

### **3 Farben**

#### **3.1 Farbassoziationen**

#### **3.2 Licht**

#### **3.3 Farbwahrnehmung**

#### **3.4 Modelle RGB und CMYK**

#### **3.5 CIE-Modell**

#### **3.6 YCrCb-Modell**

#### **Farbassoziationen:**

**Mit Farben assoziiert man häufig Begriffe, Stimmungen, Emotionen oder Eigenschaften. Einige Beispiele sind nachfolgend aufgeführt.**

**Rot:** Farbe des Feuers und des Blutes, energisch, erobernd, tatkräftig

**Gelb:** Farbe der Sonne, freundlich, dynamisch, wandlungsfähig, extrovertiert

**Grün:** Farbe der Natur, realistisch, lebensfroh

**Blau:** Farbe des Himmels, loyal, treu, ruhig

**Cyan:** passiv, konzentriert, pflichtbewußt

**Violett:** statisch, beharrend, introvertiert

**Magenta:** idealistisch, transzendent, theoretisch

**Braun:** erdverbunden, zurückgezogen, behaglich

**Grau:** gleichgültig, versteckt, unbeteiligt

**Weiß:** Farbe des Lichtes, rein, realitätsfern

**Schwarz:** pessimistisch, hoffnungslos, zwanghaft

## Die sechzehn Grundfarben für HTML-Seiten



**Bemerkung:** Bei Nutzung farbiger Schriften auf farbigem Hintergrund sollte man auf einen augenfreundlichen Kontrast achten.

## Licht:

Als Licht sieht man den Teil des elektromagnetischen Spektrums zwischen etwa 380 nm bis 780 nm Wellenlänge an. Es wird idealerweise erzeugt von einem strahlenden schwarzen Körper, je nach der Temperatur des Strahlers unterscheidet sich die spektrale Zusammensetzung des Lichts.

### Beispiele:

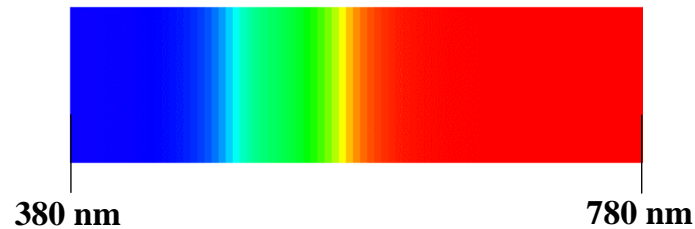
Lichtquelle	Farbtemperatur
Glühbirne 60 Watt	2200 °K
Weißer Leuchtstoffröhre	4400 °K
Sonnenlicht	5500 °K

### Zuordnung von Farben zu einzelnen Wellenlängenbereichen:

Farbe:	Wellenlänge in nm
Violett:	380 – 450
Blau:	450 – 490
Grün:	490 – 560
Gelb:	560 – 585
Orange:	585 – 635
Rot:	635 – 780

**Bemerkung:** In der Literatur findet man auch andere Zuordnungen von Farben zu Wellenlängenbereichen.

## Farbspektrum:



## Bemerkungen:

- (i) Das Farbspektrum wurde berechnet aus den CIE-1931 Daten. Die Umwandlung von CIE-Werten in RGB-Werte wurde über die Wyszecki-Stiles-Matrix vorgenommen.
- (ii) Um ein farbkraftiges Spektrum zu erreichen, wurde mindestens eine Farbkomponente als Volltonfarbe berechnet.
- (iii) Die Wyszecki-Stiles-Transformation:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,4900 & 0,3100 & 0,2000 \\ 0,1770 & 0,8124 & 0,0106 \\ 0,0000 & 0,0100 & 0,9900 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

## Einige Charakteristika des Auges:

Etwa 120 Millionen Stäbchen dienen der Helligkeitswahrnehmung.

Etwa 6 Millionen Zapfen dienen der Farbwahrnehmung. Man unterscheidet drei Arten von Zapfen:

- Etwa 4% blauempfindliche Zapfen, deren maximale Empfindlichkeit etwa bei einer Wellenlänge von 440 nm liegt;
- etwa 32% grünempfindliche Zapfen, deren maximale Empfindlichkeit etwa bei einer Wellenlänge von 545 nm liegt;
- etwa 64% rotempfindliche Zapfen, deren maximale Empfindlichkeit etwa bei einer Wellenlänge von 570 nm liegt.

