

Farbmodelle

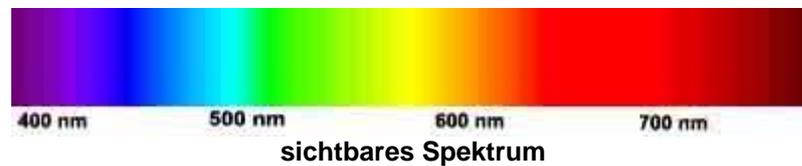
Copyright © by V. Miszalok, last update: 20-06-06

Flower Images from P. Henning: Taschenbuch Multimedia, ISBN 3-446-21274-4, see: <http://www.hanser.de/buch.asp?isbn=3-446-22308-8&area=Lehrbuch>

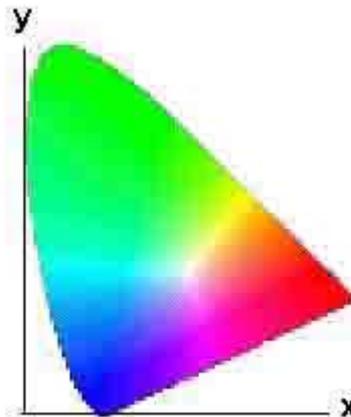
- ↓ [Modelle](#)
- ↓ [RGB](#)
- ↓ [CMY und CMYK](#)
- ↓ [YIQ und YUV](#)
- ↓ [HLS, HSV, HVC](#)
- ↓ [Color Management](#)
- ↓ [Links](#)

Modelle

Licht ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 380 nm = Blau und 780 nm = Rot.
Einheit 1 nm = 1 Milliardstel Meter.



Die reinen Farben des Spektrums kann man beliebig mischen. Die verwirrende Vielfalt der Mischungen wurde 1931 systematisiert durch die Commission Internationale de l'Éclairage CIE welche einen zweidimensionalen hufeisenförmigen Farbraum definiert hat, der eine einfache Beschreibung der Mischfarben ermöglicht. Alle Wellenlängen des Spektrums liegen auf dem Rand des Hufeisens. Im Inneren befinden sich die Mischfarben.



Die menschliche Farbwahrnehmung ist kompliziert, sie ist nur näherungsweise durch Zahlen zu erfassen. Praktisch geht man so vor, dass man 2, 3 oder mehr reine Spektralfarben festlegt und die Mischfarben durch dimensionslose Verhältniswerte für Mischung und Helligkeit/Dunkelheit quantifiziert (z.B. RGB) oder man legt zuerst eine Mischfarbe fest, quantifiziert deren Helligkeit/Dunkelheit und codiert die Farbe als Abweichung in Richtung von 2, 3 oder mehr Spektralfarben (z.B. YIQ).

Es ist unpraktisch, für RGB-Monitore, Drucker, Fernsehausstrahlung oder gar für nichtelektronische Zwecke (z.B. Autolacke) die gleichen Messwerte zu benutzen.

Man benutzt besser für jede dieser Anwendungen geeignete (aber immer nur je 3 oder 4) einfache Beschreibungsbausteine. Aus diesem Grund koexistieren verschiedene Farbmodelle für verschiedene Geräteklassen und Verwendungszwecke. Die Modelle lassen sich durch lineare Gleichungen ineinander überführen.

