

6. Licht, Farbe und Bilder

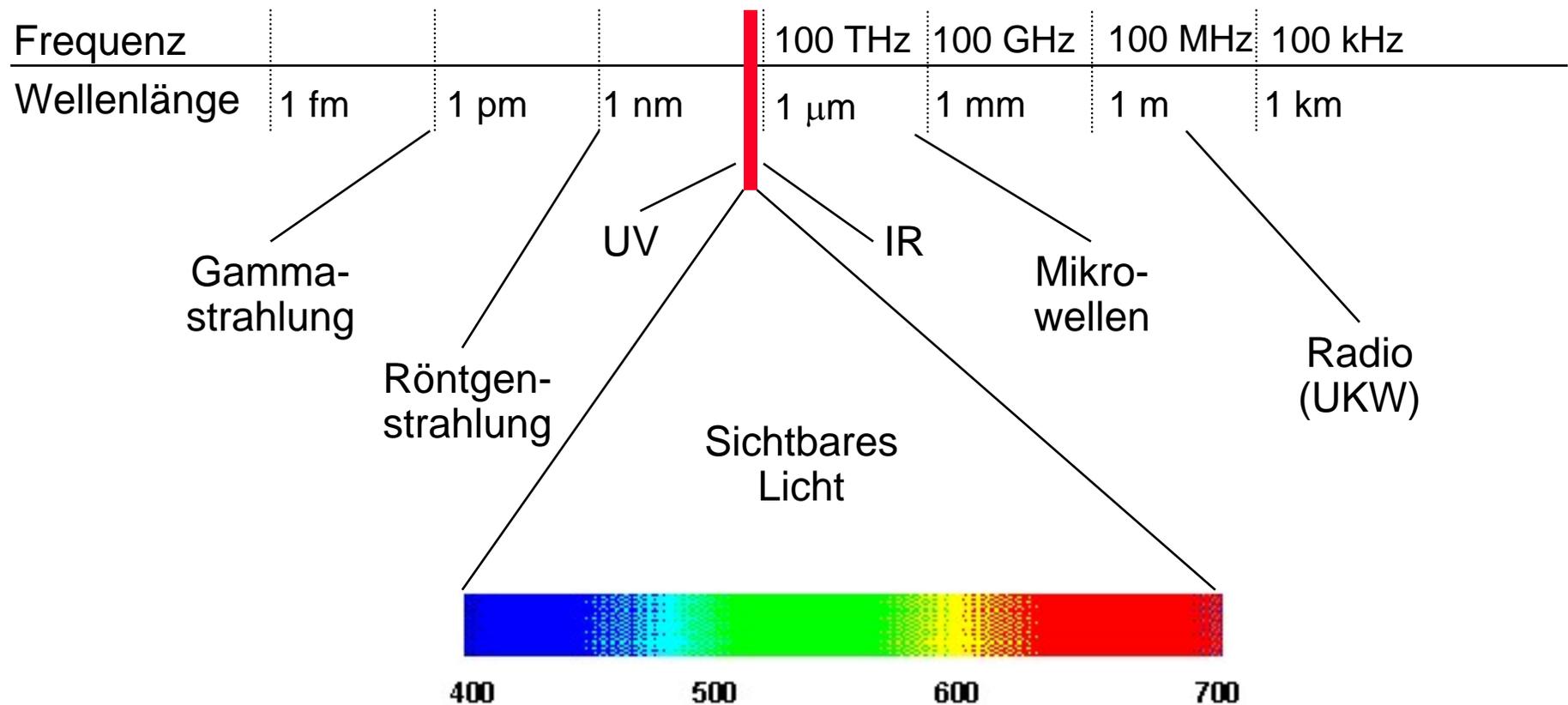
- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression



Licht

- Licht ist elektromagnetische Strahlung
 - Für Menschen sichtbares Licht: Wellenlängen zwischen 380 nm und 780 nm
- Licht hat dualen Charakter:
 - Welle: Brechung, Beugung, Dispersion, Streuung
 - Teilchen (Photonen): Absorption, Emission
- Zusammenhang Wellenlänge – Frequenz:
 - Wellenlänge λ , Frequenz f , Periodendauer T
 - $f = 1 / T$ [Hz]
 - $T = \lambda / c$ [s]
 - $f = c / \lambda$ [Hz]
 - $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s (Lichtgeschwindigkeit)

Spektrum der elektromagnetischen Strahlung



- Reale Strahlungsquellen strahlen fast immer eine Mischung verschiedener Frequenzen aus.
- Die Farbwahrnehmung ist ein rein physiologisches Phänomen. Farben existieren nur im Gehirn, nicht in der Natur.

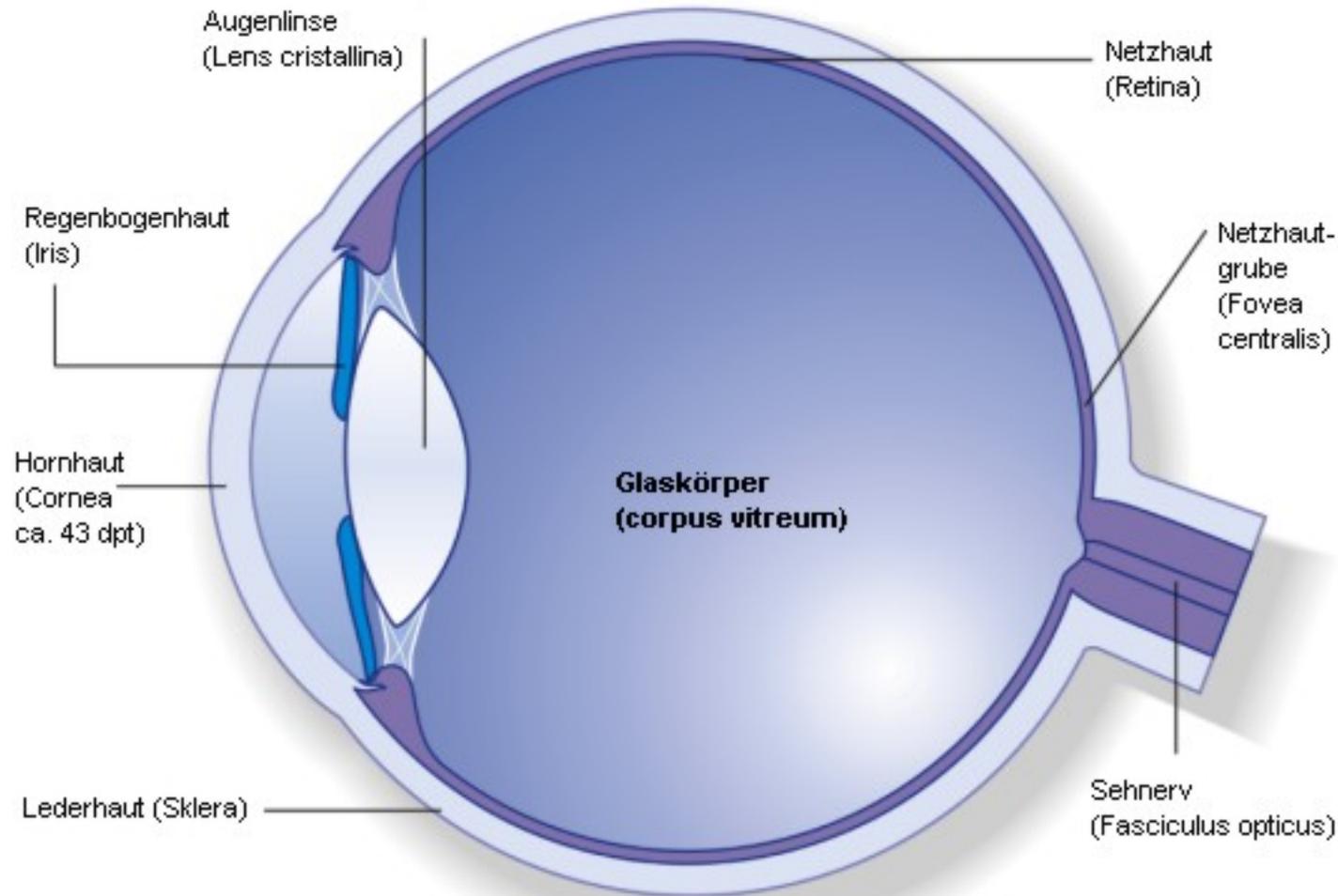
Farbtemperatur

- In einem geschlossenen Hohlraum stellt sich eine elektromagnetische Strahlung genau berechenbarer Spektralverteilung ein, die nur von der Temperatur des Hohlraums abhängt.
- Idealer Schwarzer Körper: Strahlt abhängig von der Temperatur genau mit der Spektralverteilung eines geschlossenen Hohlraums
