

Kapitel 8

Farbe

8.1 Physik

Ein Teil des elektromagnetischen Spektrums wird vom Auge wahrgenommen:

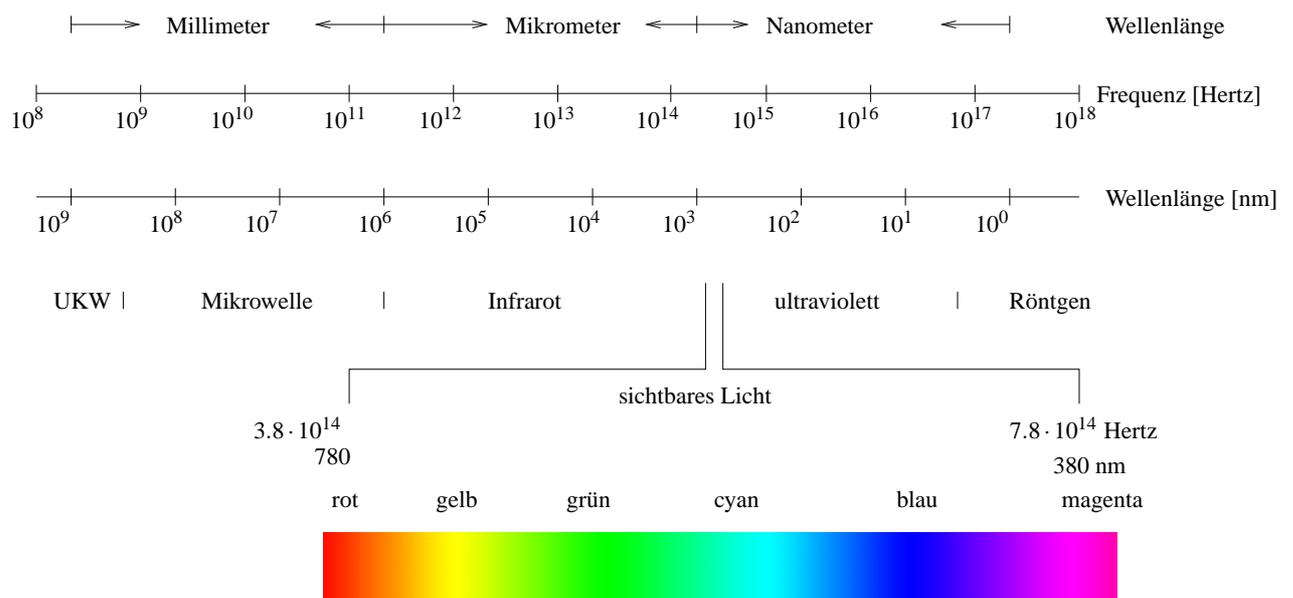


Abbildung 8.1: Elektromagnetisches Spektrum

Es gilt:

- Wellenlänge \cdot Frequenz = Lichtgeschwindigkeit ($= 2.998 \cdot 10^8$ m/s).
- Spektralfarben bestehen aus Licht einer einzigen Wellenlänge.
- In der Natur vorkommende Farben bestehen aus Licht, das aus verschiedenen Wellenlängen zusammengesetzt ist.
- Die Verteilung der Wellenlängen bezeichnet man als Spektrum.

8.2 Dominante Wellenlänge

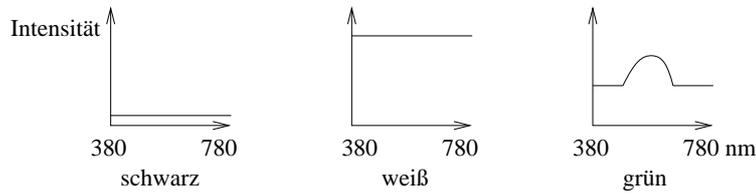


Abbildung 8.2: Spektren zu drei Farben

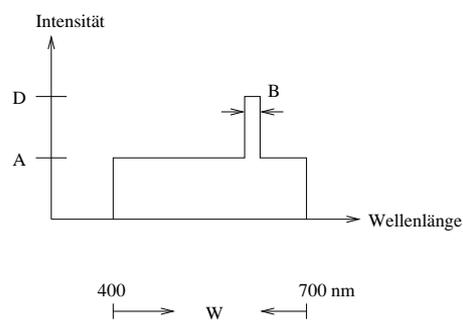


Abbildung 8.3: Dominante Wellenlänge

Eine mögliche intuitive Charakterisierung für den Farbeindruck lautet:

hue: Farbton, gegeben durch dominante Wellenlänge.

luminance: Helligkeit = $L = (D - A) \cdot B + A \cdot W$

saturation: Sättigung, Reinheit, gegeben durch das Verhältnis der Fläche im "Turm" zur Gesamtfläche = $\frac{(D-A) \cdot B}{L}$.

Je weiter A und D auseinanderliegen, desto größer ist die Sättigung, d.h. desto reiner ist die Farbe. Bei $A = 0$ liegt nur die dominante Wellenlänge vor. Bei $A = D$ liegt weißes Licht vor.

Der Mensch kann etwa 128 reine Farbtöne unterscheiden. Pro Farbton können etwa 20 Sättigungsgrade unterschieden werden.

8.3 Grundfarben

Beobachtung: Durch Mischen (= Addieren) von Farben entstehen neue Farben. Wähle 3 Grundfarben, z.B. Rot (R), Grün (G), Blau (B). Bei einer Normierung $R + G + B = 1$ lässt sich jede Kombination durch Angabe von zwei Parametern (siehe Abbildung 8.4) beschreiben (da z.B. B aus R und G folgt).

Abbildung 8.5 zeigt den im Jahre 1931 definierten CIE-Standard (*Commission Internationale l'Éclairage*), in dem drei (künstliche) Grundfarben festgelegt wurden, die alle sichtbaren Farben erzeugen können.

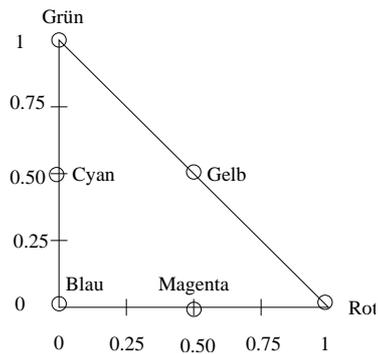


Abbildung 8.4: 2-dimensionale Beschreibung von Farbtönen in baryzentrischen Koordinaten.

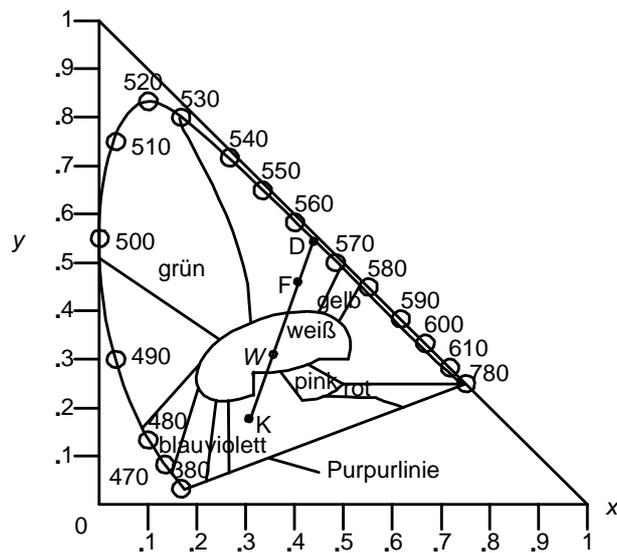


Abbildung 8.5: CIE-Farbdigramm des sichtbaren Spektrum, Angaben zur Wellenlänge in nm

Die Grundfarben eines typischen Farbbildschirms haben die (x,y) -Koordinaten

$$\begin{aligned} \text{Rot} &= (0.628, 0.346), \\ \text{Grün} &= (0.268, 0.588), \\ \text{Blau} &= (0.150, 0.070). \end{aligned}$$

Die Reinheit der Farbe F ist der relative Abstand von F zu W , bezogen auf die Strecke \overline{WD} , wobei D den Schnittpunkt der Geraden durch W und F mit der Kurve bildet. D ist die dominante Wellenlänge in F . Das Komplement K der Farbe F ergibt sich durch Spiegelung von F an W mit entsprechender Skalierung.