Die Zahl der retinalen Schaltzellen beträgt etwa 2 Millionen.

Die Zahl der Nervenfasern beträgt etwa 1 Million.

Das Auflösungsvermögen des Auges beträgt etwa 1/120 Bogengrad.

Der Empfindlichkeitsbereich zwischen maximaler Helladaptation und voller Dunkeladaptation ist etwa  $1 : 10^{10}$ .

Das beidäugige Gesichtsfeld umfaßt etwa 170 Bogengrad.

## Farbwahrnehmung:

Man nimmt an, daß die Signale für Rot, Grün und Blau vorverarbeitet werden zu drei neue Signalen.

- Ein Differenzsignal Rot – Grün,
- ein Summensignal Rot + Grün = Gelb zur Gelbwahrnehmung und zur Helligkeitsbestimmung,
- ein Differenzsignal Gelb – Blau.

**Bemerkung:** Daß ein Mensch nicht Farbtöne wie rötlich-grün oder bläulich-gelb wahrnehmen kann, stützt obige Vermutung.

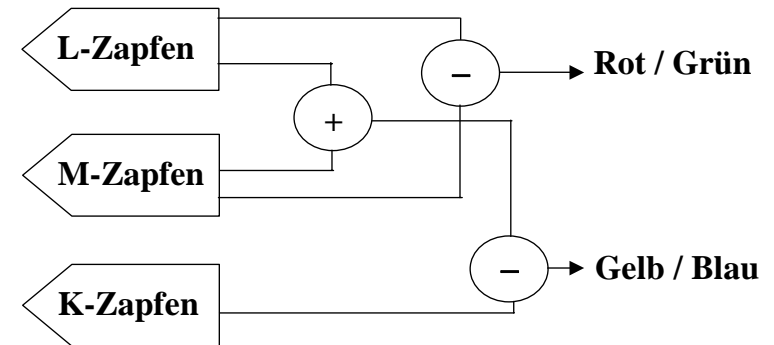
## Empfehlungen für den Farbeinsatz:

Reines Blau sollte für Texte, dünne Linien und kleine Objekte vermieden werden.

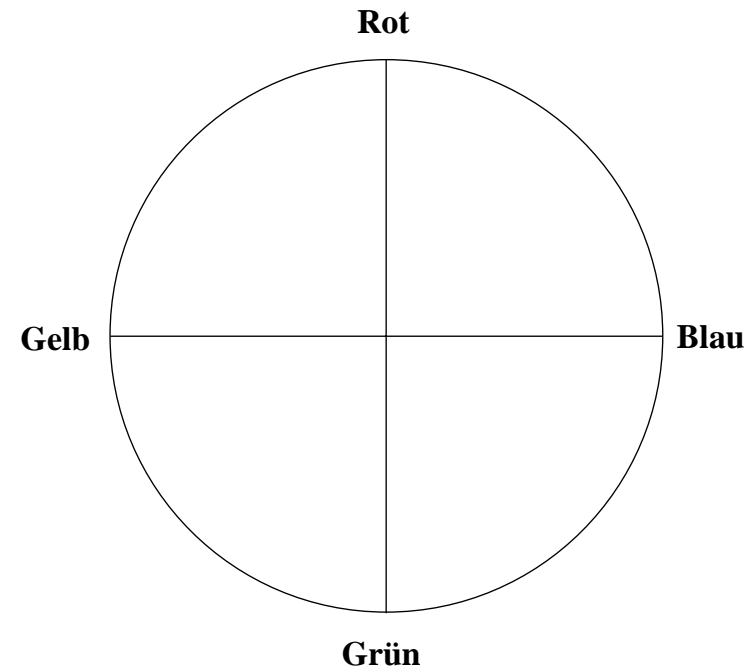
Aneinandergrenzende Farben sollten sich nicht nur in ihrem Blauanteil unterscheiden.

Rot und Grün sollten in den Randbereichen größerer Anzeigen vermieden werden.

