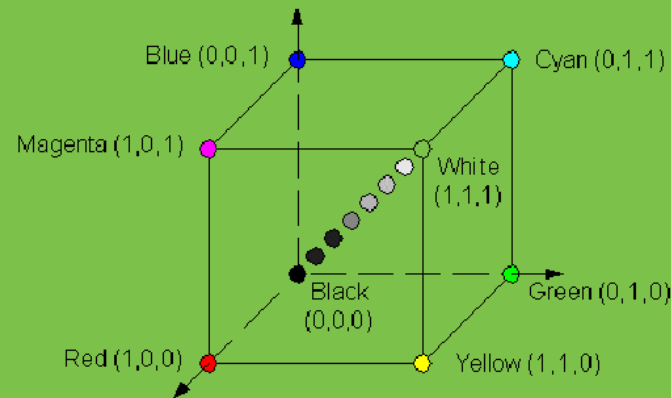


Visual Computing

– Farbe und Farbräume

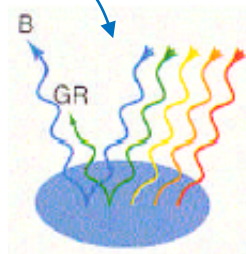
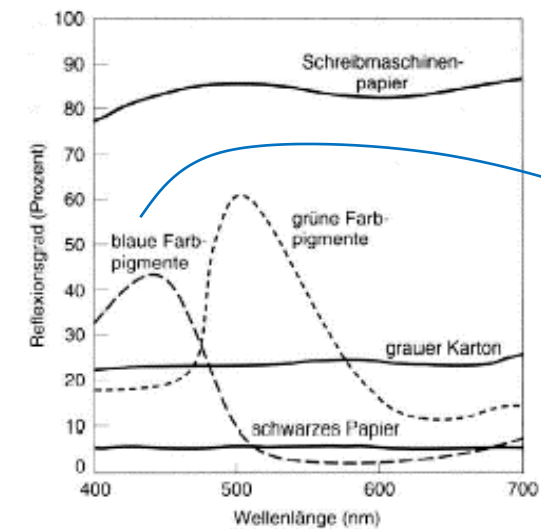
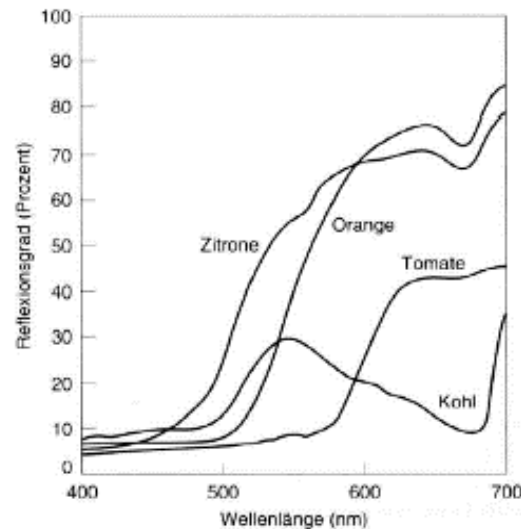
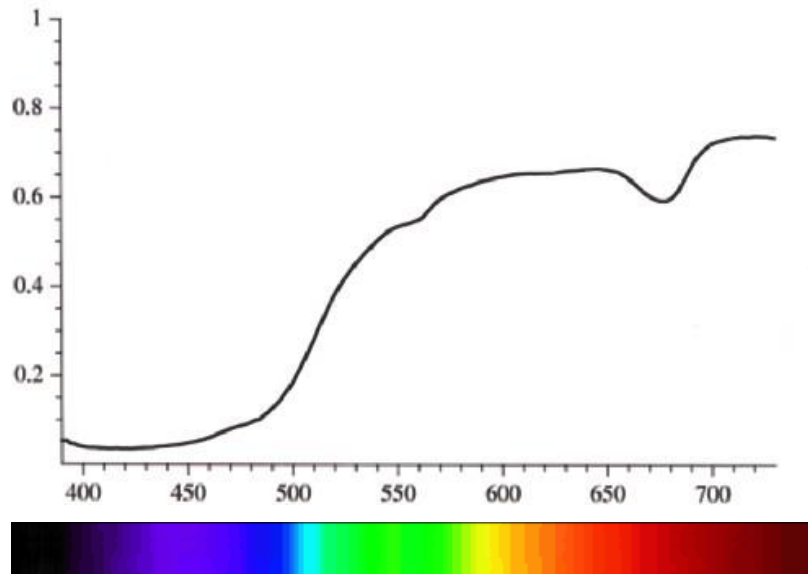


Yvonne Jung

Farbe

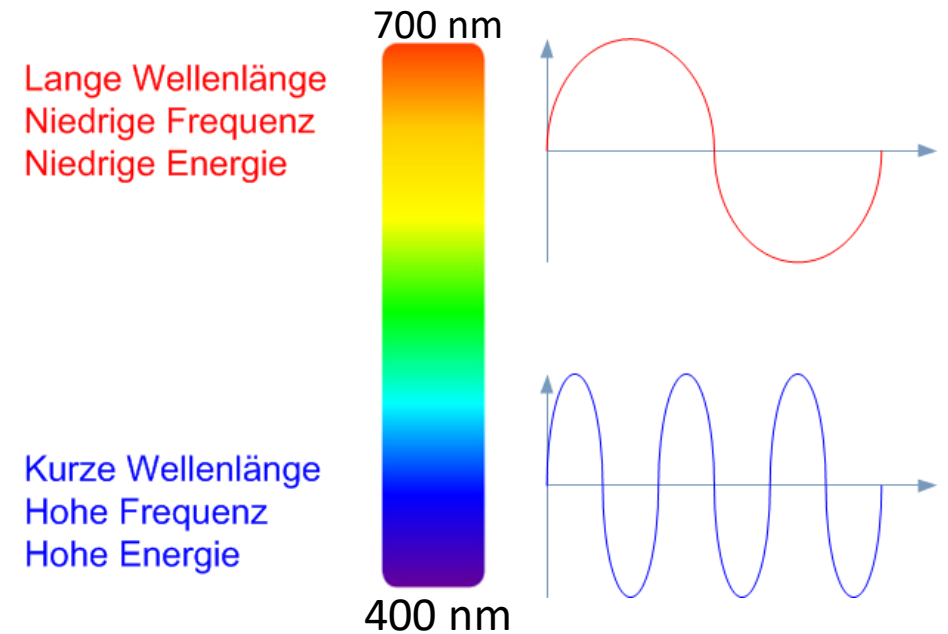
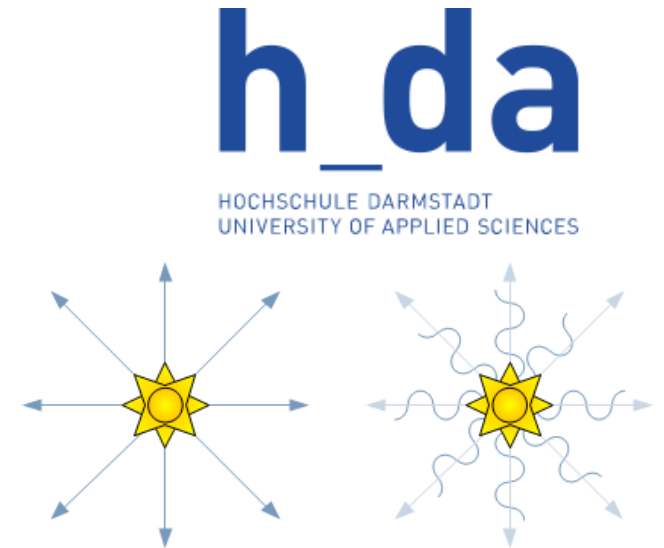
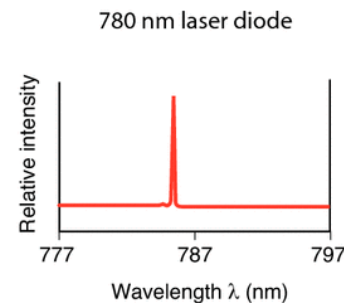
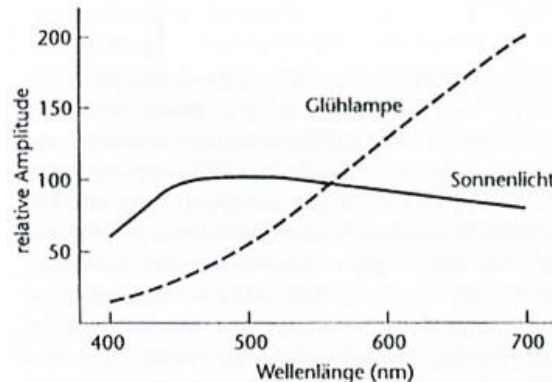
- Was ist Farbe, und wie würden Sie sie speichern?
- Physik: Reflektiertes Licht

