

Dietmar Meisel

***Die CIE-Farbräume  
und die Normlichtarten***

**CIE** ist die *Commission Internationale de l'Eclairage* (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION), in deutscher Literatur auch Internationale Beleuchtungs-Kommission genannt.

**DNK (Deutsches Nationales Komitee der CIE):  
Burggrafenstr. 6, D-10787 Berlin  
CIE-Zentral-Büro: Kegelgasse 27, A-1030 Wien**

*Das internationale CIE-Gremium legte 1931 die drei Normspektralwertfunktionen xyz fest und veröffentlichte den daraus resultierenden **CIEXYZ-Farbraum**, der auf der menschlichen Farbwahrnehmung basiert.*

*Dabei wurde ein Mittelwert der in den 20er Jahren von Guild und Wright mit unterschiedlichen Primärvalenzen gewonnenen Spektralwertkurven zugrundegelegt.*

*Diese Farbtafel stellt einen zweidimensionalen Farbraum dar. Er ist als **Normvalenzsystem** für ein **2°-Gesichtsfeld** in **DIN 5033** näher bestimmt.*

*Da zu Beginn der Farbmeßtechnik nur visuell gemessen wurde, war die **45°/0° Geometrie** (Beleuchtung unter 45° bei senkrechter Beobachtung) die übliche Meßanordnung.*

*Es wurden damals drei **Normlichtarten** A, B und C festgelegt, von denen heute in der Norm DIN 5033 nur noch die Normlichtarten A (gasgefüllte Wolfram-Glühlampen bei einer Farbtemperatur von 2856 K) und C (Normlichtart A mit Davis-Gibson-Filter bei einer Farbtemperatur von 6750 K) übrigblieben.*

*Normlichtart A sollte in allen Anwendungsgebieten der Farbmessung und Abmusterung benutzt werden, in denen eine für Heimbeleuchtung typische Glühlampenbeleuchtung verlangt wird.*

*1964 wurde ein (Großfeld-) Normvalenzsystem für ein **10°-Gesichtsfeld** hinzugefügt, da Farbproben in der Praxis zumeist unter wesentlich größerem Gesichtsfeld abgemustert werden. Eine Umrechnung auf das 2° System ist grundsätzlich **nicht** möglich.*

*Man erhält leicht abweichende Spektralwertfunktionen mit z.T. merklichen Farbortverschiebungen der Wellenlängen.*

*Gleichzeitig damit wurde von der CIE im Jahre 1964 als Ersatz für die Normlichtart C die **Normlichtart D65** mit einer Farbtemperatur von 6500 K definiert. Sie hat eine dem Tageslicht entsprechende relative Strahlungsverteilung.*

*Normlichtart D65 sollte für alle farbmtrischen Berechnungen benutzt werden, die den Gebrauch eines repräsentativen Tageslichts erfordern.*

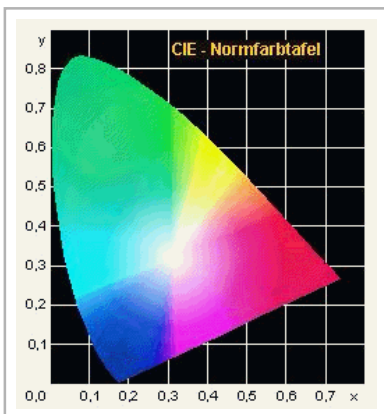
*Sind alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums mit gleicher Intensität vorhanden, so spricht man von einem energiegleichen Spektrum.*

*Das direkte Sonnenlicht eines hellen Sommertags repräsentiert in etwa dieses energiegleiche Spektrum.*

*D65 wird mit Hilfe einer Xenonlampe und eines entsprechenden Filters erzeugt.*

*Sie weist gegenüber der Normlichtart C die wesentliche Verbesserung auf, daß sie einen zusätzlichen Strahlungsanteil im Bereich von 300-380 nm aufweist.*

**Farbton** (Bunnton, Lage auf der Außenlinie),  
**Sättigung** (Entfernung vom Unbuntpunkt) und  
**Helligkeit** (Ebene im Farbkörper) sind die drei voneinander unabhängigen Größen zur Bestimmung einer Farbe.  
Das sind Werte, die allen die sich mit Farbe beschäftigen, vertraut sind.