## Graphik zur Farbwahrnehmung:

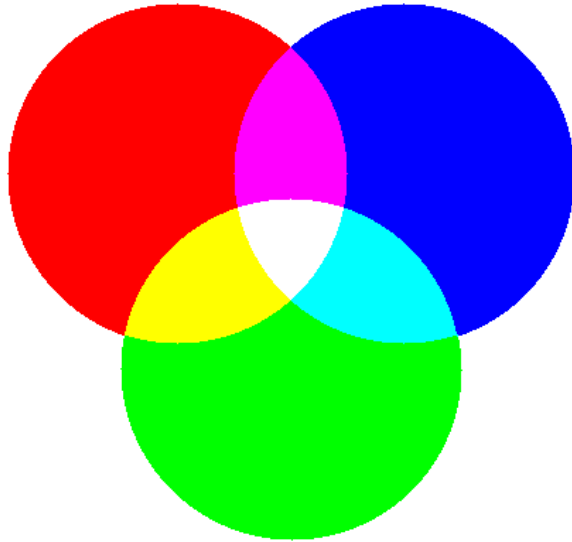


## Opponententheorie nach Hering (1834 – 1918):



**Zusätzliches Gegensatzpaar: Weiß – Schwarz**

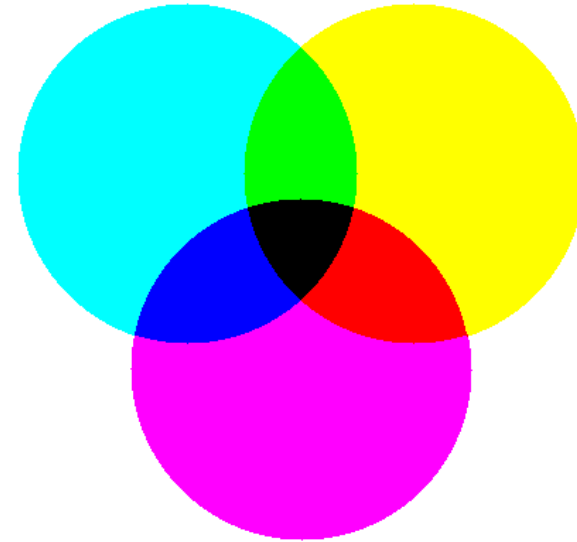
**Beispiel zur additiven Farbmischung:**



**Cyan** = Blau + Grün  
**Magenta** = Rot + Blau  
**Gelb** = Rot + Grün  
**Weiß** = Rot + Grün + Blau

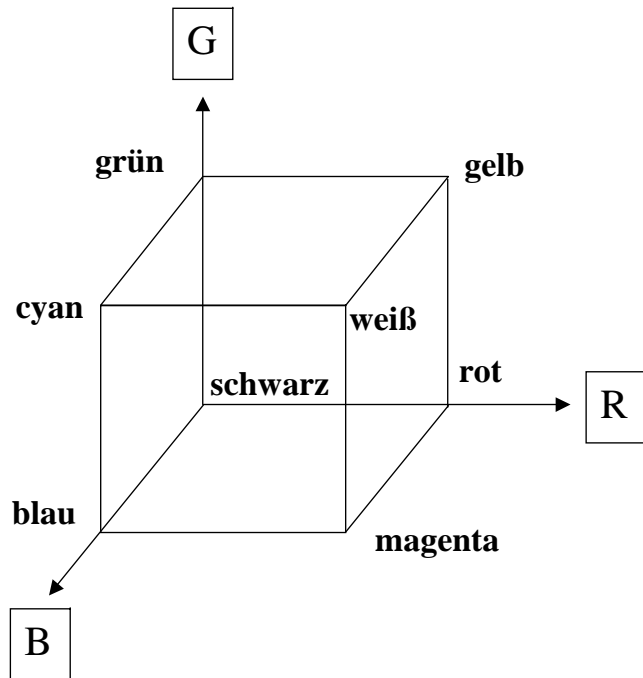
**Bemerkung:** Durch Mischung von Farben kann man neue Farben herstellen. Bei Farbmonitoren setzt man die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau ein.