- Farbtemperatur (für selbstleuchtende Objekte): Temperatur, bei der ein Schwarzer Körper in der gegebenen Farbe strahlt.
- Farbtemperatur wichtiger Lichtquellen:
 - Glühbirne 2200 K
 - Leuchtstoffröhre 4400 K
 - Sonnenlicht im Sommer 5500 K
- Subjektiv wahrgenommene Farben hängen von der Farbtemperatur der Beleuchtung ab.

Eigenschaften von Licht

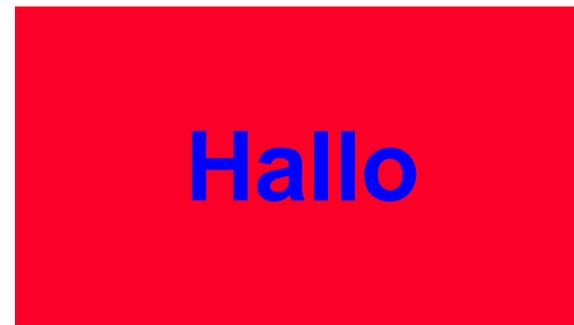
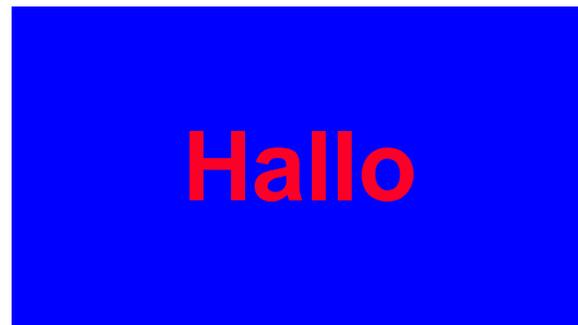
- Geradlinige Ausbreitung
- Reflexion: Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Oberflächen reflektieren unterschiedlich:
 - Reflexionskoeffizient (abhängig von der Wellenlänge)
 - Rauigkeit
- Optische Dichte von Materie, Beugung:
 - Brechungsindex beschreibt niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber Lichtgeschwindigkeit
 - Bei Eintritt in optisch dichtere Materie erfolgt Beugung des Lichtstrahls zur Senkrechten
 - Dispersion: Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge (Regenbogeneffekt)
 - Totalreflexion: Kein Licht dringt ein, alles wird reflektiert

