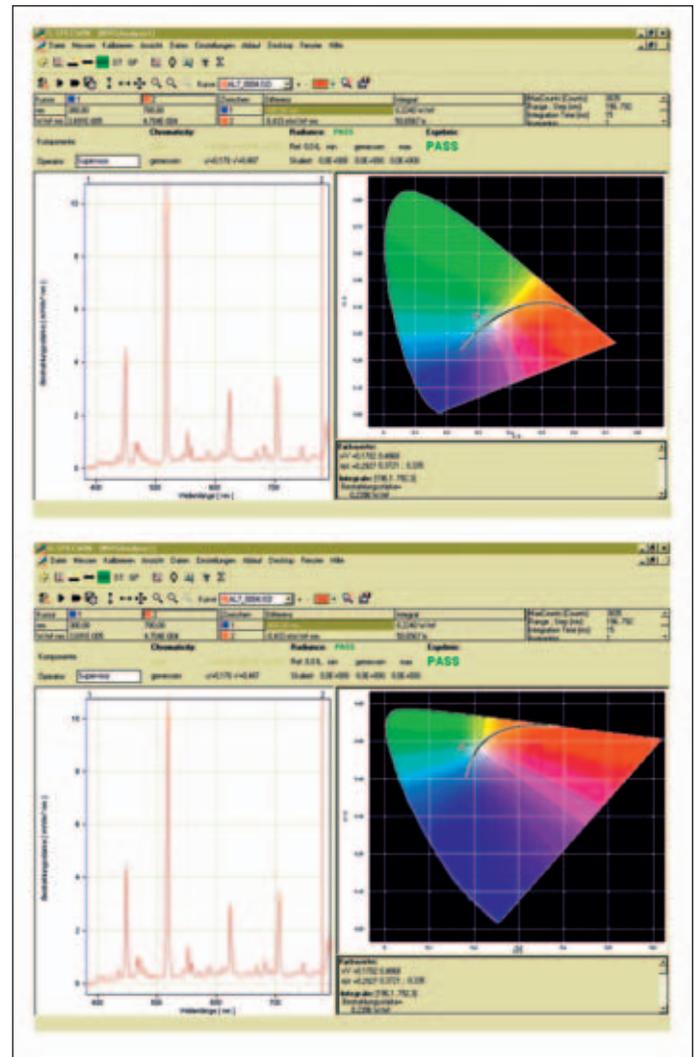


Abb. 10: Automatische Auswertung der Messung des Spektrophotometers CAS 140B, Darstellung im CIE-1931-System (oben) und im CIELUV-System (unten) [8]

Ein Spektrophotometer ist gegenüber einem Colorimeter natürlich wesentlich aufwändiger und teurer. Andererseits kann es eine Vielzahl von angepassten Messköpfen (photometrische Bewertung, Blaulicht- und UV-Schadkurven etc.) ersetzen. Man kann durchaus die Meinung vertreten, dass ein Spektrophotometer, ausgerüstet mit Bestrahlungsstärke- und Strahldichte-Einkoppeloptik die meisten weiteren Einzelmessgeräte überflüssig macht.

5 Die Charakterisierung schmalbandiger Quellen

Schmalbandige Quelle wie z.B. LEDs oder Laserdioden senden eine vergleichsweise einfaches Spektrum aus. Für diese hat sich eine wesentlich einfachere Charakterisierung eingebürgert, die aber zu ihrer Durchführung ebenfalls ein Spektrophotometer erfordert. Nach Aufnahme des Spektrums werden im allgemeinen folgende Daten aus dem Spektrum abgeleitet [9]:

Peakwellenlänge λ_p :

Wellenlänge der maximalen spektralen Strahldichte. Die Peakwellenlänge ist einfach zu definieren und findet sich deshalb meistens in den Datenblättern von LEDs. Für den praktischen Einsatz hat sie jedoch keine große Bedeutung, da LEDs bei gleicher Peakwellenlänge dennoch eine deutlich unterscheidbare Farbvalenz aufweisen können.

Halbwertsbreite:

Spektrale Bandbreite $\Delta\lambda_{0.5}$ bei der halben Intensität, sie wird aus der Differenz aus den beiden Wellenlängen $\lambda'_{0.5}$ und $\lambda''_{0.5}$ zu beiden Seiten der Peakwellenlänge berechnet.

Mittenwellenlänge:

Entspricht dem geometrischen Mittel der beiden Halbwertswellenlängen $\lambda'_{0.5}$ und $\lambda''_{0.5}$.

Schwerpunktswellenlänge λ_c :

Integraler Mittelwert der mit dem Spektrum gewichteten Wellenlänge:

$$\lambda_c = \frac{\int \lambda \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda}$$

Dominante Wellenlänge:

Wird aus den x,y-Farbkoordinaten des gemessenen Spektrums ermittelt. Dazu wird eine Gerade durch den Unbuntpunkt E und den gemessenen Farbort F gelegt, wie in Abbildung 11 gezeigt. Der Schnittpunkt S der Geraden mit dem Spektralfarbenzug ergibt die dominante Wellenlänge. Man bezeichnet diese Wellenlänge auch als farbtongleiche Wellenlänge.