8.4 RGB-Modell (Rot, Grün, Blau), (additiv)

Zur Ansteuerung der dreifarbigen Phosphorschicht mit roten, grünen, blauen Phosphorpunkten bietet sich das RGB-Modell an. Es handelt sich um ein additives Farbmodell, da das von den Phosphorpunkten ausgehende Licht addiert wird.

Typische Darstellung durch Einheitswürfel:

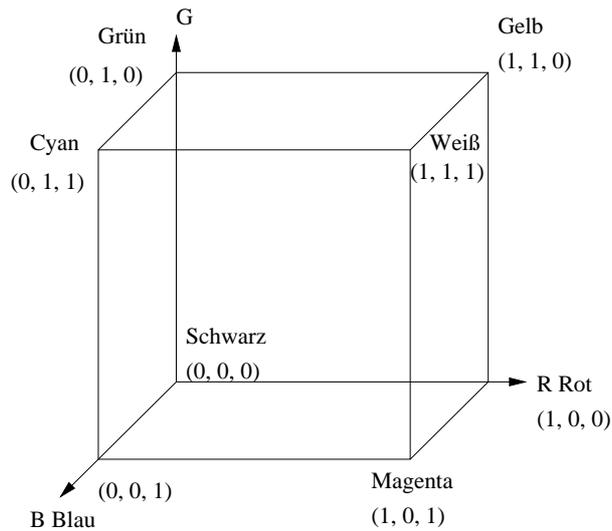


Abbildung 8.6: RGB-Würfel

Häufig werden die drei RGB-Werte statt im reellen Wertebereich $[0, 1]$ in 256 Abstufungen als ganze Zahlen im Bereich $\{0, 1, \dots, 255\}$ angegeben, die in einem Byte kodiert werden. Dadurch ergibt sich die Darstellung einer Farbe in drei RGB-Bytes.

8.5 CMY-Modell (Cyan, Magenta, Yellow), (subtraktiv)

Bei Farbdrukken empfängt das Auge nur solche Anteile des weißen Lichts, die reflektiert werden. Es bietet sich daher ein subtraktives Modell an. Ein *CMY*-Tripel beschreibt, wieviel von den Grundfarben Cyan, Magenta, Yellow reflektiert bzw. von den Grundfarben Rot, Grün, Blau absorbiert wird.