$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

*Die  $xy$  Werte ergeben zusammen die Information über den Farbton und dessen Sättigung, ohne Angabe der Helligkeit.*

*Sie bezeichnen die **Farbart** als **Farbort der Koordinaten  $xy$**  in obigem zweidimensionalen Farbraum.*

*Die Farbtöne (Spektralfarben) mit dem höchsten Sättigungsgrad liegen am Rand der CIE-Normfarbtafel.*

*Zur Mitte hin nimmt die Sättigung immer weiter ab.*

*Der **Weiß-Punkt** mit  $x = y = 0,333$  hat die geringste Farbsättigung (= 0) und wird als **Unbuntpunkt** bezeichnet.*

*Die linke untere Ecke der CIE-Normfarbtafel entspricht dem kurzwelligen Ende des sichtbaren Spektrums mit 380 nm.*

*Der obere Scheitel stellt die Wellenlänge 520 nm (Grün) dar und die rechte äußere Ecke entspricht dem langwelligen Ende des Spektrums mit 780 nm (Rot).*

*Die Verbindungslinie zwischen den Wellenlängen 380 nm und 780 nm wird **Purpurlinie** genannt. An dieser Linie liegen die additiven Mischfarben aus Blau und Rot.*

*Nachteil des XYZ-Farbraums:*

*Alle Grauwerte zwischen Schwarz und Weiß liegen hier auf nur einem einzigen Punkt.*

*Zudem sind die Schritte im XYZ-Farbraum nicht gleichabständig.*

*Der Abstand zweier Farben im Farbraum wird als Farbabstand **Delta E** bezeichnet.*

*Er errechnet sich aus den Koordinaten zweier Farborte.*

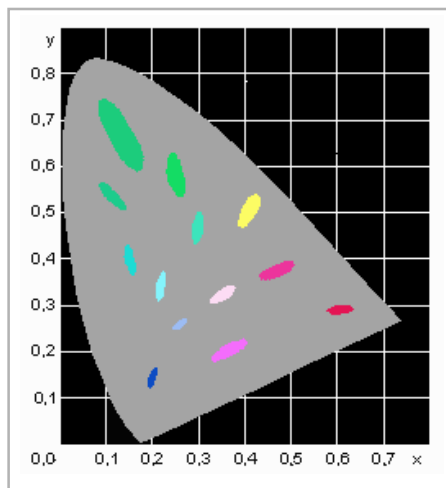
*Verschiedene Farbabstände, die ein gleich großes Delta E haben, wirken auf den Beobachter keineswegs als gleich groß.*

*So ändert sich zum Beispiel der visuelle Unterschied bei der Farbe*

*Magenta vom Rand zur Mitte auf einer relativ kurzen Strecke, während sich die Änderung beim Grün über einen längeren Weg erstreckt.*

*Dieses Phänomen untersuchte der Amerikaner **MacAdam** in zahlreichen Tests und definierte die sogenannten MacAdam-Ellipsen.*

*Diese Ellipsen definieren Farbbereiche, bei denen visuell kein Farbunterschied zu erkennen ist.*



*Bei der Digitalisierung entstehen unnötige Redundanzen, ist die Farbnotation nicht gleichabständig. In weiten Bereichen können dann trotz unterschiedlicher Codeziffern keinerlei Differenzen gesehen werden.*

*Zur Beseitigung der genannten Mängel etablierte die CIE 1976 zusätzlich die **CIELAB-Farbabstandsformel**.*

*Der CIELAB und CIELUV- Farbraum entsprechen beide der*

Forderung nach visueller Gleichabständigkeit (**DIN 6174**).  
 Der CIELAB-Farbraum ist ein standardisierter, idealisierter, Farbraum.