Farbsättigung:

Ist das Verhältnis der Strecke vom Unbuntpunkt E zum Farbort F und der Strecke vom Unbuntpunkt E zum Schnittpunkt S. Bei den allermeisten LEDs ist die Farbsättigung nahezu 100 %.

6 Grenzen der Farbmessung: Psychophysische Effekte

So gut und messtechnisch reproduzierbar heutzutage die Farbvalenzen ermittelt werden können, es bleibt dennoch immer die mögliche Diskrepanz zwischen der Farbvalenz und der Farbpfindung. Letztere kann und wird auch unter alltäglichen

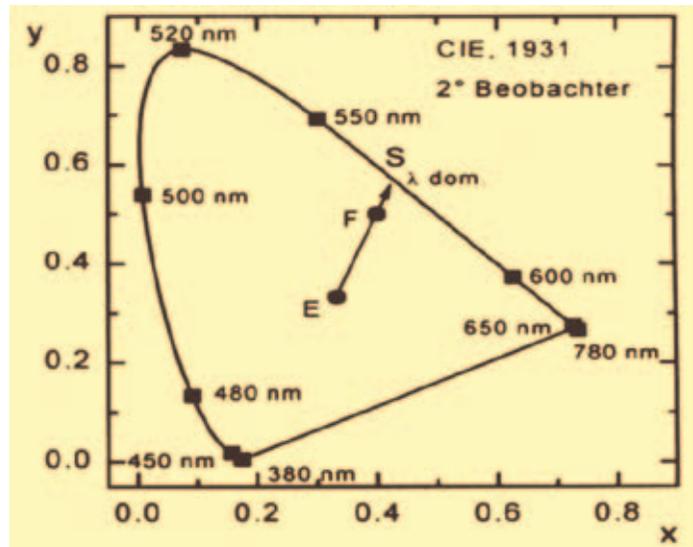


Abb. 11: Dominante (farbtongleiche) Wellenlänge [9]

Bedingungen oftmals von dem abweichen, was man gemessen hat. Die Farbpfindung des Menschen wird durch viele Effekte beeinflusst, einige seien hier nur exemplarisch vorgestellt:

Nachbilder

Bei längerer Betrachtung eines farbigen Objektes beginnt der Farbeindruck zu verblassen, da der Sehpurpur in der Netzhaut reversibel ausbleicht. Dies kann bei hellen Objekten rela-



planung
lichtgestaltung
bauüberwachung



innen & architektur

© jürgen h. wustmann
dipl. - ing.
innenarchitekt bda, aknw
weststrasse 2
42477 radevormwald
fon 0 21 95 . 93 13 45
fax 0 21 95 . 93 13 46
mobil 01 71 . 514 46 63
info@design-by.de
www.design-by.de

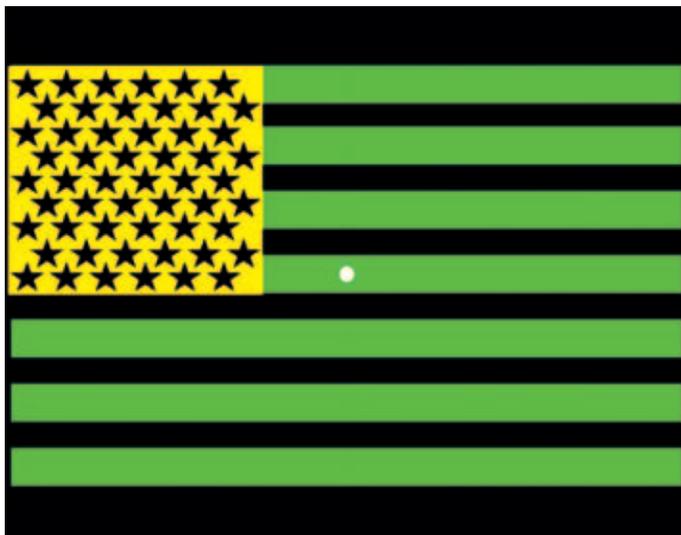


Abb. 12: Tafel zur Demonstration der Nachbildwirkung [10]

tiv schnell erfolgen. Schließt man die Augen, so sieht man ein Nachbild des betrachteten Objektes in der Komplementärfarbe. Dieses Nachbild überlagert sich also bei der Beobachtung mit dem Objekt. Den Effekt können Sie leicht ausprobieren: Fixieren Sie bitte 2 Minuten den zentralen weißen Punkt in der Abbildung 12. Danach blicken Sie bitte auf eine weiße Fläche. Was Sie dann sehen, ist das Nachbild der Abbildung 12.