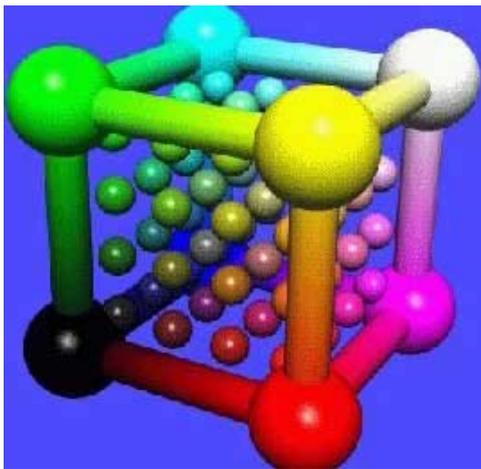
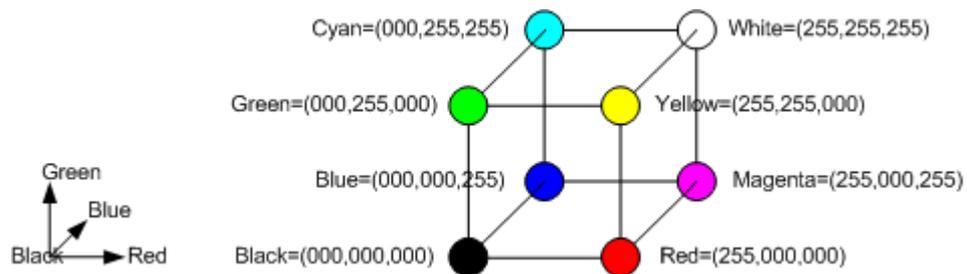
RGB

Shadow Mask Color CRTs erzeugen Farben durch Rot-Grün-Blau-Phosphortripel, die durch 3 Kathodenstrahlen (beschleunigt durch 3 Anodenspannungen) selektiv angeregt werden. Jedes Verhältnis der 3 Anodenspannungen erzeugt seine eigene charakteristische Farbe und ist es naheliegend, Farben schlicht durch dieses Mischungsverhältnis zu charakterisieren.

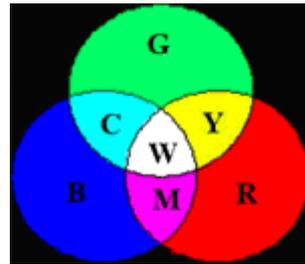
Shadow-Mask-Color-CRTs können keineswegs alle Farben erzeugen, die ein gesunder Mensch empfinden kann, aber eine beachtliche Untermenge davon, welche sich bequem durch 3 Werte R-G-B beschreiben lässt. Diese einfache Farbbeschreibung ist sehr schnell populär geworden und in alle Betriebssysteme, Bildformate und Programmiersprachen eingegangen. Aus diesem Grund baut die Industrie auch alle Flat Panel Displays so, dass sie diese Beschreibung übernehmen können.

Folge: Das RGB-Farbmodell ist für alle Rasterdisplays die einzige relevante Farbbeschreibungsmethode. Leider ist das RGB-Farbmodell aber ungeeignet für andere als Raster-Display Zwecke nämlich für Farbmetriken, die nicht vom Typ des Ausgabegeräts abhängen dürfen.

3D-vector space of the RGB-color model



Bioengineering Research Group, Univ. of Auckland NZ



The additive primary colors are red, green, and blue
 Mixing green with red creates yellow.
 Mixing blue with green creates cyan.
 Mixing blue with red creates magenta.
 The sum of all three primary colors creates white.

RGB-images contain 3 monochrome images.



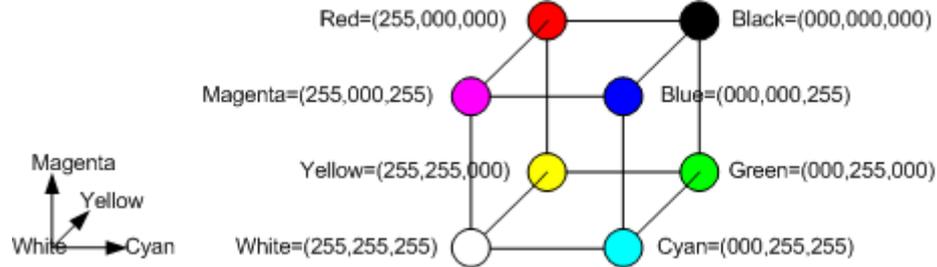
CMY und CMYK

Ein Display muß ein schwarze Fläche mit Licht füllen, d.h. Rot, Grün und Blau addieren. Alle verwendeten Farben müssen zusammen Weiß ergeben. Ein Drucker befindet sich in einer ganz anderen Situation. Er muß weißes Papier abdunkeln, d.h. Rot, Grün und Blau aus dem weißen Hintergrund ausblenden = subtrahieren. Seine Farben müssen zusammen Schwarz ergeben.