**Beispiel zur subtraktiven Farbmischung:**



**Überdeckung der Körperfarbe Cyan mit der Körperfarbe Magenta ergibt Blau, ebenso die Überdeckung von Magenta mit Cyan.**  
**Überdeckung der Körperfarbe Gelb mit der Körperfarbe Magenta ergibt Rot, ebenso die Überdeckung von Magenta mit Gelb.**  
**Überdeckung der Körperfarbe Cyan mit der Körperfarbe Gelb ergibt Grün, ebenso die Überdeckung von Gelb mit Cyan.**  
**Schwarz entsteht durch die Überdeckung der Körperfarben Cyan, Gelb und Magenta.**

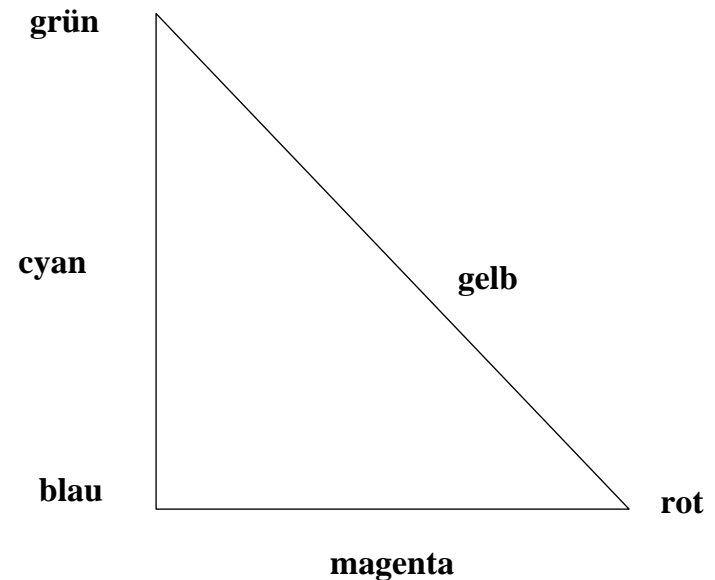
## Der RGB-Würfel:



**Bemerkung:** Normiert man den Farbwürfel zu einem Einheitswürfel, dann lassen sich Mischfarben als Kombination der drei Primärfarben R, G und B darstellen.  
 $M = \alpha R + \beta G + \gamma B$  mit  $0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$ .

## Farbdreieck:

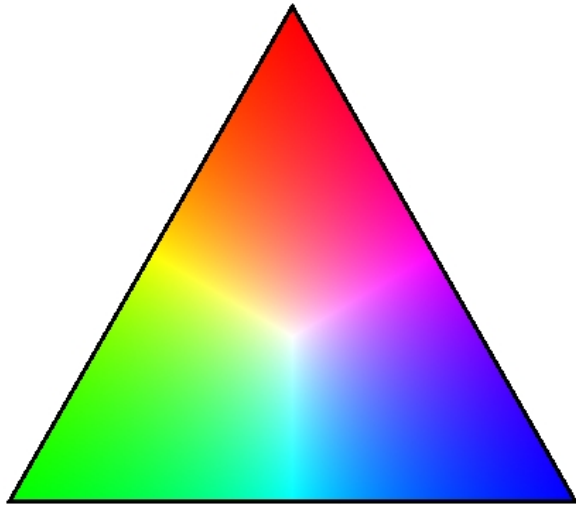
Normiert man nun die Koeffizienten  $\alpha, \beta, \gamma$  so, daß ihre Summe eins ist, dann läßt sich der Farbwürfel zu einem Farbdreieck reduzieren.



$$\text{weiß} = (\text{rot} + \text{grün} + \text{blau}) / 3,$$

schwarz existiert nicht.

## Mawells Farbdreieck:



**Bemerkung:** Nur Farben innerhalb des Dreiecks lassen sich mit positiven Gewichten aus den Farben der drei Ecken gewinnen.

## Umrechnung RGB – CMY:

Die Umrechnung beruht auf der Gleichung:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{Y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{V} \\ \mathbf{V} \\ \mathbf{V} \end{pmatrix},$$

wobei der Vollwert V für Schwarz oder Weiß steht, je nach Umwandlungsrichtung.

Beispiel:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{255} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{255} \\ \mathbf{255} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{255} \\ \mathbf{255} \\ \mathbf{255} \end{pmatrix}$$

Das Beispiel beschreibt die Realisierung der Farbe Rot durch die Druckfarben Magenta und Gelb.

Mögliche Erweiterung von CMY zu CMYK:

Sei der Schwarzanteil S gegeben durch  $S = \min(C, M, Y)$ .