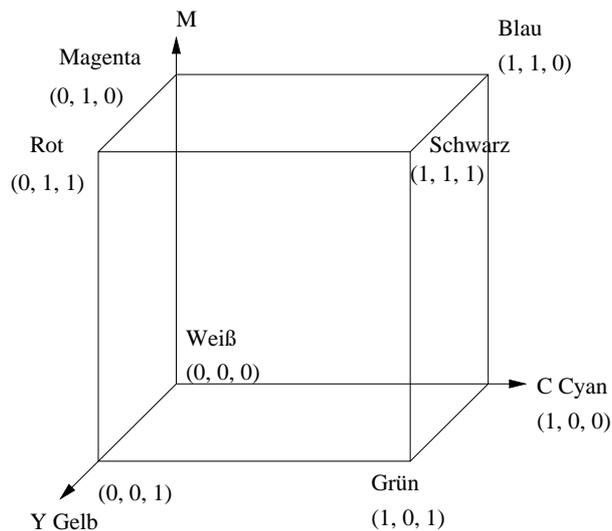


Abbildung 8.7: CMY-Würfel

Es gilt:	(0, 0, 0)	absorbiert nichts	bleibt Weiß
	(0, 0, 1)	absorbiert Blau	bleibt Gelb
	(0, 1, 0)	absorbiert Grün	bleibt Magenta
	(1, 0, 0)	absorbiert Rot	bleibt Cyan
	(0, 1, 1)	absorbiert Cyan	bleibt Rot
	(1, 0, 1)	absorbiert Magenta	bleibt Grün
	(1, 1, 0)	absorbiert Gelb	bleibt Blau
	(1, 1, 1)	absorbiert alles	bleibt Schwarz

Beispiel:	(0, 1, 0) Magenta	gemischt mit	(0, 0, 1) Gelb	ergibt	(0, 1, 1) Rot
	(1, 0, 0) Cyan	gemischt mit	(0, 0, 1) Gelb	ergibt	(1, 0, 1) Grün
	(1, 0, 0) Cyan	gemischt mit	(0, 1, 0) Magenta	ergibt	(1, 1, 0) Blau

Die Umrechnung zwischen dem CMY- und dem RGB-Modell erfolgt in Vektorschreibweise über die Subtraktionen

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S \\ S \\ S \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W \\ W \\ W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

wobei die Vektoren $[S, S, S]$ im CMY-Modell und $[W, W, W]$ im RGB-Modell gleich $[1, 1, 1]$ sind.

8.6 YUV-Modell

Ein Farbwert wird beschrieben durch ein YUV-Tripel, wobei Y die Helligkeit (Luminanz) bezeichnet und U, V Farbdifferenzen (Chrominanz). Die Helligkeitsempfindung resultiert zu 59 % aus dem Grünanteil, zu 30 % aus dem Rotanteil und zu 11 % aus dem Blauanteil:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

In den Farbdifferenzen (mit historisch begründeten Normierungsfaktoren) ist die restliche Information codiert:

$$\begin{aligned} U &= 0.493 \cdot (B - Y) \\ V &= 0.877 \cdot (R - Y) \end{aligned}$$

Der Vorteil dieses Farbmodells liegt darin begründet, daß in der Y -Komponente das Bild als Matrix von Grauwerten vorliegt und ggf. separat von der Farbinformation weiterverarbeitet werden kann.

8.7 YIQ-Modell

Beim 1953 in den USA eingeführten *NTSC-System* (National Television Standards Committee) werden die Farben durch die Farbparameter YIQ beschrieben, wobei Y die Helligkeit darstellt. Die Umrechnung zum RGB-Modell erfolgt durch die Formeln

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} .299 & .587 & .114 \\ .596 & -.274 & -.322 \\ .211 & -.522 & .311 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.956 & 0.623 \\ 1 & -0.272 & -0.648 \\ 1 & -1.105 & 1.705 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix}$$

Beim europäischen *PAL-System* (Phase Alternating Line) werden statt der Parameter I und Q die Farbdifferenzen $R - Y$ und $B - Y$ übertragen. Die Konvertierung der Farbinformation in Monochrom-Darstellung erfolgt in beiden Systemen durch Auswertung des Helligkeitsparameters Y .

8.8 HSV-Modell

Das HSV-Modell, beschreibt jede Farbe durch folgendes intuitive Tripel:

- Hue = Farbton
- Saturation = Sättigung
- Value = Helligkeit

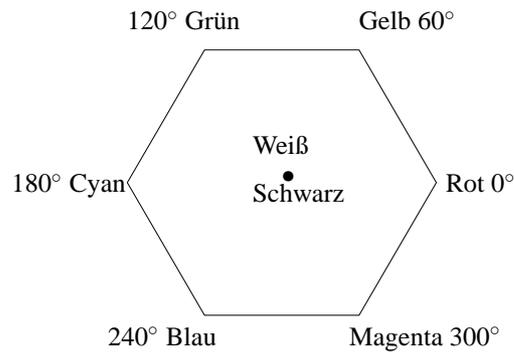


Abbildung 8.8: Gradeinteilung für Farbtöne im HSV-Modell

Projiziere den *RGB*-Würfel längs der Weiß-Schwarz-Diagonale (Abbildung 8.8).