Durch ihn werden all jene Farben dargestellt, die der Mensch wahrnehmen kann.

Der CIE  $L^*a^*b^*$ -Farbraum ist eine zahlenmäßige Beschreibung menschlichen Farbempfindens.

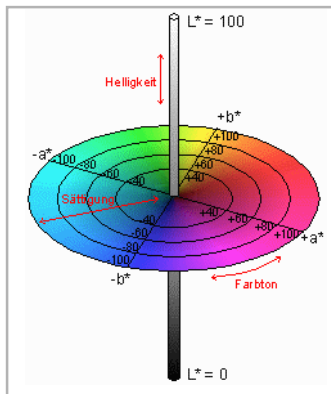
$L^*$  ist die Helligkeitsachse

(0 = Schwarz, 100 = Weiß)

$a^*$  und  $b^*$  sind die Farbmaßzahlen, sie stellen den Farbkreis dar

$a^*$  ( $-a^*$  -  $+a^*$  = Rot/Grün-Achse)

$b^*$  ( $-b^*$  -  $+b^*$  = Gelb/Blau-Achse)



$$L^* = 116 Y^{*16}$$

$$a^* = 500 (X^* - Y^*)$$

$$b^* = 200 (Y^* - Z^*)$$

wobei  $X^* = \sqrt[3]{X/X_n}$   
 für  $X/X_n > 0,008856$

bzw  $X^* = 7,787 (X/X_n) + 0,138$   
 für  $X/X_n \leq 0,008856$

$Y^*$  und  $Z^*$  werden analog  $X^*$  berechnet.

Wie auf der Abbildung zu sehen ist, werden Farbton und Sättigung in einer Ebene auf den Achsen  $a^*$  und  $b^*$  aufgetragen, die

Helligkeitsachse  $L^*$  verläuft dazu senkrecht.

Um eine Farbe eindeutig einem Farbort zuzuordnen, werden wie in obigem CIE-System wiederum die drei Kenngrößen

Farbton  $H^*$  (Hue): Richtung vom Unbuntpunkt (Winkel)

Sättigung  $C^*$  (Chroma): Entfernung vom Unbuntpunkt

Helligkeit  $L^*$  (Luminanz): Ebene im Farbkörper

benötigt.

$H^*$  und  $C^*$  werden hier durch die Koordinaten  $a^*$  und  $b^*$  beschrieben.

Der CIELAB-Farbraum ist **annähernd empfindungsgemäß** (nicht absolut!) aufgebaut, er entspricht **statistisch** der visuellen Farbwahrnehmung des Menschen.

Das zugrundeliegende Konzept erfordert den CIE-Normalbeobachter, einen Menschen mit normierter Augenempfindlichkeit.

Freilich nicht real existierend, wenn auch bei etwa 90% aller Beobachter **nur geringfügige** Unterschiede bestehen.

Für das Farbmanagement bleiben infolge dieser nur statistischen Normierung aber auf unbestimmte Sicht Probleme:

Eine Farbkomposition mit genauen Relationen kann unterhalb dieser Schwelle gleicher Empfindungen liegen und zu unterschiedlichen Beurteilungen und Gesamteindrücken führen.

Mischfarben sind vor allem im Mitteltonbereich für den Gesamteindruck von Bildern bestimmend, werden aber leider häufig unterschiedlich beurteilt.

Bei dieser Definition handelt es sich um den sogenannten  $2^\circ$  Normalbetrachter, (CIE 1931) bzw. den  $10^\circ$  Normalbetrachter (CIE 1964).