Z.B. blaue Farbe absorbiert Licht aller Spektralbereiche außer um 450 nm

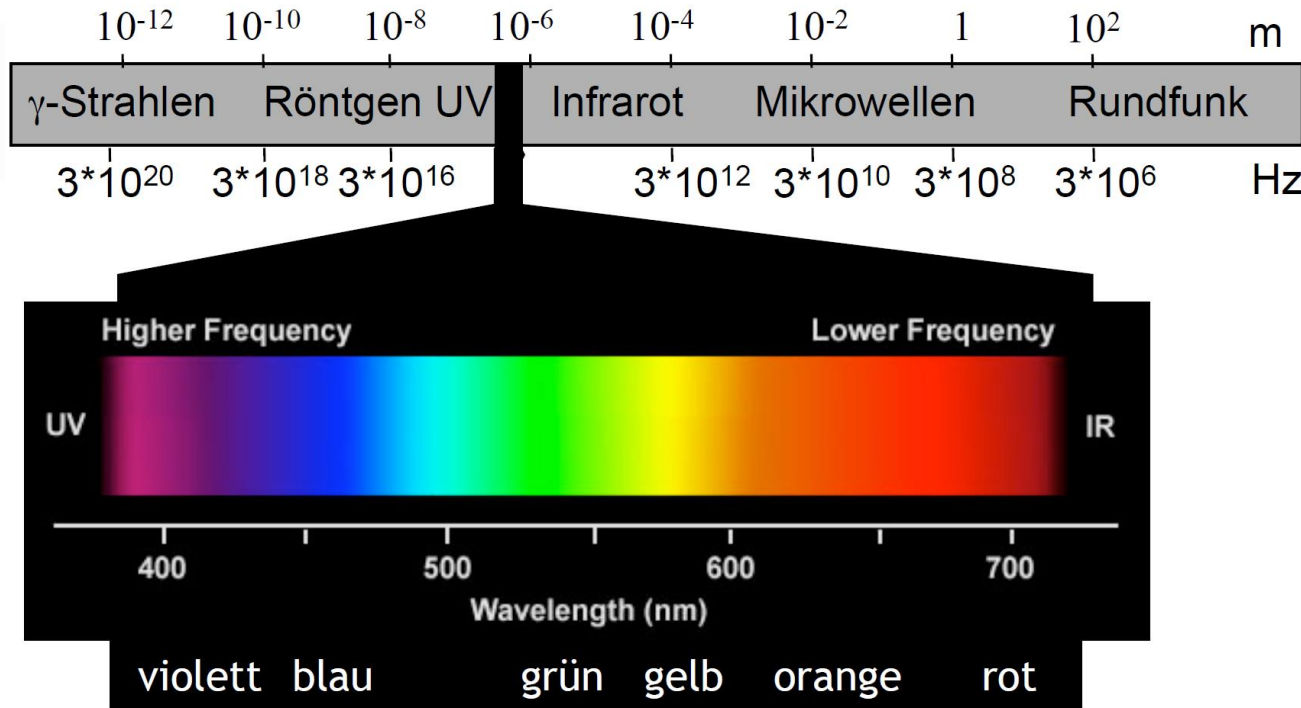


Farbe und Wellenlänge

- Licht ist elektromagnetische Strahlung
- Ausbreitung von Licht in alle Richtungen
 - Erfolgt in Wellen; Energie wird mittels Photonen transportiert
- Licht üblicherweise nicht monochromatisch (einfarbig), sondern wird durch Spektralverteilung $E(\lambda)$ beschrieben
 - Ist Kombination vieler Wellenlängen (\rightarrow Spektrum)

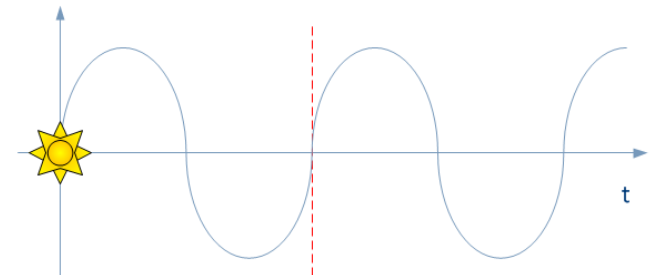


Elektromagnetische Strahlung

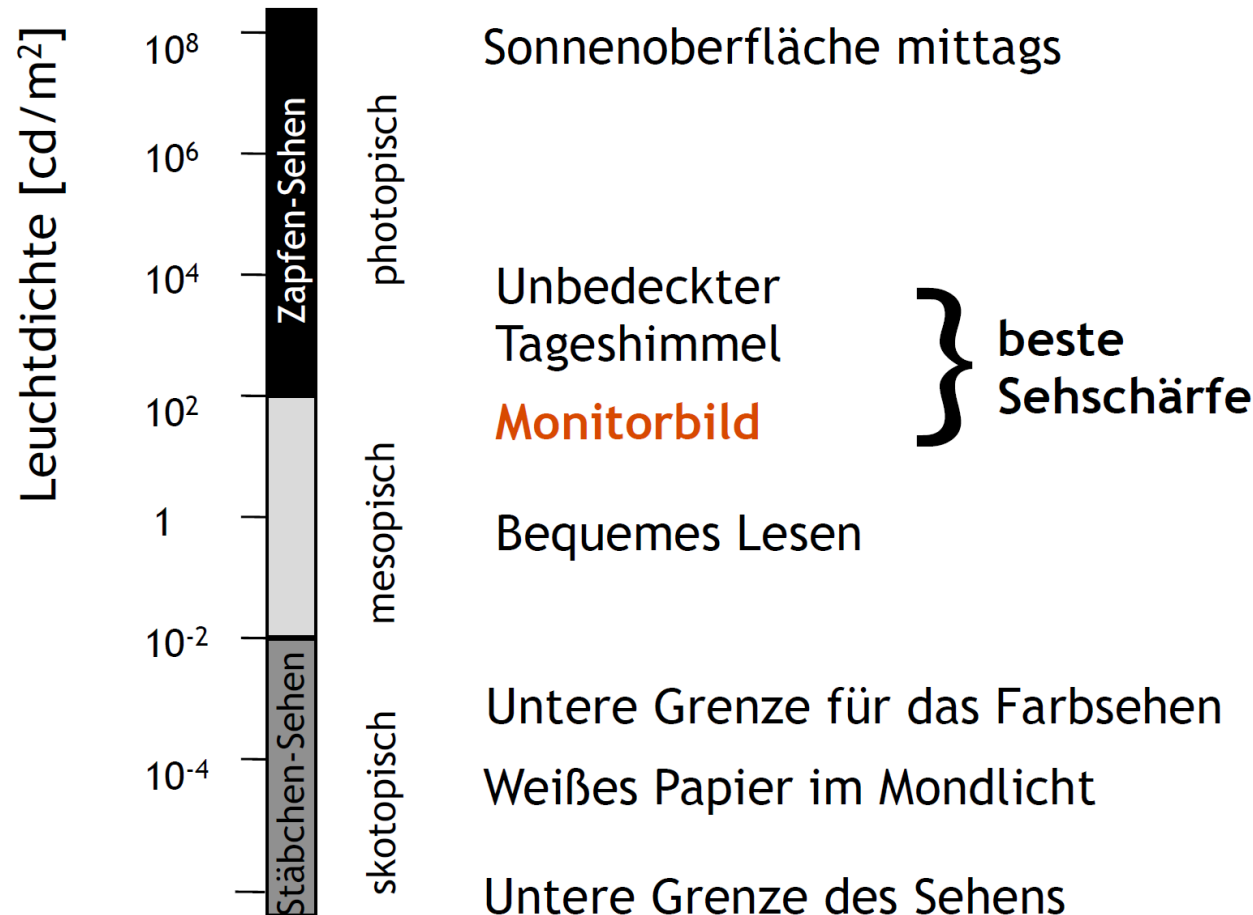


- Monochromatisches Licht beschrieben durch Angabe von Frequenz f

- Bzw. Wellenlänge λ
- Für beide Größen gilt wieder Beziehung $\lambda = \frac{c}{f}$
- Mit Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ im Vakuum



Typische Leuchtdichten



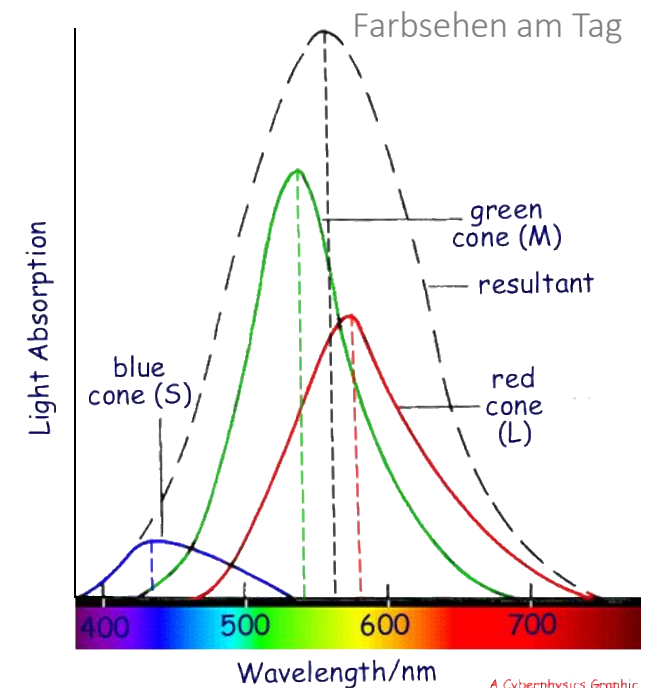
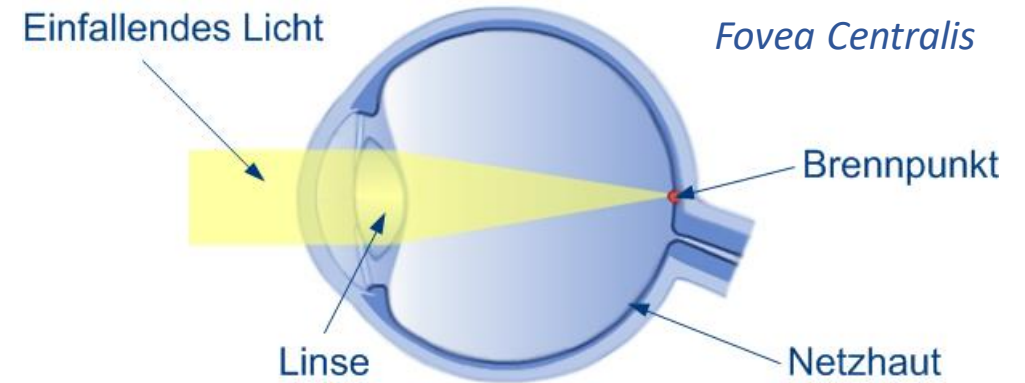
Anmerkungen:

- Raumwinkel erweitert Konzept des Bogenmaßes (Radiant, rad) auf 3D (Steradian, sr)
 - Flächenstückchen auf Einheitskugel
- Def. Basiseinheit Candela:
 - Lichtstärke einer Strahlungsquelle, die in einer bestimmten Richtung monochromatisches Licht der Vakuum-Wellenlänge 555nm aussendet mit Strahlstärke 1/683 W/sr
- Lichtstärke I gemessen in Candela (Lichtstrom Φ pro Raumwinkel: $\text{cd} = \text{lm/sr}$)
- Leuchtdichte (luminance, [cd/m²]):

$$L = dI / (dA \cdot \cos(\alpha))$$
 - Beschreibt Helligkeit von flächenhaften Lichtquellen
- Lichtstrom Φ (luminous flux) bezieht sich auf Auge und berücksichtigt dessen wellenlängenabhängige Empfindlichkeit
 - Wahrgenommene Lichtmenge pro Sekunde ($[\Phi] = \text{lm}$)