Dieses Sechseck bildet die Basis einer Pyramide. Die Wahl des Farbtons (hue) geschieht durch Angabe eines Winkels ($0^\circ = \text{Rot}$).

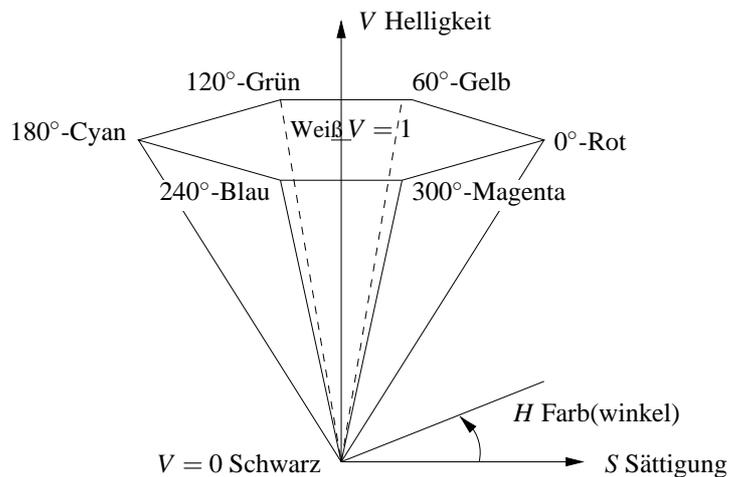


Abbildung 8.9: HSV-Modell

Der Parameter V liegt zwischen 0 und 1 und bestimmt die Intensität der Farbe (dargestellt durch die Senkrechte). Der Parameter S liegt zwischen 0 und 1 und bestimmt die Reinheit der Farbe (Entfernung von der Senkrechten). Die Farbselektion kann erfolgen, indem z.B. zunächst eine reine Farbe ausgewählt wird ($H = \alpha, V = 1, S = 1$). Das Hinzumischen von Weiß zur Erzeugung von Pastellfarben erfolgt durch Reduktion von S bei konstantem V . Das Hinzumischen von Schwarz (zur Erzeugung von dunklen Farben) erfolgt durch Reduktion von V bei konstantem S .

Umrechnung von *RGB* nach *HSV*

Die Achse V entspricht der Diagonalen im *RGB*-Würfel durch die Punkte Schwarz und Weiß, deshalb ist der Wert für V gleich dem Maximum der *RGB*-Intensitäten. Die Werte H und S können aus der Position des Punktes in jenem Sechseck berechnet werden, das durch Projektion des kleinsten, den *RGB*-Punkt beinhaltenden Würfels erzeugt wird.

Beispiel: Welche *HSV*-Darstellung haben die *RGB*-Bytes (64, 128, 32)?
Im *RGB*-Einheitswürfel entspricht dies

$$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{8}\right).$$

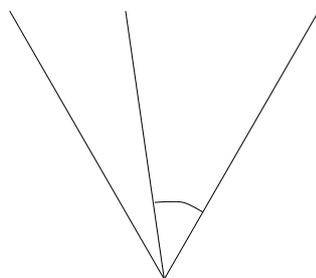
$$\begin{aligned} v &= \max(r, g, b) = \frac{1}{2} = 50\% \\ mi &:= \min(r, g, b) = \frac{1}{8} \\ s &= \frac{v - mi}{v} = \frac{\frac{3}{8}}{\frac{1}{2}} = \frac{3}{4} = 75\% \end{aligned}$$

Die dominante Grundfarbe ist Grün, da $v = g$.
Am schwächsten ist Blau vertreten, da $mi = b$.
⇒ Farbe im Bereich Gelb ... Grün
⇒ $h = 60^\circ \dots 120^\circ$.

$$h = \left(1 + \frac{v - r}{v - mi}\right) \cdot 60^\circ = \left(1 + \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{8}}\right) \cdot 60^\circ = \left(1 + \frac{2}{3}\right) \cdot 60^\circ = 100^\circ$$

Beispiel: Wie lauten die *RGB*-Bytes (Werte zwischen 0 und 255) für den Farbton 100° bei 75 % Sättigung und 50 % Helligkeit?