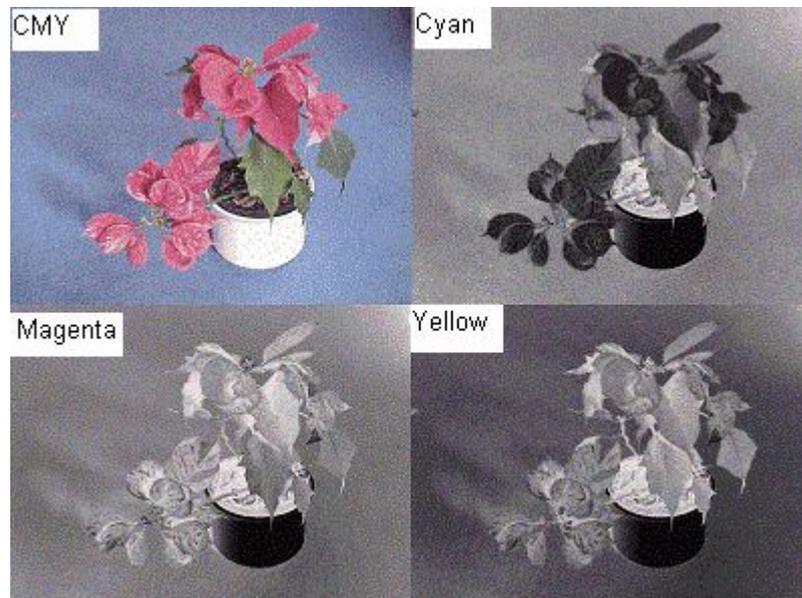
Er kann unmöglich mit Rot, Grün und Blau arbeiten, er druckt mit Cyan, Magenta und Yellow und braucht eine andere Farbmatrik: das CMY-Farbmodell, das logisch invers zum RGB-Modell ist.

Umrechnung von RGB in CMY: $C = 255 - R$; $M = 255 - G$; $Y = 255 - B$;

3D-vector space of the CMY-color model

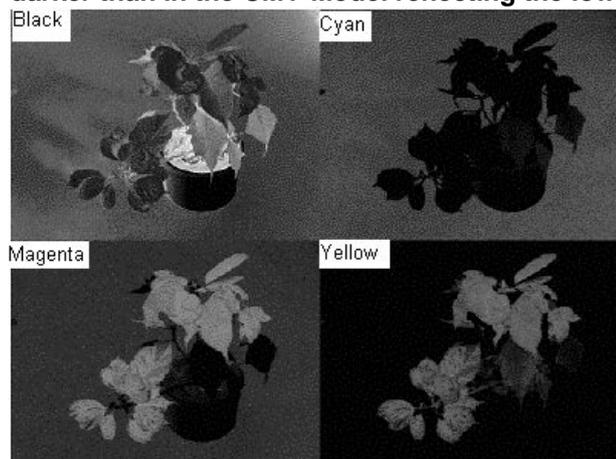


CMY-image: In case of an ink jet printer the upper right image is drawn using cyan ink, the lower left using magenta and the lower right using yellow ink.



Farbdrucker besitzen in der Regel neben C+M+Y zusätzlich die Farbe Schwarz, damit man sie auch als farbungfähige Drucker ohne Farbsignal schwarz/weiß betreiben kann. Diese schwarze Farbe lässt sich effektiv auch in Farbbildern verwenden. Man spart bei Tintenstrahldruckern (Ink Jet Printer) erheblich Farbtinte, wenn man Schwarz durch originär Schwarz druckt, anstelle es durch Überlagerung von C+M+Y subtraktiv zu erzeugen. Deshalb verwenden solche Drucker das CMYK-Farbmodell, welches Schwarz zusätzlich zu CMY enthält. Der Buchstabe K in der Abkürzung CMYK symbolisiert den letzten Buchstaben von Black.