Menschliches Auge

- Durch Linse gebrochenes Licht fällt ins Auge
 - Brennpunkt ist Ort des schärfsten Sehens
- Lichtenergie umgewandelt in neuronale Reize
 - Netzhaut enthält dazu Stäbchen und Zapfen
 - Höhere Auflösung für Helligkeit als für Farbe
 - Kanten werden besser anhand der Helligkeit erkannt
 - Unterschiedliche Auflösung für verschiedene Farben
 - Besonders schlecht: Blau
 - Farbabhängige Helligkeitsempfindung
 - Grün wirkt heller, blau dunkler
- Verarbeitung der Reize durch Gehirn
 - Farb-/Helligkeitsempfinden auch von Umgebung beeinflusst



Stäbchen und Zapfen (Farbsehen)

- Nachtsehen (skotopisch): Stäbchen (R)

- Rods (Stäbchen) außerhalb Fovea Centralis
- Kein Farbsehen und geringere Sehschärfe

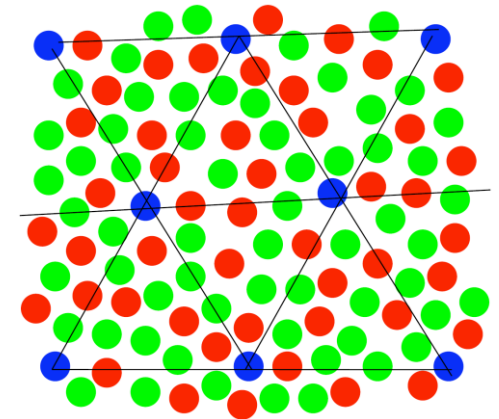
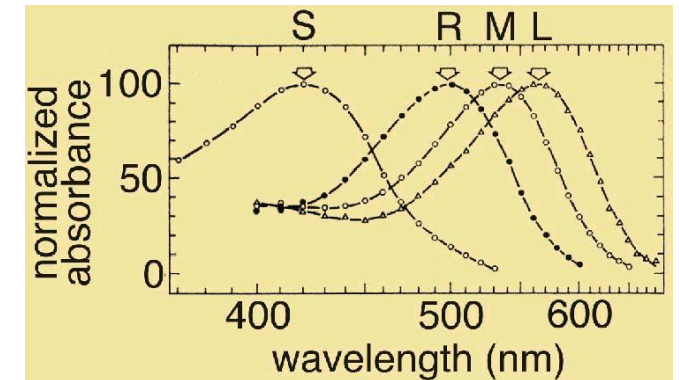
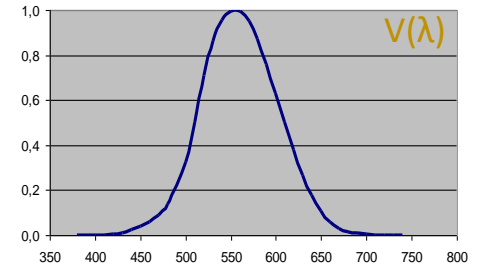
- Tagsehen (photopisch): Zapfen

- Hellempfindung der Zapfen im Bereich von 555 nm (gelbgrün) am größten

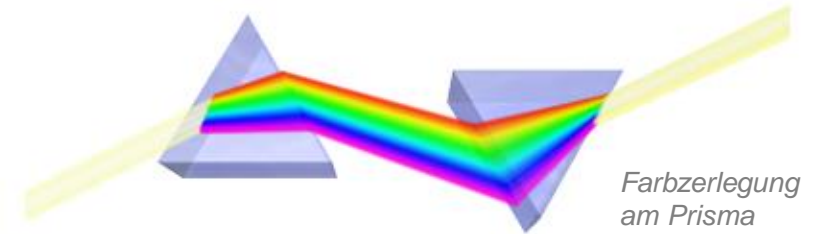
- Fotometrische Größen durch Gewichtung radiometrischer Größen mit spektraler Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$

- Beantwortet, wie hell etwa Tisch erscheint oder Lampe leuchtet

- 10% S-Rezeptoren: Blau
- 48% M-Rezeptoren: Grün
- 42% L-Rezeptoren: Rot



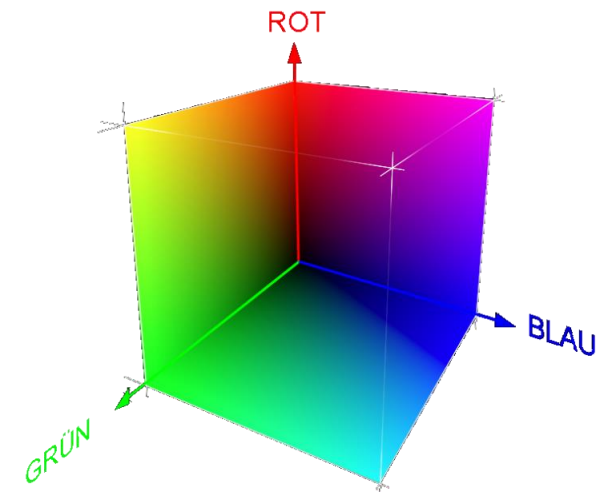
Was ist Farbe?



- Physikalische Sicht
 - Spektralfarben = "Regenbogenfarben" (eine Wellenlänge)
 - Frequenz f in Hz bzw. Wellenlänge λ zw. 380 u. 780 nm
 - Rest: Überlagerung mehrerer Frequenzen (reale Farben entsprechen Frequenzspektrum)
- Physiologische Sicht
 - Jeder Farbeindruck (Farbvalenz) durch Mischung aus max. 3 Grundgrößen eindeutig reproduzierbar (1. Grassmansches Gesetz, 1853)
 - Visueller Apparat: Drei Primärvalenzen entsprechend der drei Zapfentypen
 - Metamerie
 - Zwei Farbreize sind gleich, falls Erregungszustände der Farbzapfen gleich sind (können durch unterschiedliche Spektren erzeugt werden)
- Psychologische Sicht
 - Rot z.B. bedeutet in unserem Kulturkreis Anhalten, Gefahr, Fehler, Alarm, Hitze

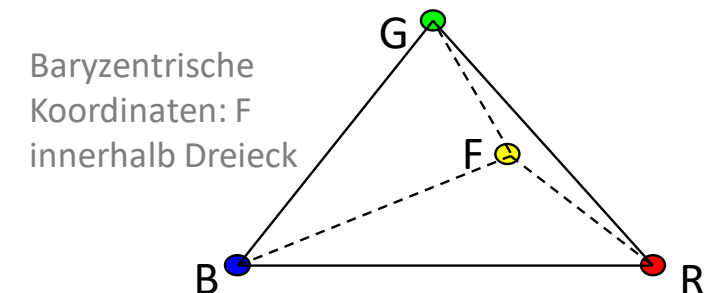
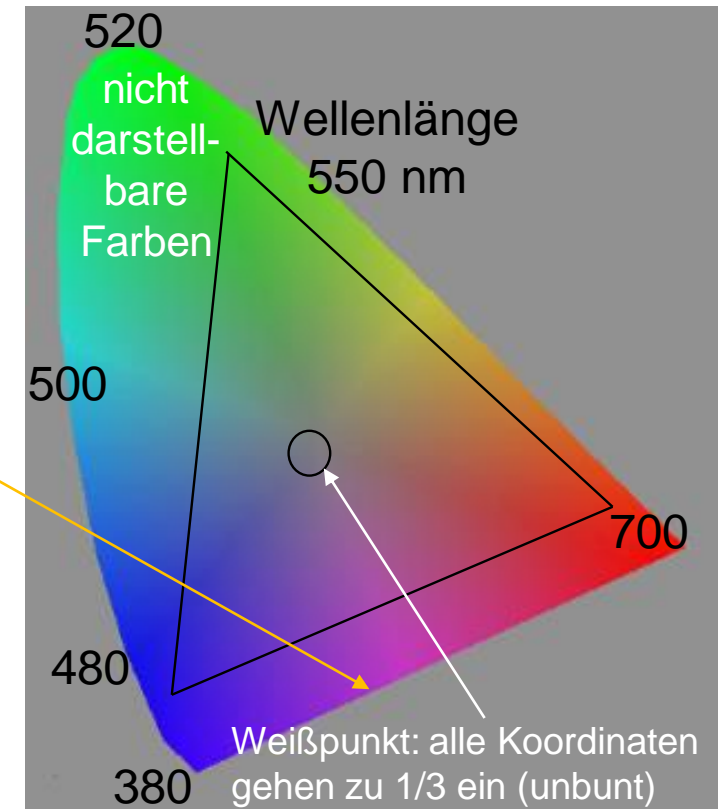
Rechnen mit Farben

- Farben als Vektoren eines 3D-Vektorraumes auffassbar
 - *Vektoren* des Farbraums heißen *Farbvalenzen* (Farbeindruck)
 - Lassen sich aus drei Primärvalenzen zusammensetzen
 - → Hirn wertet Reizantwort der drei Farbrezeptoren aus
 - *Länge* des Vektors heißt *Farbwert* (Maß für Leuchtdichte L)
 - *Richtung* bestimmt *Farbart*
- Primärvalenzen: drei linear unabhängige Basisvektoren
 - Linear unabhängig: keine Primärvalenz darstellbar durch Mischen der anderen
 - Mit Farbvalenzen kann man wie mit Vektoren rechnen
 - Eigenschaften: Linearität, Additivität...
 - Damit Umrechnung der Darstellung bzgl. verschiedener Primärvalenztripel möglich (Basiswechsel)
 - Erlaubt Umrechnung zwischen verschiedenen Farbmodellen