Farbton =	Grün	?	Gelb
$h =$	120°	100°	60°
$RGB =$	(0, 1, 0)	?	(1, 1, 0)



$$\begin{aligned} f &= \text{Winkel}/60 - \text{Winkel div } 60 \\ &= \frac{5}{3} - 1 = \frac{2}{3} \end{aligned}$$

	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	⇒	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	
Farbton h	$1 - f$	1	0	⇒	$\frac{1}{3}$	1	0	für $f = \frac{2}{3}$
Sättigung s	$1 - s \cdot f$	1	$1 - s$	⇒	$1 - \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$	für $s = \frac{3}{4}$
Helligkeit v	$v \cdot (1 - s \cdot f)$	v	$v \cdot (1 - s)$	⇒	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	für $v = \frac{1}{2}$

Lösung: 64 128 32

8.9 CNS

Zur verbalen Beschreibung einer Farbe eignet sich das CNS-Modell (*Color Name System*).

Zur Beschreibung des Farbtons verwende *red, orange, yellow, green, blue, purple*. Zur Beschreibung der Sättigung verwende *grayish, moderate, strong, vivid*. Zur Beschreibung der Helligkeit verwende *very dark, dark, medium, light, very light*.

Die achromatische Skala besteht aus den sieben Grautönen *black, very dark gray, dark gray, gray, light gray, very light gray, white*.

8.10 Color Data Base

In einer Datenbank sind Byte-Tripel abgelegt zu einer Auswahl von Farbbeschreibungen, z.B.

```

205   92   92  indian red
124  252    0  lawn green
 25   25  112  midnight blue
210  105   30  chocolate

```

8.11 Java-Applet zu Farbe

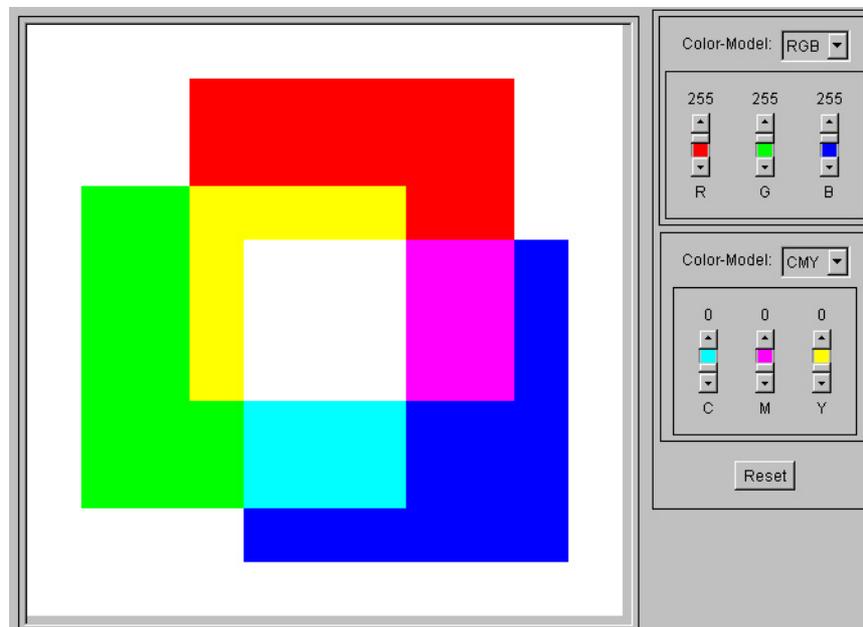


Abbildung 8.10: Screenshot vom Farben-Applet