CMYK-image used for ink jet printers: The upper left image is drawn using monochrome black ink, cyan ink upper right image, magenta ink lower left image and yellow ink lower right. All images together are darker than in the CMY-Model reflecting the low consumption of any ink.



YIQ und YUV

Beim Fernsehen ist Farbe nur eine Zugabe. Die wesentliche schwarz-weiß Information kommt über einen Yellow-Signal, das alle Farben gewichtet enthält $Y = g_1 \cdot \text{Rot} + g_2 \cdot \text{Grün} + g_3 \cdot \text{Blau}$, wobei die Summe der Gewichte $g_1 + g_2 + g_3$ exakt 1.0 ergibt. Zwei zusätzliche dünne Signalpfade transportieren zwei Farbinformationen in Form von je 2 gewichteten Differenzen zu Y.

YIQ:

Wird in der TV-Farbnorm NTSC (Amerika und Japan) verwendet.

Y-Kanal = Yellow enthält schwarz-weiß.

I-Kanal enthält die Differenz zweier gewichteter Differenzen.

Q-Kanal enthält die Summe zweier gewichteter Differenzen.

$Y = g_1 \cdot \text{Rot} + g_2 \cdot \text{Grün} + g_3 \cdot \text{Blau}$ Y-Bandbreite 4.2 MHz

$I = g_3 \cdot (\text{Rot} - Y) - g_4 \cdot (\text{Blau} - Y)$ I-Bandbreite 1.2 MHz

$Q = g_5 \cdot (\text{Blau} - Y) + g_6 \cdot (\text{Rot} - Y)$ Q-Bandbreite 0.6 MHz

YUV:

Wird in der TV-Farbnorm PAL (Europa, Afrika, Asien außer Japan) und bei digitalem Video verwendet.

YUV enthält ähnliche Signale wie YIQ (mit anderen Gewichten und mit um 33 Grad gedrehtem Koordinatensystem) aber mit höherer Bandbreite und damit besserer Qualität.

Y-Kanal = Yellow enthält das schwarz-weiß-Signal.

Y-Bandbreite 5.5 MHz

U-Kanal enthält die Differenz zweier gewichteter Differenzen.

U-Bandbreite 1.3 MHz

V-Kanal enthält die Summe zweier gewichteter Differenzen.

V-Bandbreite 1.3 MHz

HLS, HSV, HVC

Diese Farbmodelle decken die menschliche Farbempfindung besser und vollständiger ab als die geräteorientierten Modelle RGB, CMY, YUV und YIQ.

HLS, HSV, HVC sind besser für menschliche als für elektronische Kommunikation geeignet.

HLS ist die Abkürzung von Hue-Lightness-Saturation.

Das HLS-Modell entspricht am ehesten der Strategie eines Kunstmalers:

(1) Wähle eine reine Farbe (=Hue).

(2) Mische weißes Pigment dazu, um der Farbe Individualität wegzunehmen, d.h. ihre Sättigung (=Saturation) herabzusetzen.

(3) Mische schwarzes Pigment dazu, um die Helligkeit (=Lightness) herabzusetzen.

Das Koordinatensystem der drei Komponenten H, L und S stelle man sich so vor:

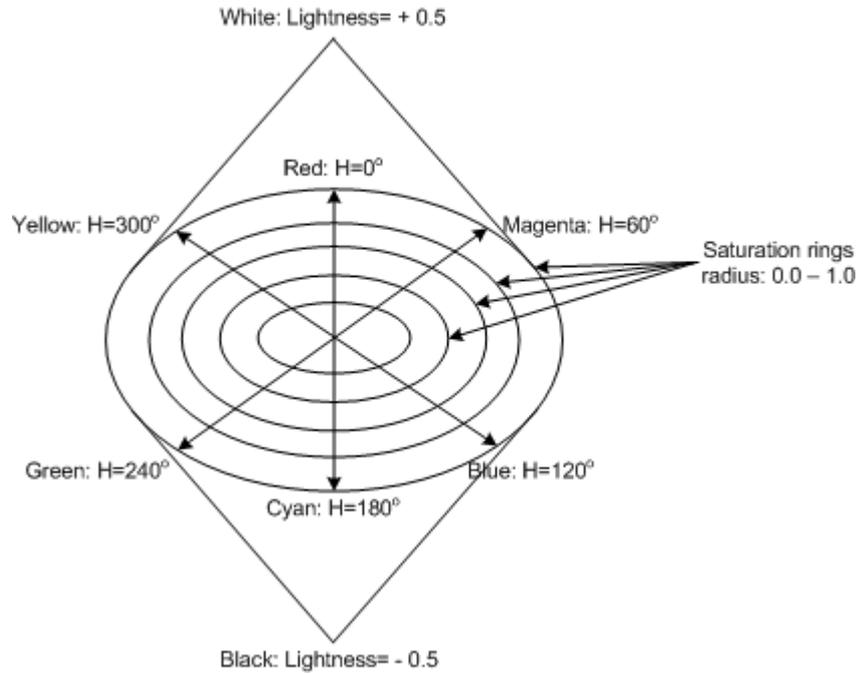
Die reinen Farben (=Hue) sind auf dem Rand eines horizontalen Farbkreises angeordnet: Rot auf der abgewandten Seite (0 Grad), Grün dem Betrachter am nächsten (180 Grad), Orange-Gelb links (90 Grad) und Purpur-Blau rechts (270 Grad). Beim Wandern auf dem Kreis wechseln die Farben kontinuierlich ohne Bruchstelle.

Man kann den Kreis nicht nach außen verlassen, wohl aber nach innen. Je weiter man nach innen kommt, desto mehr nimmt der Weiß-Anteil in den Farben zu. In Kreismittelpunkt gibt es keine Farbe mehr, es herrscht reines Weiß.

Unterhalb dieses Farbkreises liegen zylinderförmig weitere Farbkreise. Es wird immer dunkler, je weiter man hinabsteigt. Steigt man entlang der senkrechten Mittelachse des Zylinders ab, dann durchquert man farblos alle Helligkeiten von leuchtend weiß bis vollständig schwarz. Nimmt man eine Abstiegsachse, die durch den Kreisrand an der Stelle Rot senkrecht nach unten führt, dann durchquert man gesättigtes Rot in allen Helligkeitsstufen von maximal leuchtend Rot bis zum voll verdunkelten Rot.

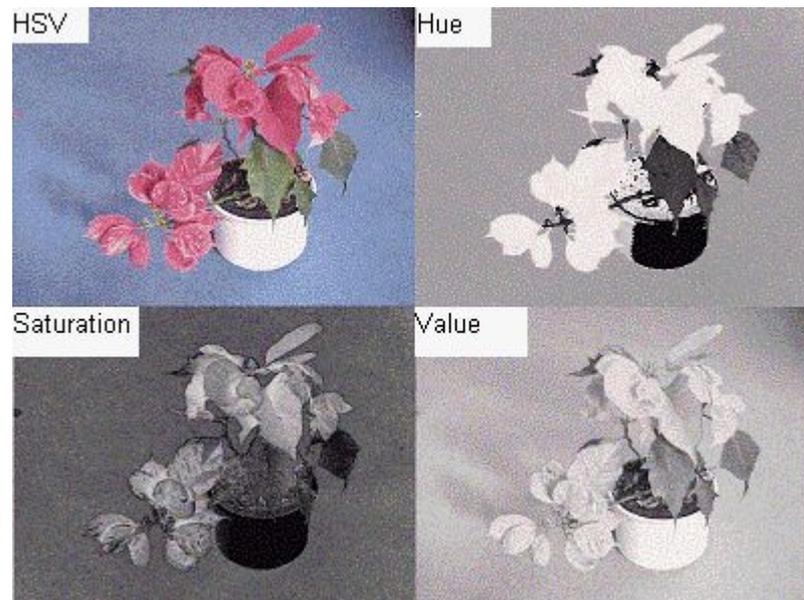
Da maximal leuchtendes Rot identisch mit maximal leuchtendem Weiß und voll verdunkeltes Rot identisch mit tiefstem Schwarz ist, wird der Koordinaten-Zylinder oft als spindelförmige Doppelpyramide dargestellt: Obere Spitze = extremes Weiß, Mittelebene kreisförmig mit allen Farben und untere Spitze totales Schwarz.