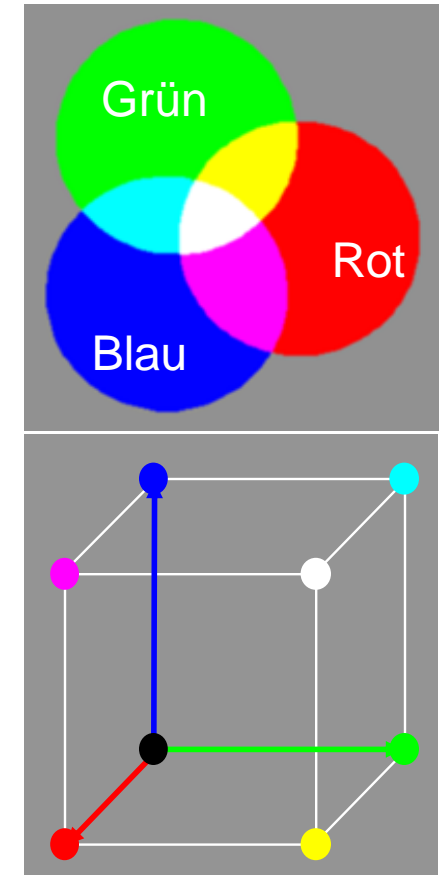
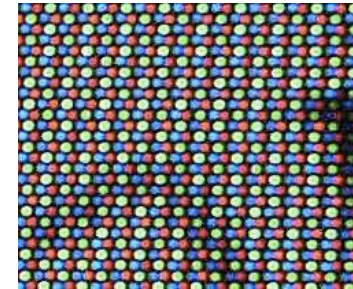
Darstellung in Farbtafel

- Spektralfarben auf Bogen
 - Rot-Blau-Mischung auf Purpurlinie
- Ordnungsprinzip
 - Mischfarben liegen auf Verbindungsgeraden
 - Farbtafel berücksichtigt nicht Luminanz (Helligkeit)
 - Dreieck umschließt mögliche Mischfarben aus 3 Primärvalenzen (innere Farbmischung)
 - Gleichung auf Basis der (zunächst beliebigen, aber i.d.R. technisch gegeben) Primärvalenzen R, G, B
 - $F = rR + gG + bB$
 - Farbwerte r, g, b durch Experiment gewonnen
 - Werden verändert, bis Farbton getroffen wird



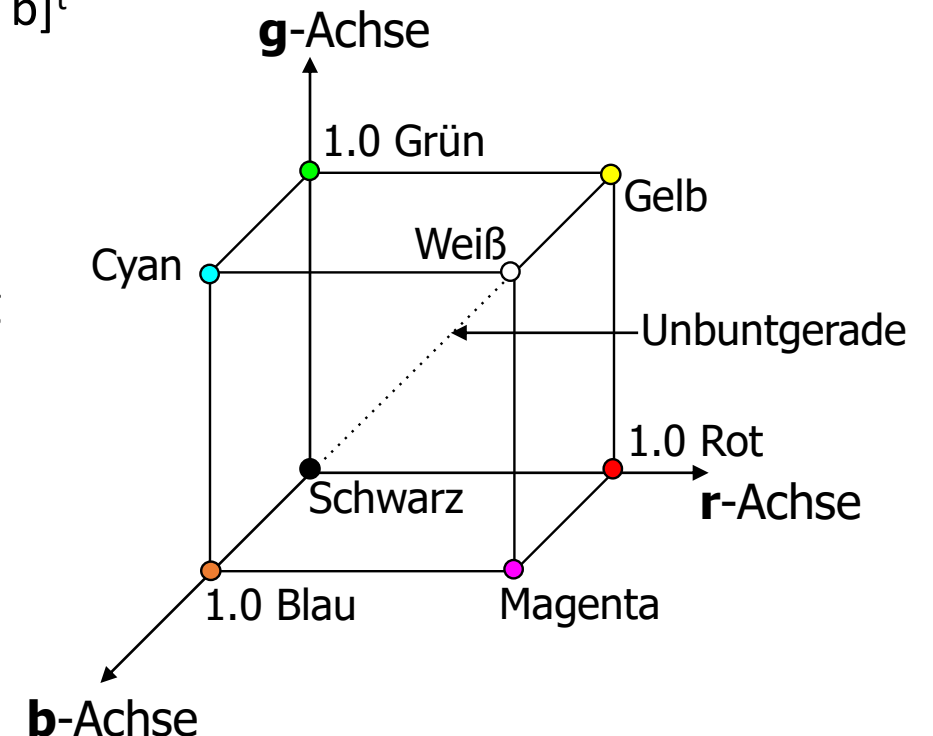
Farbmodell RGB

- Mischung von farbigem Licht
 - Grundfarben Rot, Grün, Blau (technisches Farbmodell)
 - Additive Farbmischung
 - Innere Farbmischung (Koeffizienten immer positiv)
 - Projektion der Primärvalenzen auf dieselbe Fläche
- Einsatzgebiete
 - Wiedergabe über Monitor
 - Valenzen durch Leuchtstoffe bestimmt
 - Aufnahme mit Kamera
 - Valenzen durch Farbfilter bestimmt
- 3D-Farbraum mit kartesischen Koordinaten
 - Mischung entspricht vektorieller Addition



RGB-Farbraum

- 3D-Farbraum – Koordinatenwerte liegen zwischen 0 und 1 (bei float) bzw. 0 bis 255 (uint8_t)
- Farbe auf der Oberfläche des Würfels oder im Inneren
- Farbe wird durch einen 3D Vektor beschrieben: Farbe = $[r, g, b]^t$
 - Beispiel: Rot = $(1, 0, 0)^t$
 - Ursprung (geringste Helligkeit): Schwarz $(0, 0, 0)^t$
 - Maximale Helligkeit?
- Zusammensetzung einer Farbe durch additive Farbmischung
 - Gelb = Rot + Grün = $(1,0,0)^t + (0,1,0)^t = (1,1,0)^t$
 - Blasses Gelb $\approx (0.5,0.5,0)^t$
 - Weiß = Rot + Grün + Blau = $(1,1,1)^t$
 - Magenta = $(1,0,1)^t$
 - Mausgrau $\approx (0.42,0.42,0.42)^t$ 😊



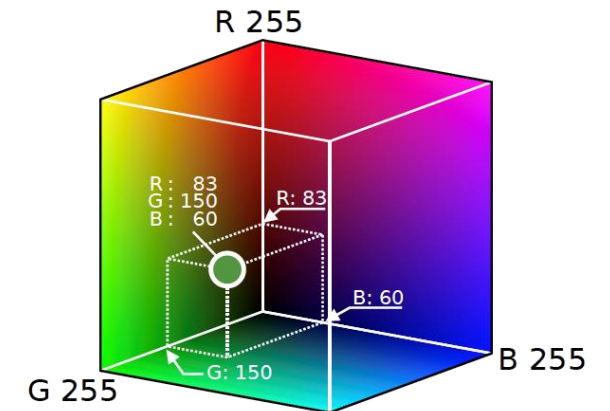
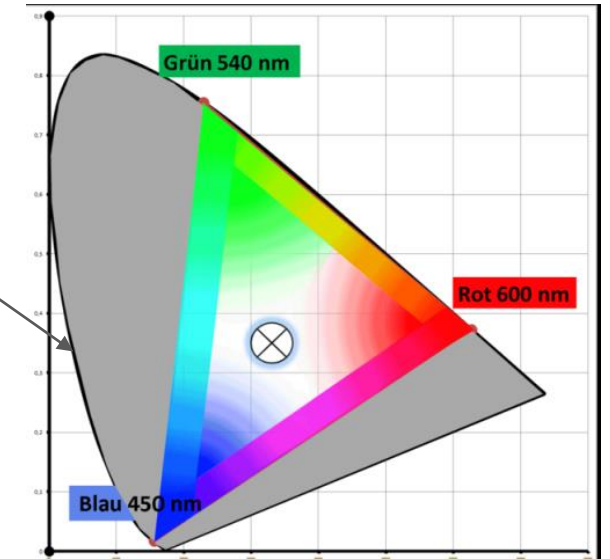
RGB-Monitor

- Farbe durch additive Mischung der Farben Rot, Grün, Blau
 - Schwarz = (0,0,0)
 - Weiß = (255,255,255) *
 - R = (255,0,0), G = (0,255,0), B=(0,0,255)
- Jeder Rasterpunkt besteht aus drei Bildpunkten
 - Beschränkte Ortsauflösung des Auges führt zur Wahrnehmung als ein Farbreiz
- Pixel besteht aus RGB-Tripel
 - Pro Komponente i.d.R. 8 Bit (unsigned char), damit $2^8 = 256$ Stufen
 - 24 Bit, d.h. insgesamt 256^3 (ca. 16 Mio.) mögl. Farbkombinationen

* bzw. (1.f, 1.f, 1.f), falls auf [0, 1] (und damit Float-Werte) normiert

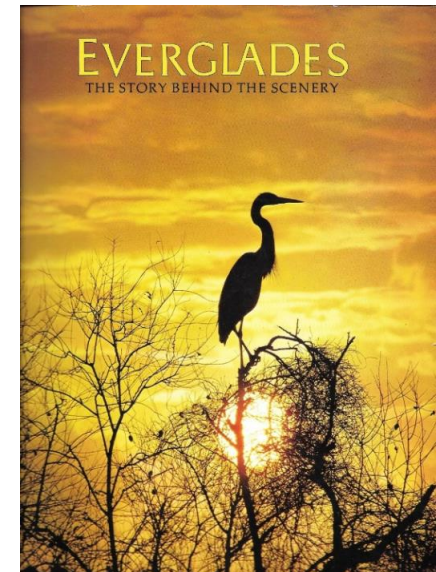
h_da

Spektralvalenzkurve



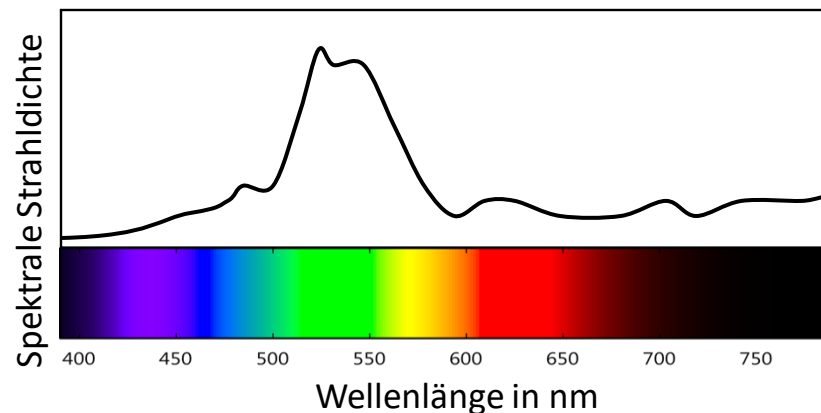
Übung 1

- Das Bild wurde je in einen Rot-, Grün- und Blaukanal zerlegt
 - Welche Farbe hat der Schriftzug „EVERGLADES“?
 - Welche Farben haben der Himmel, die Sonne und der Vogel?