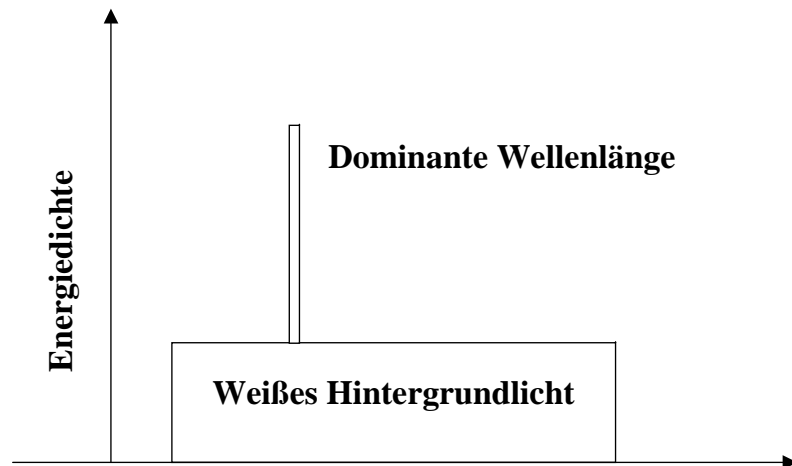
Man setzt nun:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}' &= \mathbf{C} - \mathbf{S} \\ \mathbf{M}' &= \mathbf{M} - \mathbf{S} \\ \mathbf{Y}' &= \mathbf{Y} - \mathbf{S} \\ \mathbf{K} &= \mathbf{S} \end{aligned}$$

## Das CIE-Modell:

( CIE = Commission Internationale de l'Eclairage )

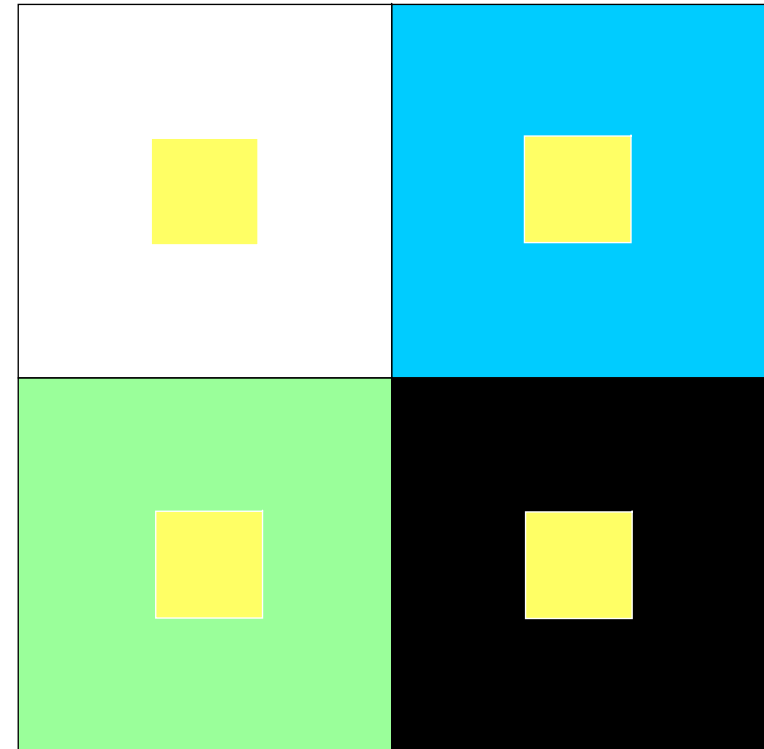
**Bemerkung:** Nicht jede von einem Menschen wahrnehmbare Farbe läßt sich aus RGB-Primärfarben mischen.



Ein Farbeindruck läßt sich durch drei Größen beschreiben:

den Farbton (= dominante Wellenlänge ),  
die Farbsättigung (= Anteil von Hintergrundlicht),  
die Helligkeit (= Energie des Lichtes).