Der Wertebereich für Hue liegt zwischen 0 und 360 Grad, der für Lightness und Saturation liegt für beide zwischen 0.0 und 1.0. Die Mittelebene liegt auf Höhe von $L = 0.5$. Der Kreisradius in der Mittelebene ist $S = 1.0$. Reines Rot hat $H = 0$ Grad, $L = 0.5$ und $S = 1.0$.



HSV ist die Abkürzung von Hue-Saturation-Value.

HSV ist HLS ziemlich ähnlich. Die Spindel ist einseitig zur Pyramide geschrumpft, die mit der Spitze nach unten zeigt. Dort liegt wie bei HLS Schwarz. Weiß liegt nunmehr im Mittelpunkt der nach oben zeigenden kreisförmigen Pyramidenbasis. Auf dem Rand dieser Pyramidenbasis liegen die reinen Farben von 0 bis 360 Grad genau wie bei HLS.



HVC ist die Abkürzung von Hue-Value-Chroma.

Dies ist ein praktisches, von dem Physiker A. Munsell um 1900 erfundenes Farbordnungssystem. Es hat die Besonderheit, dass der HVC-Farbraum so geordnet ist, dass er dem Empfinden kollinear ist. Doppelten Abstand im HVC-Farbraum empfindet man als doppelt so großen Farbunterschied. Es eignet sich gut für subjektive Beschreibungen von Farbähnlichkeiten jedoch wenig für technische Systeme.

Color Management

Geräte für Eingabe, Anzeige und Ausgabe (Scanner, Display, Printer) bedürfen der Farbkalibrierung, wenn die Farbe über die Verarbeitungsstufen konstant bleiben soll. Für diesen Zweck hat das International Color Consortium ICC ein geräteübergreifendes Farbkalibrier-Format definiert, das sogenannte "ICC Profile". Es handelt sich um Testbilder plus Messgeräte mit Messvorschriften. Die Testbilder werden gescannt oder am Display angezeigt oder gedruckt. Danach werden Farbtöne, Helligkeiten, Sättigungen etc. an gewissen Bildstellen mit speziellen Fotometern vermessen. Aus den Soll-Ist-Abweichungen errechnen sich Korrekturprofile, die man dauerhaft abspeichern und verwenden kann.

Man kann bei der Kalibrierung verschiedenen ehrgeizige Ziele (Rendering Intents) verfolgen:

- (1) Absolut farbmetrische Kalibrierung: Alle vom Medium darstellbaren Farben sollen 1:1 mit dem Original übereinstimmen.
- (2) Relativ farbmetrische Kalibrierung: Wie (1), aber die Grundfarbe des Mediums (z.B. Papierfarbe) wird nicht berücksichtigt.
- (3) Fotografische Kalibrierung: Die Farben dürfen sich verändern, aber die Farbabstände müssen den Wahrnehmungsabständen entsprechen.
- (4) Sättigungsmaximierte Kalibrierung: Höchstmögliche Ähnlichkeit obwohl die Farben des Mediums maximal gesättigt sind (z.B. RGB-Mischung von 3 monochromatischen Laserlichtquellen)

Links

- (1) Guter Artikel von Charles Poynton, Toronto 1997: www.poynton.com/notes/colour_and_gamma
- (2) Munsell Color Science Lab: <http://mcsli.rit.edu>