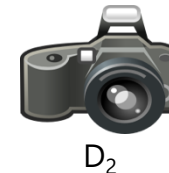


Was sagen Farbwerte von Fotos aus?

- Dreidimensionale Bewertung von Lichtspektren durch sog. Sensorantwortkurve d. Kamera
 - Antwortkurven geräteabhängig, RGB-Werte verschiedener Kameras daher nicht miteinander vergleichbar
 - Nicht identisch zur menschl. Farbwahrnehmung
 - Zur Normierung Umrechnen in Farbsystem wie XYZ, das theor. alle Farben darstellen kann



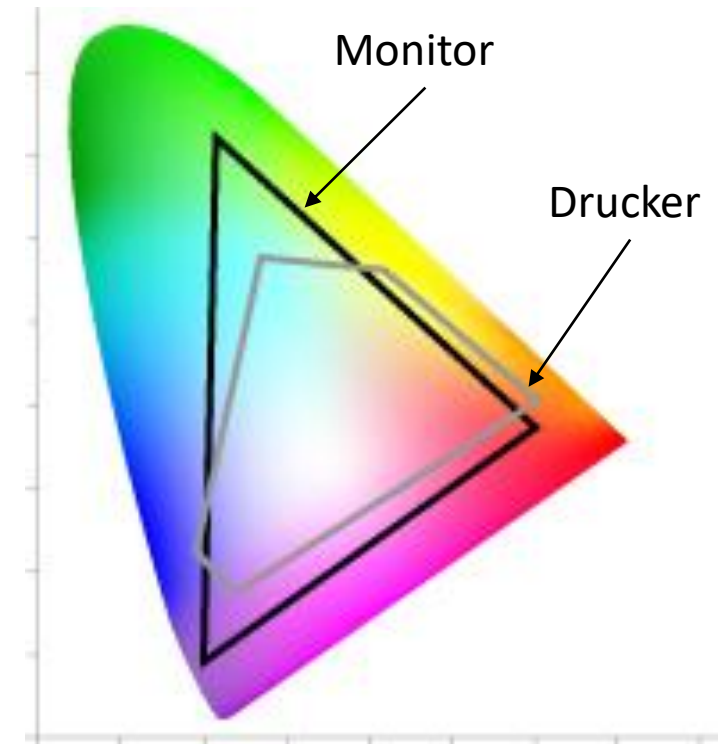
R:0.56
G:0.98
B:0.07



R:0.40
G:0.93
B:0.26

Farb-Gamut

- Gamut: Menge aller Farben, die Gerät (Monitor, Drucker, Kamera...) darstellen bzw. aufzeichnen kann
 - Bereich im Farbraum, der mit Gerät durch innere Farbmischung verfügbar ist
 - Innerhalb Spektralvalenzkurve
- Nicht alle Geräte können gleiche Farben darstellen
 - Farben erscheinen auf verschiedenen Geräten unterschiedlich
 - Drucker hat i.d.R. kleineren Farbraum als Monitor
 - Software, die dafür sorgt, dass Bildschirmfarben möglichst äquivalent gedruckt werden, heißt Farbmanagementsystem



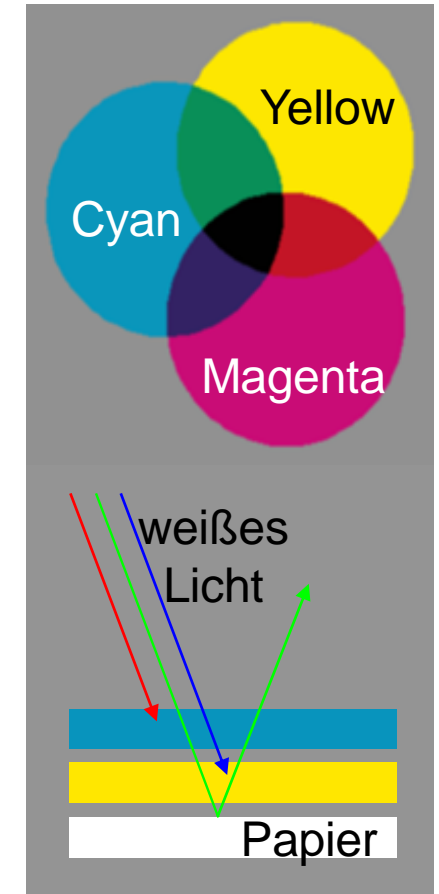
Farbmodell CMY(K)

- Mischung von Farbstoffen (Farbfiltern)
 - Grundfarben: **Cyan**, **Magenta**, **Yellow** (u. ggfs. **black**)
- Subtraktive Farbmischung
 - Beleuchtung mit weißem Licht
 - Cyan absorbiert R, reflektiert G und B
 - Magenta absorbiert G, reflektiert R und B
 - Yellow absorbiert B, reflektiert R und G
- Mischung von CMY ergibt (fast) Schwarz
 - Schwarz als 4. Grundfarbe wegen Unsauberkeit
- Einsatzgebiet: Wiedergabe über Drucker
 - Probleme: geringere Farbsättigung als Bildschirm, schlechtere Dosierbarkeit
 - Weißes Papier reflektiert bei guter Qualität i.A. alle Farben
- Zum RGB-Würfel komplementäres Modell
 - $(R,G,B) = (1.f, 1.f, 1.f)^* - (C,M,Y)$
 - $(C,M,Y) = (1.f, 1.f, 1.f)^* - (R,G,B)$
 - Komplementärfarben: Farben, die sich im RGB-Farbwürfel gegenüber liegen

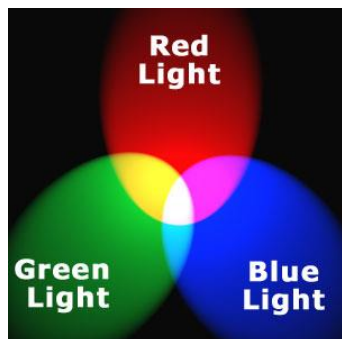
Bei CMYK-Modell wird schwarz (black) als vierte Komponente hinzugefügt, womit Kontraste verbessert werden

Schwarz = $(1,1,1)^t_{CMY} = (0,0,0,1)^t_{CMYK}$

* bzw. (255,255,255), falls nicht auf [0, 1] normiert



RGB und CMY im Vergleich

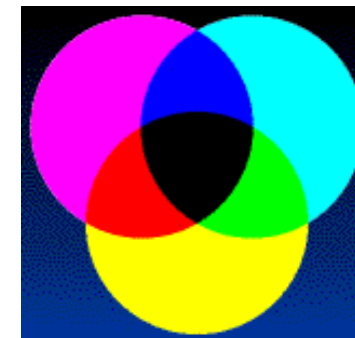


Licht fügt Farbanteile hinzu:

- Bsp.: drei Lampen leuchten im Dunkeln je in rot, grün, blau
- *Addition* von Farbspektren

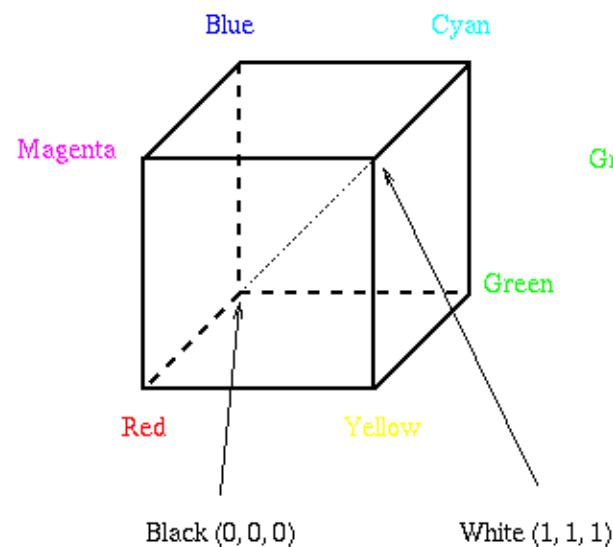
Pigmente entfernen Farbanteile:

- Bsp.: Farbe gelb, cyan, magenta auf weißes Papier pinseln
- *Multiplikation* von Farbspektren

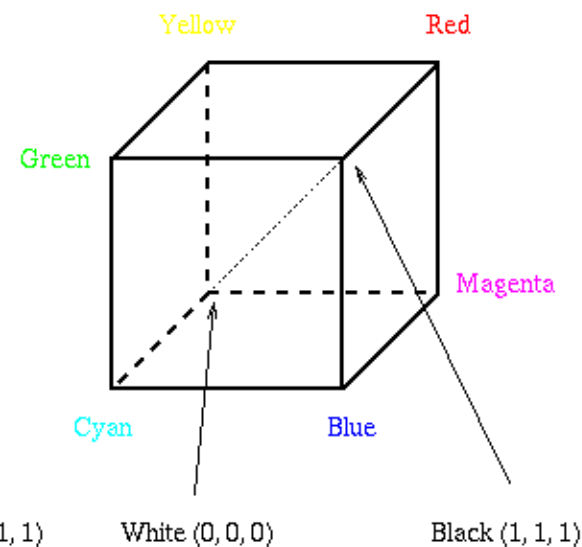


$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$



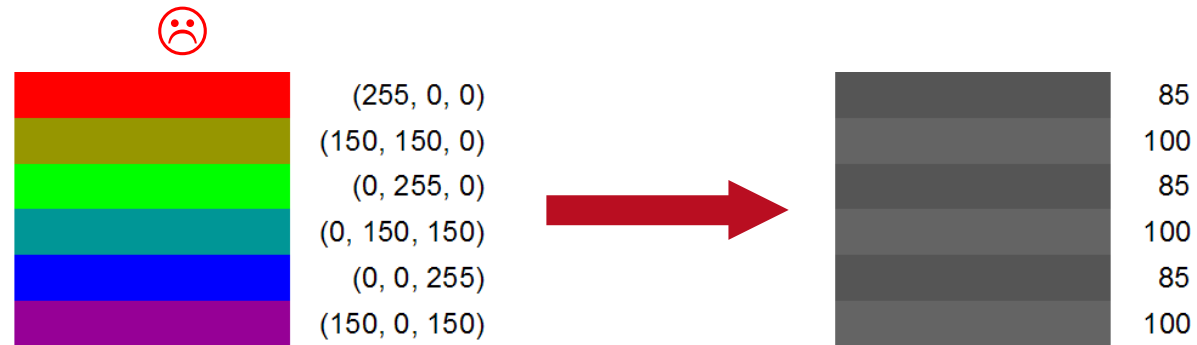
The RGB Cube



The CMY Cube

Konvertierung in Graustufen

- Extraktion der Helligkeitsinformation
 - Ansatz: gleichmäßige Mittelung über RGB-Anteile
 - $L = (R + G + B) / 3$