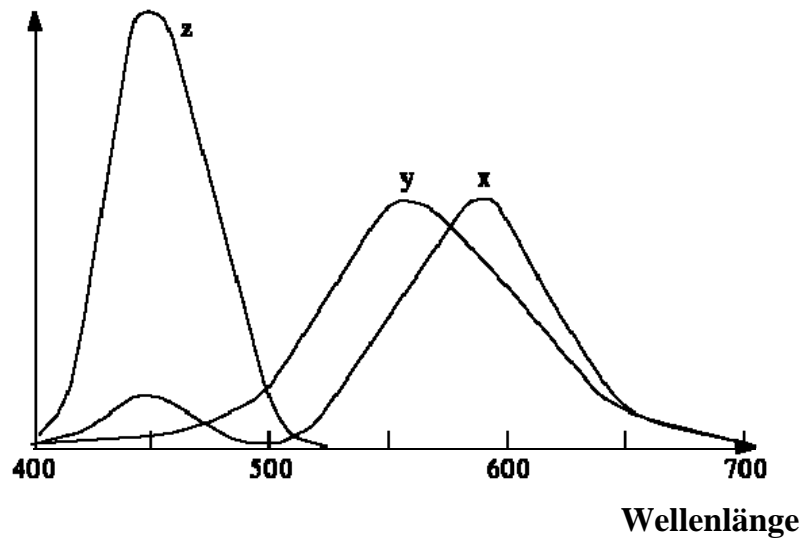
Die Farbempfindung wird bestimmt von der Umgebung, in der man eine Farbe wahrnimmt.



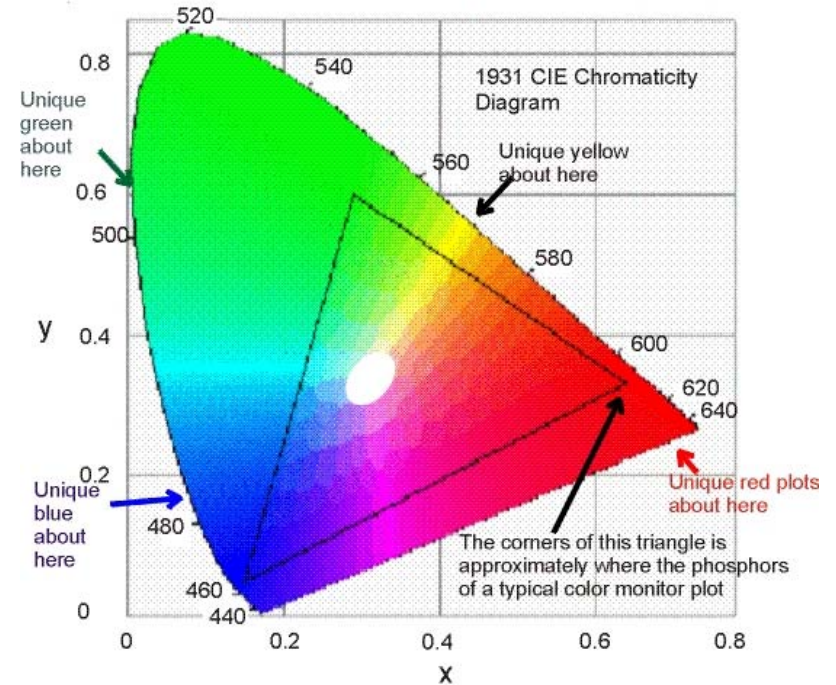
Frage: Handelt es sich jedesmal um den gleichen gelben Farbton?

Die CIE bestimmte drei künstliche Grundfarben, deren Beschreibung im unten stehenden Diagramm illustriert ist. Aus diesen drei Grundfarben x, y, z läßt sich jede von Menschen wahrnehmbare Farbe zusammensetzen.

$$F = X * x + Y * y + Z * z \quad \text{mit} \quad X + Y + Z = 1$$



Farbdiagramm der CIE:  
 (Quelle: <http://www.yorku.ca/eye/ciediag1.htm>)