*Sie gilt für junge Augen, Ermüdung führt zu abweichenden Ergebnissen und ab dem 45 Lebensjahr tritt grundsätzlich mehr oder weniger Gelbfärbung auf.*

*CIELAB und CIELUV sind imstande, alle realen Körperfarben darzustellen.*

*Dabei wird die einheitliche primäre Wirkung eines Farbreizes als **Farbvalenz** (Farbempfindung) bezeichnet. Da verschiedene Farbreize gleiche Farbvalenzen hervorrufen können, kann von der Farbvalenz nicht unbedingt auf den Farbreiz rückgeschlossen werden.*

*Aus diesem Grund muß weiter differenziert werden.*

*Man spricht deshalb von **unbedingt gleichen Farben** bei identischen Farbreizen.*

*Und von **bedingt gleichen Farben** bei verschiedenen Farbreizen.*

***Bedingt gleiche** Farben werden durch unterschiedliche Farbreize hervorgerufen, besitzen aber dennoch die gleiche meßtechnische Farbvalenz, sie haben entsprechend im CIE- Normvalenzsystem den gleichen Farbort.*

*Bei Farben, die durch einen unterschiedlichen Farbreiz hervorgerufen werden aber dem Auge unter einem bestimmtem Licht gleich erscheinen, sprechen wir auch von **metameren** Farben.*

***Unbedingt gleiche** Farben werden durch den gleichen Farbreiz verursacht und besitzen damit auch die gleiche meßtechnische Farbvalenz.*

*Sie sind entsprechend auch **nicht metamer**.*



## **Grenzen**

*In der Realität betrachten wir Farben allerdings **weder isoliert noch unbeschränkt der räumlichen Ausdehnung.***

*Als Folge der Wirkung des **Simultankontrasts** kann eine Nachbarfarbe unsere Farbempfindung beeinflussen. Farben stehen in Wechselwirkung zueinander.*

*Desgleichen kann die Zeitdauer der Betrachtung die Farbwirkung verändern, ein Nachbild hervorrufen, wir sprechen hier von **Sukzessivkontrast.***

*Das heißt an sich unbedingt gleiche Farben können je nach Position innerhalb einer Anordnung auch unterschiedliche Farbempfindungen auslösen!*

*Als sogenannter geräteunabhängiger Farbraum hat sich der CIELAB Farbraum etabliert, da dem Menschen höchste Priorität eingeräumt werden muß.*

*Es wäre aber falsch, ihn als **absoluten Farbraum** zu verkennen.*

***Der einzelne Mensch bleibt subjektiv und Farbe ist Farbempfindung.***

*Insoweit muß die Bezeichnung **geräteunabhängig kritisch** angewandt werden.*

*Geräteunabhängigkeit bezeichnet mehr nur die Tatsache, daß aus einer Bilddatei in der Notation dieses Farbraums sowohl RGB- als auch CMYK-Bilddateien in **optimaler Qualität** errechnet werden können.*

Jedoch immer noch als eine Sache von **Interpretation**, was die Terminologie überdeckt.

Dazu muß jedes beteiligte Ein- oder Ausgabegerät über ein gerätespezifisches ICC-Profil verfügen, welches das subjektive **Farbsehen** des Geräts in menschliches Farbempfinden nach CIELAB übersetzt.

Mit einem CIELAB-tauglichen Spektralphotometer werden die Farbfelder des Ausdrucks eines IT8-Charts vermessen und die Werte in eine XY-Koordinatentabelle eingetragen.

Für jedes Gerät wird die Abweichung zum Referenzfarbraum ermittelt und im sogenannten **Farbprofil** mit Gültigkeit für dieses spezielle Gerät festgehalten.

Die gerätespezifischen Farbdaten werden in geräteunabhängige farbmetrische Werte nach CIELAB verrechnet, die Abweichungen zu den Sollwerten ermittelt. Sie ergeben das spezielle Farbprofil.

Umgekehrt kann ein konkreter Drucker entsprechend seinen Fähigkeiten nun den Ausdruck anhand seines eigenen Profils und diesen Daten dem ursprünglichen Sollwert **optimal annähern**.

Als Bildformat zur Abspeicherung kalibrierter Daten zur späteren drucktechnischen Weiterverwendung etabliert sich das **Lab-TIFF**. Daraus lassen sich optimal Daten für andere Farbräume errechnen.