- Besser angepasst: $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$



Farbmodell YIQ

- Farbbeschreibung durch
 - Luminanz Y (Leuchtdichte, Helligkeit)
 - Entspricht unterschiedlicher Hellempfindung
 - Chrominanz I, Q (Farbart)
 - Auge bei I empfindlicher als bei Q (→ Bandbreite sparen)
 - Umrechnung von RGB nach YIQ:

$$\begin{pmatrix} y \\ i \\ q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

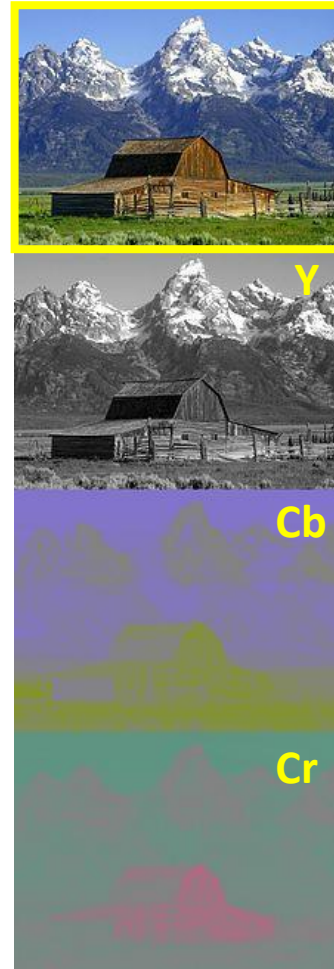
- Ursprünglich Grundlage des NTSC-Systems
 - Farb- und S/W-Fernsehen bleiben kompatibel
 - Luminanz enthält S/W-Information, Chrominanz enthält Farbinformation

Übung 2

- Wieviel Videospeicher benötigt man zur Repräsentation des Framebuffer-Inhalts bei einer Auflösung von 1920×1080 Pixel in RGB-Farben (bei 8 Bit pro Farbkanal)?
 - RGBA hat zusätzlich noch einen Alpha-Kanal zum Speichern von Transparenz-Werten. Wieviel Speicher benötigt man hier?
 - Angabe jeweils in Mebibyte ($1 \text{ MiB} = 1024 \text{ KiB} = 1024 \times 1024 \text{ Byte} = 2^{20} \text{ Byte}$)
- Wie viele Intensitätsstufen lassen sich bei Graustufenbildern pro Pixel darstellen?
- Welche Bedeutung kommt Y (bei YIQ) zu?
- Stellen Sie die Farbe Gelb je in RGB, CMY und YIQ dar!
 - Durch welchen Graustufenwert (8 Bit Integer / unsigned char) wird Gelb dargestellt?

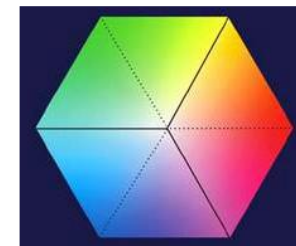
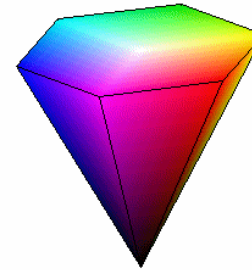
Wahrnehmungsorientierte Modelle

- Hardwareorientierte Farbmodelle (RGB/RGBA, CMY/CMYK) eignen sich nicht zur wahrnehmungsorientierten Modellierung von Farben
- Wir beurteilen Farben nach Farbigkeit (Chrominanz) und Helligkeit (Intensität)
- Basierend darauf wurde YCbCr-Farbmodell (europäisches PAL-System) – genau wie YIQ-Modell – für die Fernstechnik entwickelt
 - Ziel war es, aus Farbbildern schnell vernünftige Grauwertbilder zu erzeugen
 - Wird auch heutzutage noch für JPEG- und MPEG-Komprimierung verwendet
- HSV-Farbmodell hat Ziel, die menschliche Farbwahrnehmung abzubilden
- Dabei wird zwischen folgenden Farbeigenschaften unterschieden:
 - Farbton (Teil der Chrominanz)
 - Sättigung (Teil der Chrominanz, der den „Weiß-Anteil“ der Farbe beschreibt: Rosa hat z.B. eine geringe Sättigung, Signalrot eine hohe Sättigung)
 - Helligkeit

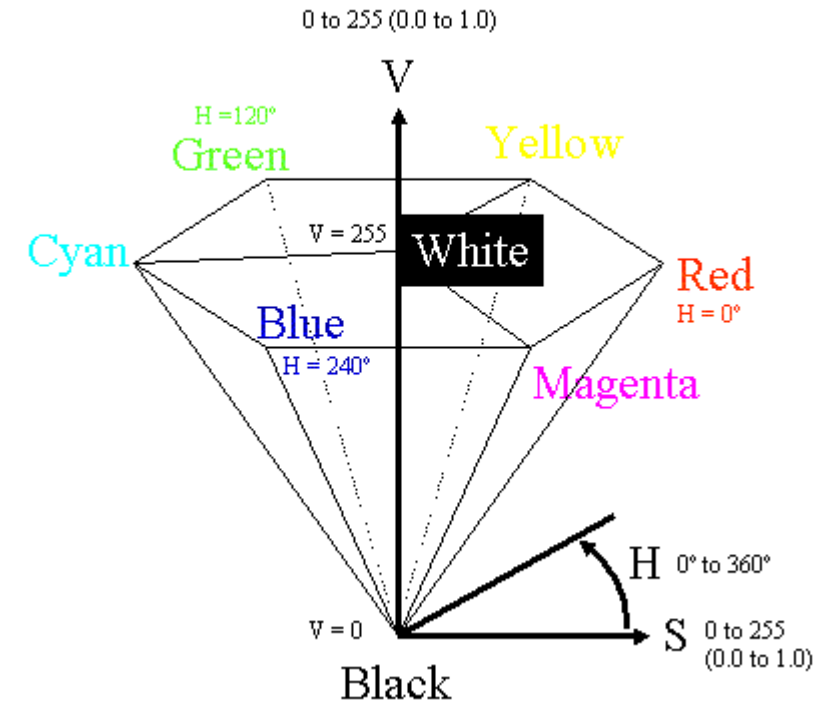


Farbmodell HSV/HSB

- Grundgrößen:
 - Hue (Farbton)
 - Saturation (Sättigung)
 - Value/Brightness (Dunkelstufe)
- Projektion des RGB-Farbwürfels entlang Verbindungslinie Weiß-Schwarz (→ Sechseck)
 - Rand des Sechsecks: Werte für H
 - Abstand von Mittelpunkt: Wert für S
 - Achse der Pyramide: Intensität V
- Anwendungsorientiert
 - Ähnlich zu HSL (aber nur einfacher Kegel)
 - Intuitivere Farbselektion als bei RGB



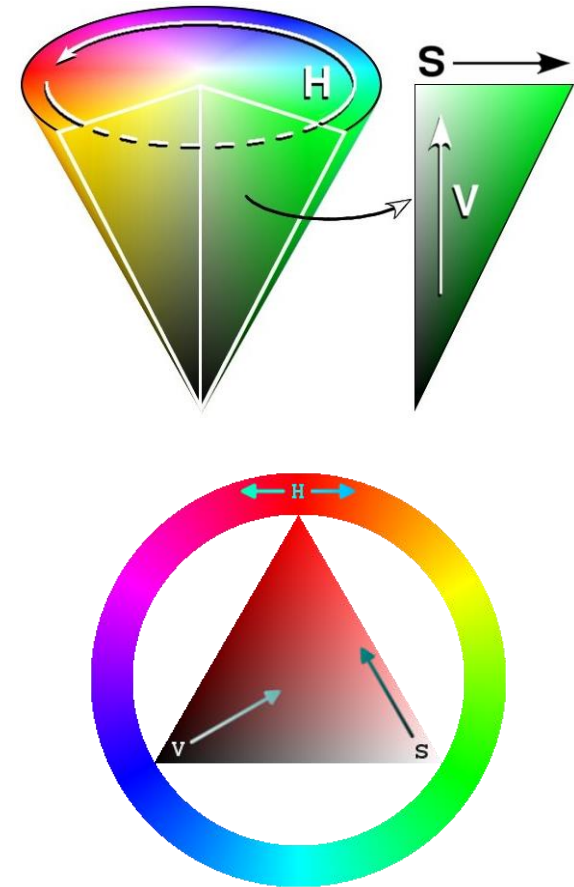
Hue-Saturation-Value Hexcone



Farbraumkonvertierung

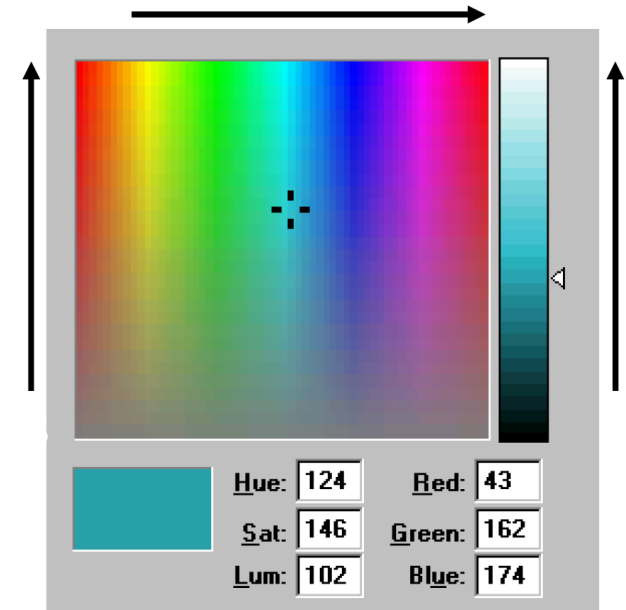
- Umrechnungsalgorithmus RGB \rightarrow HSV (Input: $R, G, B \in [0, 1]$)
 1. $V = \max(R, G, B);$
 $m = \min(R, G, B);$
 $d = V - m;$
 2. $S = (V == m) ? 0 : d / V;$
 3. if $(V == m)$ $H = 0;$
else if $(V == R)$ $H = 60 * (0 + (G - B) / d);$
else if $(V == G)$ $H = 60 * (2 + (B - R) / d);$
else if $(V == B)$ $H = 60 * (4 + (R - G) / d);$
 4. if $(H < 0)$ $H += 360;$
- Umrechnungsbeispiele (Output: $H \in [0^\circ, 360^\circ[; S, V \in [0, 1]$)