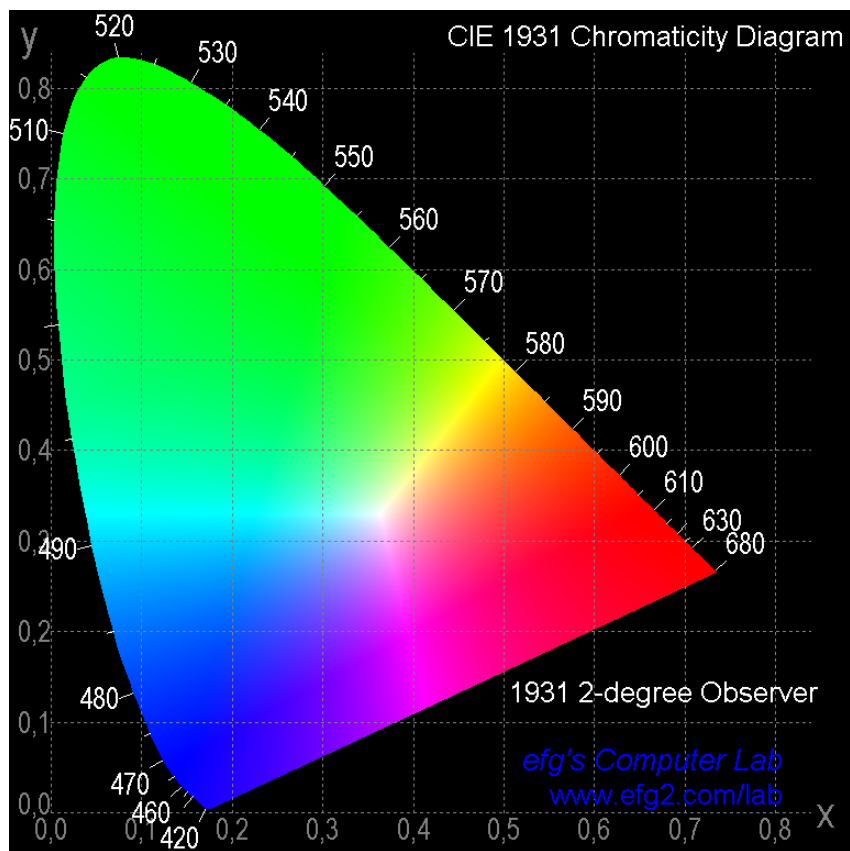


Das Hufeisen der Spektralfarben:

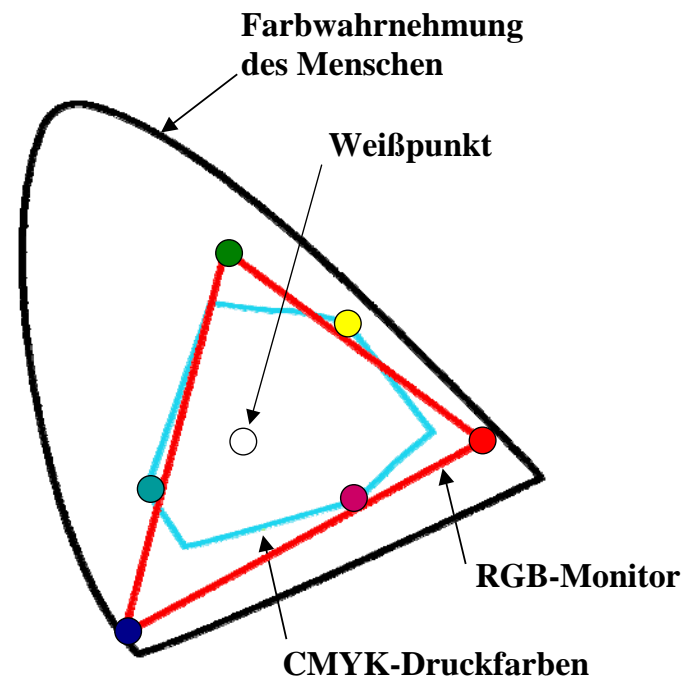


## Farbdiagramm nach CIE:

(Quelle: <http://www.efg2.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>)



## RGB-, CMYK- und CIE-Modell im Vergleich:



## Das YCrCb-Modell:

**Bildung einer Luminanz  $Y = a \cdot R + b \cdot G + c \cdot B$  und neuen Farben Cr, Cb, Cg mit**

$$\begin{aligned} \text{Cr} &= R - Y, \\ \text{Cb} &= B - Y, \\ \text{Cg} &= G - Y. \end{aligned}$$

**Es gilt  $\text{Cr} + \text{Cb} + \text{Cg} = \text{konstant}$ , daher genügen zwei der drei Chromakomponenten.**

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B, \\ \text{Cb} &= 0,564 \cdot (B - Y), \\ \text{Cr} &= 0,713 \cdot (R - Y). \end{aligned}$$

## Rücktransformation:

$$\begin{aligned} R &= Y + 1,402 \cdot \text{Cr}, \\ G &= Y - 0,344 \cdot \text{Cb} - 0,714 \cdot \text{Cr}, \\ B &= Y + 1,772 \cdot \text{Cb}. \end{aligned}$$

**Bemerkung:** Die Y-Transformation nutzt man auch bei der Wandlung eines Buntbildes in ein Graubild.