Umstimmung

Die menschliche Wahrnehmung ist in der Lage, eine Farbe annähernd unverändert zu empfinden, auch wenn das Umgebungslicht von Weiß abweicht. Wenn Sie ein Buch in einer Gartenlaube lesen (grünliches Umgebungslicht) oder im gelblichen Licht einer Glühlampe, werden Sie wahrscheinlich keinen Unterschied der Farbe des Papiers gegenüber der Beleuchtung mit Tageslicht empfinden. Dieser Effekt scheint mit Sicherheit nicht auf eine Veränderung des Sehpurpurs zurückzuführen zu sein – die genaue Ursache ist noch nicht geklärt.

Bezold-Effekt

Die Farbempfindung, die eine farbige Fläche auslöst, ist nicht unabhängig von den Farben, die diese Fläche umgibt. Abbildung 13 demonstriert das in eindrücklicher Weise. Die blauen Streifen in der rechten und linken Bildhälfte haben die gleiche Farbvalenz, erscheinen aber deutlich voneinander abzuweichen. Die Stärke des Effektes ändert sich übrigens, wenn das Bild um 90° gedreht wird.

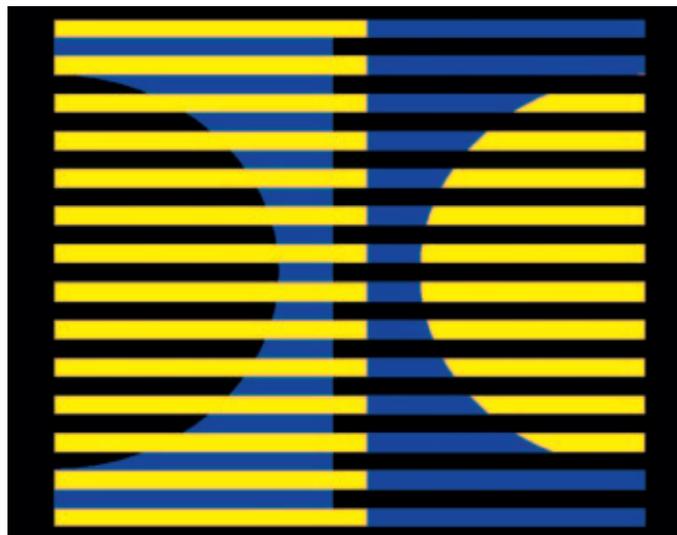


Abb. 13: Tafel zur Demonstration des Bezold-Effektes [11]

Anschrift der Autors:

**Prof. Dr. Jürgen Nolting,
FH Aalen – Studiengang Augenoptik,
Gartenstraße 135, 73430 Aalen**

7. Literaturverzeichnis

- [1] J. Nolting: „Farbmetriken, Farb Räume und Farbmessung“, Skript Nr. 3 zum Lehrgang 30041/41.796 „Optische Messtechnik“, Technische Akademie Esslingen, Esslingen (2004)
- [2] M. Richter: „Einführung in die Farbmetrik“, Walter de Gruyter, Berlin (1981)
- [3] D.L. MacAdam: „Color Measurement“, 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin (1985)
- [4] F. Bestenreiner: „Vom Punkt zum Bild“, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe (1988)
- [5] S. Brües, L. May, D. Fuchs: „Excerpt from Postscriptum on Color Management“, 2nd ed., http://www.prepress-studio.fi/icc/pdf/Postscriptum_ICC_SBrues.pdf (2000)
- [6] H. Schulte: „Physikalische Farbtheorie und moderne Farbmetrik“, <http://home.arcor.de/oldschulte/ftheorie.pdf> (2005)
- [7] Firmeninformation Colorlite GmbH: „Spektrophotometer-Farbmessgerät“, <http://www.colorlite.de/Spektrophotometer-DE.html> (2005)
- [8] Instrument Systems: Auswertesoftware IS-SpecWin, Version 2.0, München (2002)
- [9] Th. Nägele, R. Distl: „Handbuch der LED-Messtechnik“, Firmenschrift Instrument Systems, München (1999)
- [10] Firmeninformation HunterLab: „The Basics of Color Perception and Measurement“, Version 1.4, <http://www.hunterlab.com/pdf/color.pdf> (2001)
- [11] N. Fieles-Kahl: „ColPhys – Arbeitsblätter zur Farbmetrik“, http://www-cadcam.fh-reutlingen.de/colphys_neu.htm (1999)

Unentbehrlich!

Arnold Dambach

Formel-Sammlung

8,- €

überarbeitete 6. Auflage, 64 Seiten

inkl. ges. MwSt., zzgl. Porto u. Verpackung

ISBN 3-92269-13-3

DOZ
VERLAG

**DOZ-Verlag
Postfach 12 02 01
69065 Heidelberg
Tel. (0 62 21) 90 51 70
Fax (0 62 21) 90 51 71**