Schwarz _{RGB} :	(0, 0, 0)	\rightarrow	(0, 0, 0)
Weiß _{RGB} :	(1, 1, 1)	\rightarrow	(0, 0, 1)
Gelb _{RGB} :	(1, 1, 0)	\rightarrow	(60, 1, 1)



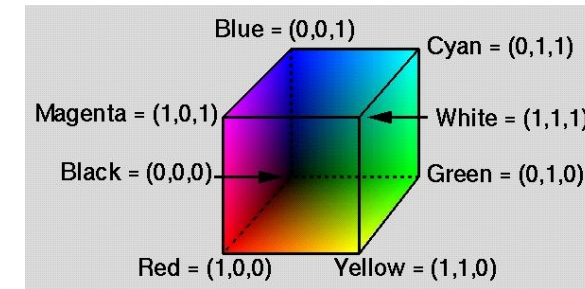
Einschub: Farbmodell HSL

- Anwendungsorientiert
 - (1) Farbton/Hue als Winkel
 - Dominante Farbe (Winkel zwischen 0 u. 360° auf Farbkreis)
 - (2) Helligkeit/Luminance (0..1)
 - Dunkel- oder Hellgrad einer Farbe (Lightness)
 - $L = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$
 - (3) Sättigung/Saturation (0..1)
 - Hochgesättigte Farben haben keinen oder kaum Weißanteil
- Umrechnungsalgorithmus RGB → HSL
 1. V, m, d und H wie bei HSV
 2. $L = (V + m) / 2;$
 3. $S = (V == m) ? 0 : d / (1 - \text{abs}(V + m - 1));$



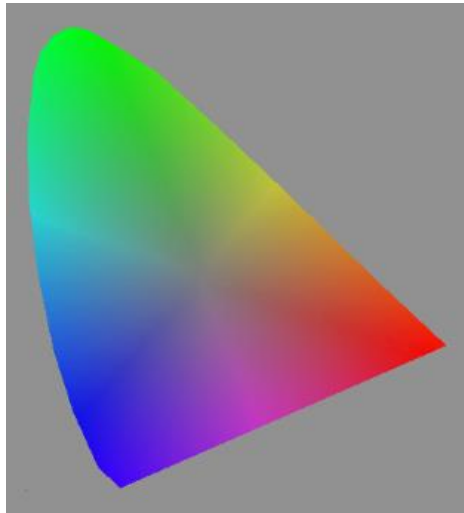
Farbinterpolation (RGB vs. HSV)

- RGB-Parametrierung für Wahrnehmung nicht linear
 - Kleine Distanzen im RGB-Farbwürfel können große oder auch kaum sichtbare Unterschiede aufweisen
 - HSV im Unterschied zu RGB wahrnehmungsorientiert
 - Problem: Lineare Interpolation liefert bei RGB und HSV je unterschiedliche Ergebnisse
- Beispiel
 - Mittlerer Wert linear in RGB interpoliert und umgerechnet
 - RGB: (80, 120, 40); (120, 180, 100); (160, 240, 160)
 - HSV: (90, 0.6667, 0.4706);
(105, 0.4444, 0.7059);
(120, 0.3333, 0.9412)
 - Mittlerer Wert in HSV interpoliert
 - (105, 0.5, 0.7059)
→ entspricht RGB (113, 180, 90) \neq (120, 180, 100)

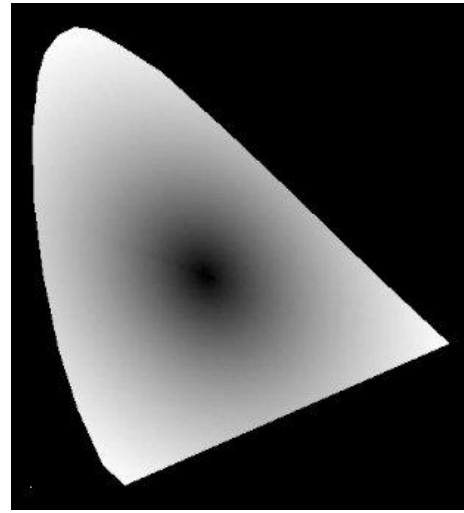


Übung 3 (Zerlegung in HSV-Kanäle)

- Geben Sie an, welches Grauwertbild welchen HSV-Kanal abbildet!



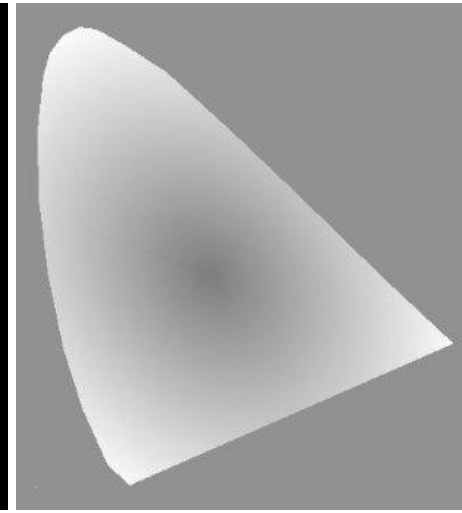
Farbbild



Zerlegung des Farbbildes in die drei Kanäle des HSV-Modells

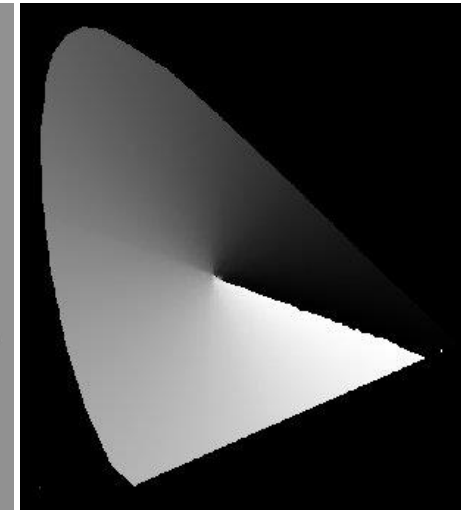
Sättigung (S):

Da Hintergrund im Farbbild grau ist, d.h. Ungesättigt (schwarz)



Helligkeit (V):

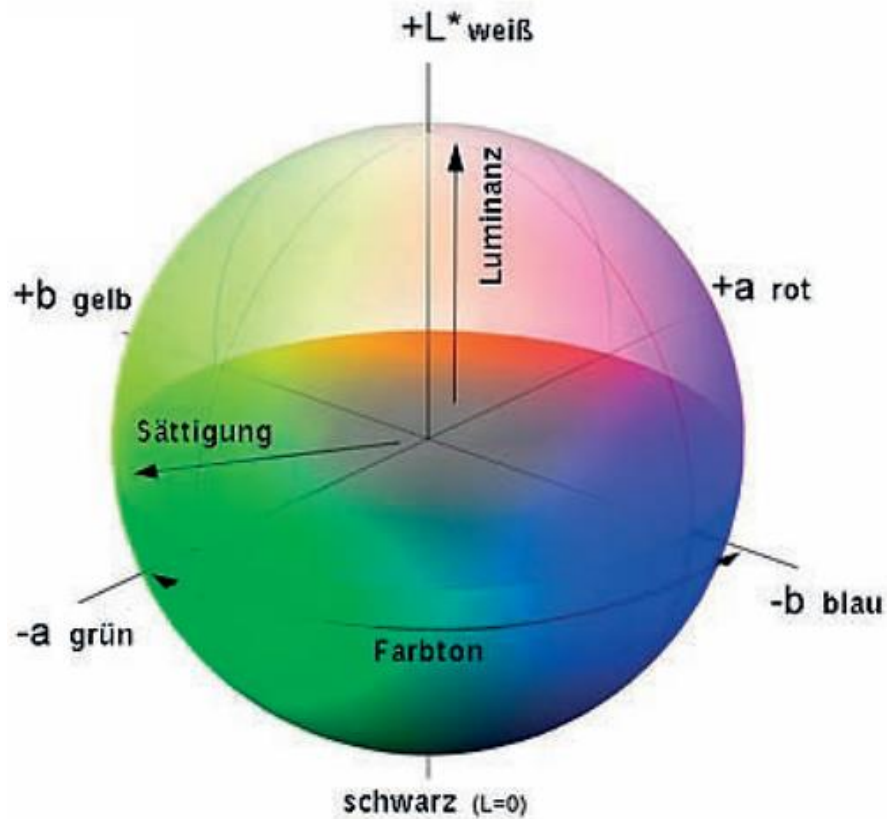
Sieht aus wie das Bild nur in Graustufen



Farbe (H):