Die Bedeutung des CIELAB-Farbraums gilt nur durchschnittlich und annähernd.

Eine absolute Farbnotation kann es nicht geben.

*Der einzelne Mensch kann Farbnuancen **anders** beurteilen und selbst zu unterschiedlichen Zeiten zu anderen Ergebnissen kommen.*

*Einzelbearbeitungen und Nachkorrekturen bleiben weiterhin erforderlich!*

*Die Farbnotation gleicht mehr nur einer Partitur und bedarf weiterhin der Kunstfertigkeit eines Interpreten, z.B. des Druckers.*

*CIELAB berücksichtigt gegenwärtig die Einflüsse von **Hintergrundfarbe, Kontrast und Streulicht wie Blendung** noch nicht genügend und eine Lösung ist auch noch nicht in Sicht. Die Berechnung der Farbunterschiede gilt nur für geringe Abstände.*

*Die Arbeit mit einem Spektralphotometer erfordert hohe Investitionen, da diese Geräte nicht gerade wenig kosten. Auch ist eine entsprechende Profil-Software erforderlich, da die Arbeit im CIELAB-System farbmetrische Kenntnisse voraussetzt.*

*In der Praxis muß daher zumeist auf die herstellenseits bereitgestellten Profile zurückgegriffen werden, die stets nur für eine Geräteserie und nicht das konkrete Gerät gelten.*

*Je mehr Glieder die mit der Verarbeitung betraute Geräteketten umfaßt, desto stärker fallen die tatsächlichen Abweichungen des Endresultats vom Sollwert aus.*

*Beim CIELAB-Farbraum verfügen alle Farben über **annähernd gleiche Abstände**, weshalb nur **8bit** und nicht 16bit, wie beim XYZ-Farbraum benötigt werden oder gar 24bit und mehr.*

*Viele der 16,7 Mio Farbschattierungen der 24bit-Farbdarstellung der meisten Bildformate gehen gewissermaßen im Meer der Farben unter.*

*Die 24bit-Darstellung ist ein Raster im kleinsten Abstand, der nicht in allen Bereichen visuell nachvollzogen werden kann, also unnötige Redundanzen enthält. (siehe weiter oben: MacAdam-Ellipsen)*

*Als alternative Bemühung um Aufhebung überflüssiger Redundanz in der Farbnotation der Bildverarbeitung sei hier nur das **JPEG-Format** der Joint Photographic Experts Group erwähnt, auch JFIF genannt.*

*Hier werden die Daten im **YCbCr**-Farbmodell codiert.*

*Da das menschliche Auge eine Änderung der Farbinformation (Chrominanz) nicht so gut erkennen kann, wie eine Änderung der Helligkeit (Luminanz) kann die Farbinformation reduziert werden.*

*Zudem sind beide Bestandteile unabhängig voneinander reduzierbar.*

$$Y = (Lumared * R + Lumagreen * G + Lumablue * B)$$

$$Cb = (B - Y) / (2 - 2 * Lumablue)$$

$$Cr = (R - Y) / (2 - 2 * Lumared)$$

*Die Konstanten dieser Formel sind:*

$$Lumared = 299 / 1000$$

$$Lumagreen = 587 / 1000$$

$$Lumablue = 114 / 1000$$

*Abhängig von der gewählten Kompressionsrate kann die Farbinformation reduziert werden.*

*Das Ergebnis führt je nach Bildvorlage zur Beseitigung unnötiger Redundanz oder zur Farbverstümmelung, wurde die Rate zu hoch eingestellt.*

*Zeigt die Vorlage z.B. eher Differenzierungen im Magenta-Bereich, muß die Kompression niedriger eingestellt werden als z.B. für eine grüne Wiese.*

© Copyright 1985 '98 by  
FOTOWAND-Technic

Alle Rechte vorbehalten!

**Farben der Abbildungen zum Schutz entgegen dem Original verpixelt**