Im Rotbereich sieht man den Übergang 0 zu 360 Grad

CIELab-Farbraum



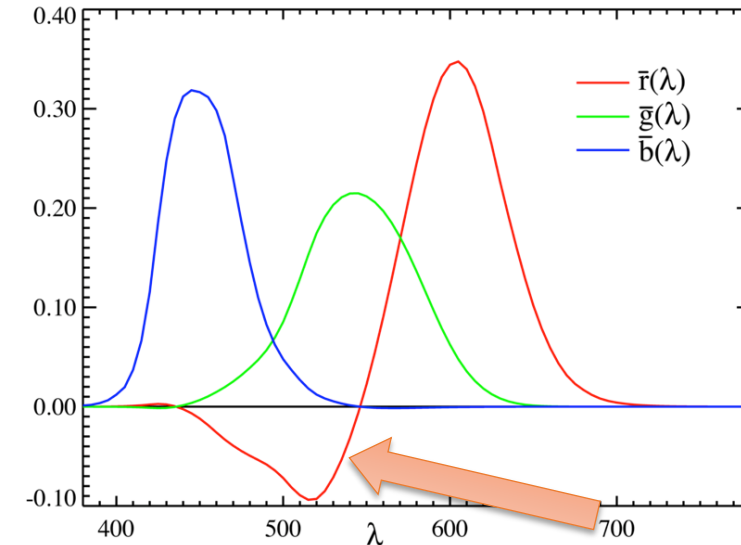
- Wahrnehmungsorientierter, geräteneutraler Farbraum
- Teilt Farbinformation ein in:
 - L^* = Helligkeit (0 = Schwarz, 100 = Weiß)
 - a^* = Rot - Grün (-128 = Grün, +127 = Rot)
 - b^* = Gelb - Blau (-128 = Blau, +127 = Gelb)
- Vorteil des CIELab-Farbraums:

Je geringer der geometrische Abstand zwischen zwei Farbpunkten ist, desto ähnlicher sind sich die Farben

 - Dieses Verhältnis von Länge zur Wahrnehmung ist bei CIELab linear (im Gegensatz z.B. zum CIE XYZ-Raum)

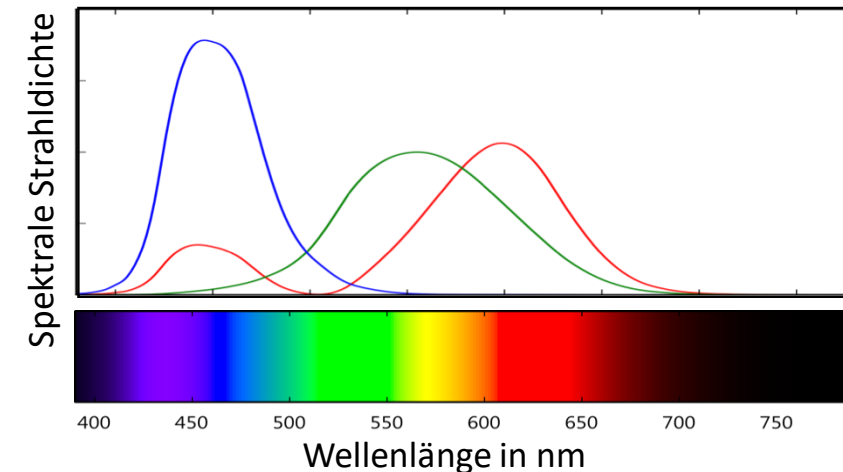
Exkurs: Spektralwertkurven

- Farbwerte der Spektralfarben heißen Spektralwerte
 - Spektralwertkurven geben Betrag der drei Primärvalenzen an, der nötig ist, alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums zu erzeugen
 - Problem: aus Primärvalenzen ($R = 700\text{nm}$, $G = 546\text{nm}$, $B = 435\text{nm}$) sollen alle reinen Spektralfarben gemischt werden
- Spektralwertkurven enthalten dabei negative Farbwerte
 - Farben im Bereich 500 nm nur durch **Subtraktion** des Rotanteils erzeugbar (nicht durch additives Mischen)
 - Farbgleichheit lässt sich nur herstellen, wenn man zur gegebenen Farbvalenz Primärvalenzen hinzumischt
 - \rightarrow Äußere Farbmischung: $F + r R = g G + b B \rightarrow F = -r R + g G + b B$
 - RGB-Modell kann solche Farben technisch nicht darstellen



Exkurs: CIE-Normvalenzsystem

- Von Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) 1931 vorgeschlagen
 - Definiert hypothetische Primärvalenzen X, Y, Z mit nur positiven Spektralwertkurven
- Modelliert menschliche Farbwahrnehmung
 - Spektrale Empfindlichkeit der L-, M- u. S-Zapfen
 - Normspektralwerte $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$
 - Beschreibt sämtliche physikalisch möglichen Farbreize C durch XYZ-Farbvalenzen
 - $C = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z}$
 - Vorteil: geräteunabhängiger Farbraum
 - Grundlage praktisch aller colorimetrischen Farbräume



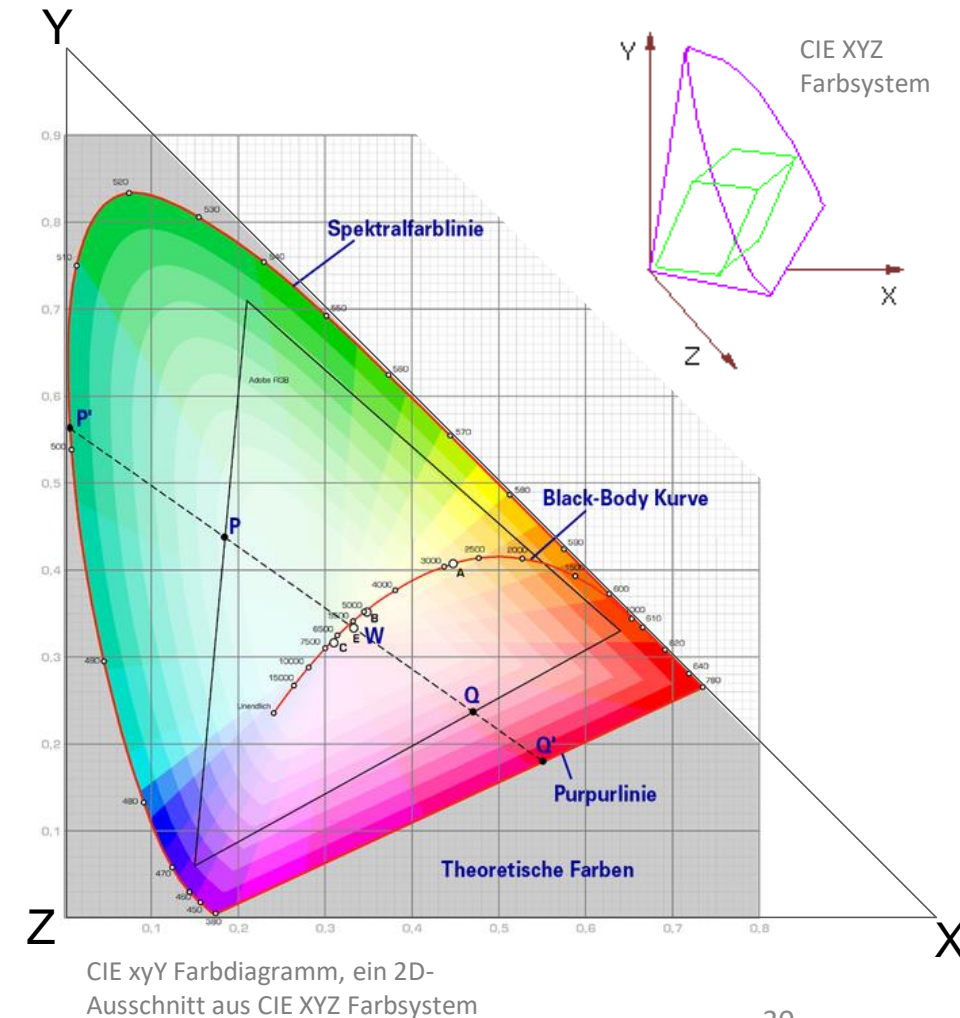
$$X = k \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \varphi_{\lambda} \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \varphi_{\lambda} \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \cdot \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \varphi_{\lambda} \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Exkurs: CIE-Normvalenzsystem

- Tristimulus-System
 - CIE-Primärvalenzen X, Y u. Z spannen Bereich auf, der alle wahrnehmbaren Farben enthält
 - Behebt Problem der Subtraktion
 - Alle sichtbaren Farben hiermit durch innere Farbmischung darstellbar
- Virtualität der Primärvalenzen
 - X, Y, Z außerhalb Spektralfarblinie
 - Damit nicht darstellbar, sondern rein virtuelle Rechengrößen
 - Technisch nicht realisierbar!



Exkurs: Farbmodell XYZ

- Jede Farbe C als Linearkombination der drei Primärvalenzen (Basisvektoren) darstellbar

$$C = xX + yY + zZ$$

- Normierte, baryzentrische Darstellung:

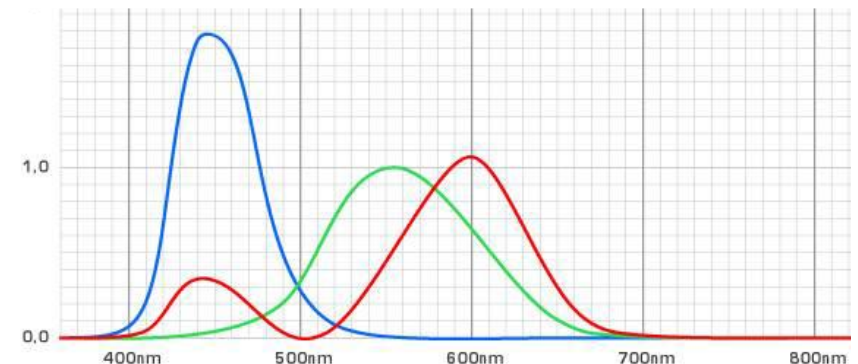
$$x + y + z = 1, \text{ mit } x, y, z \geq 0$$

- Projektion auf des 3D-Farbraums auf Ebene (2D-Darstellung über (x, y) möglich)

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

- Helligkeit / Luminanz Y (> 0) nicht enthalten
 - Erweiterung zu Farbraum xyY

Baryzentrische Koordinaten dienen zur Definition eines Punktes im Bezug auf eine Strecke, ein Dreieck, einen Tetraeder oder allgemeiner einen Simplex. Der Punkt wird dabei als Linearkombination dargestellt.



Vielen Dank!

Noch Fragen?