Das menschliche Auge

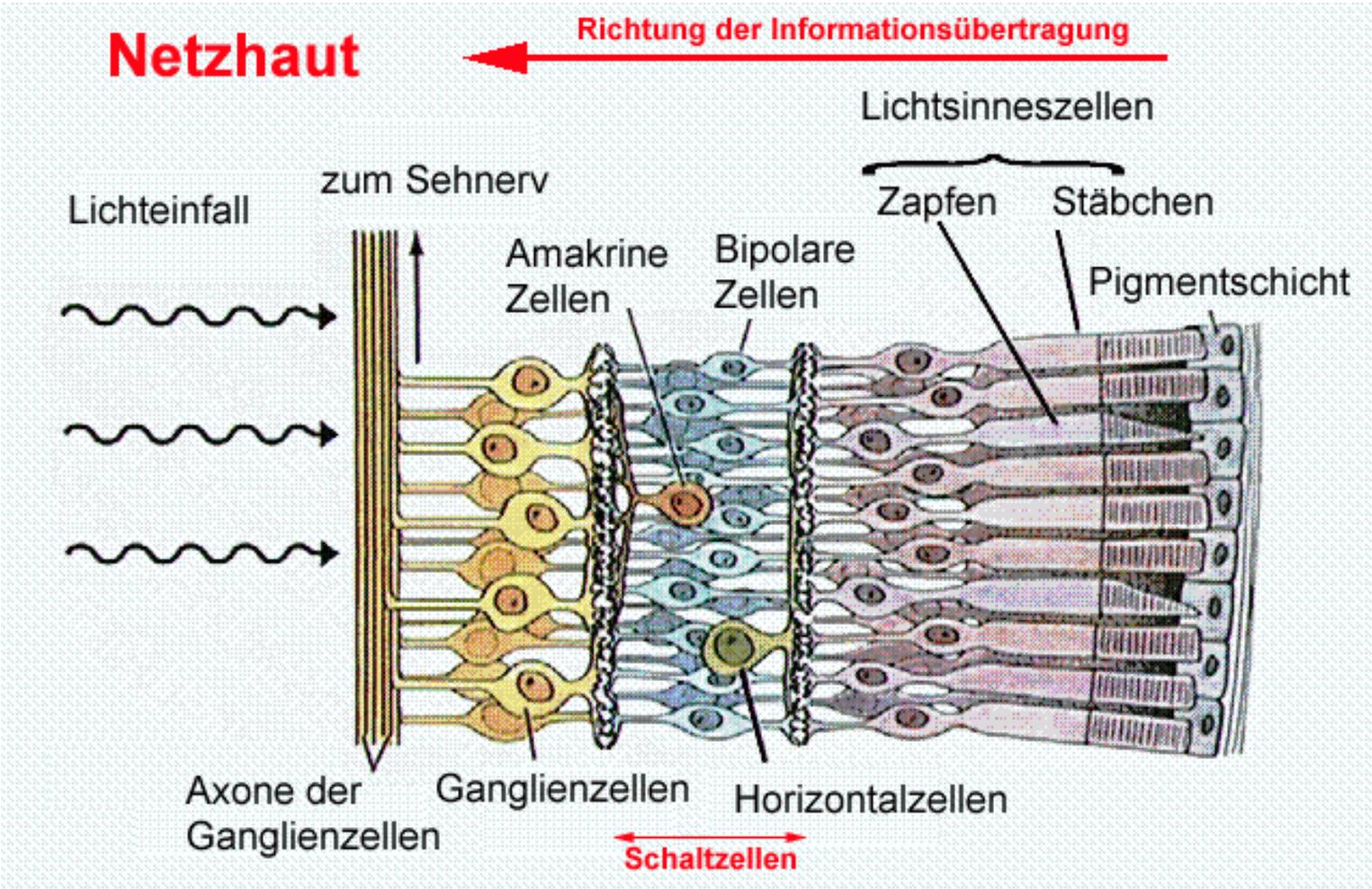


Beugung und Farbgestaltung

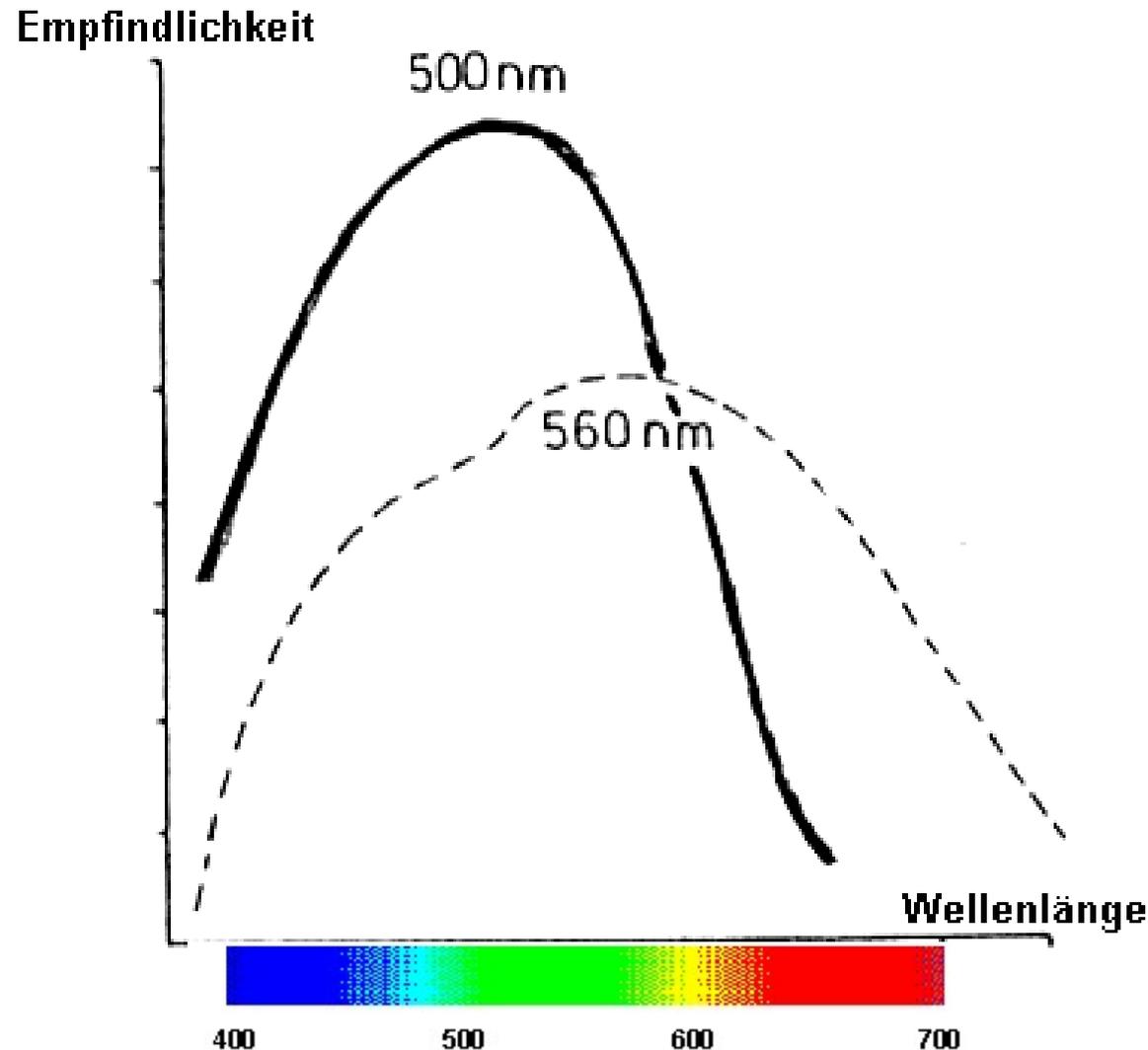
- Brennweite der Augenlinse ist abhängig von der Wellenlänge
 - groß im roten Bereich
 - klein im blauen Bereich
- Betrachtung eines Bildes mit roten und blauen Bereichen:
 - Auge ermüdet
- Rot vor blauem Hintergrund und umgekehrt vermeiden!



Die Netzhaut (Retina)

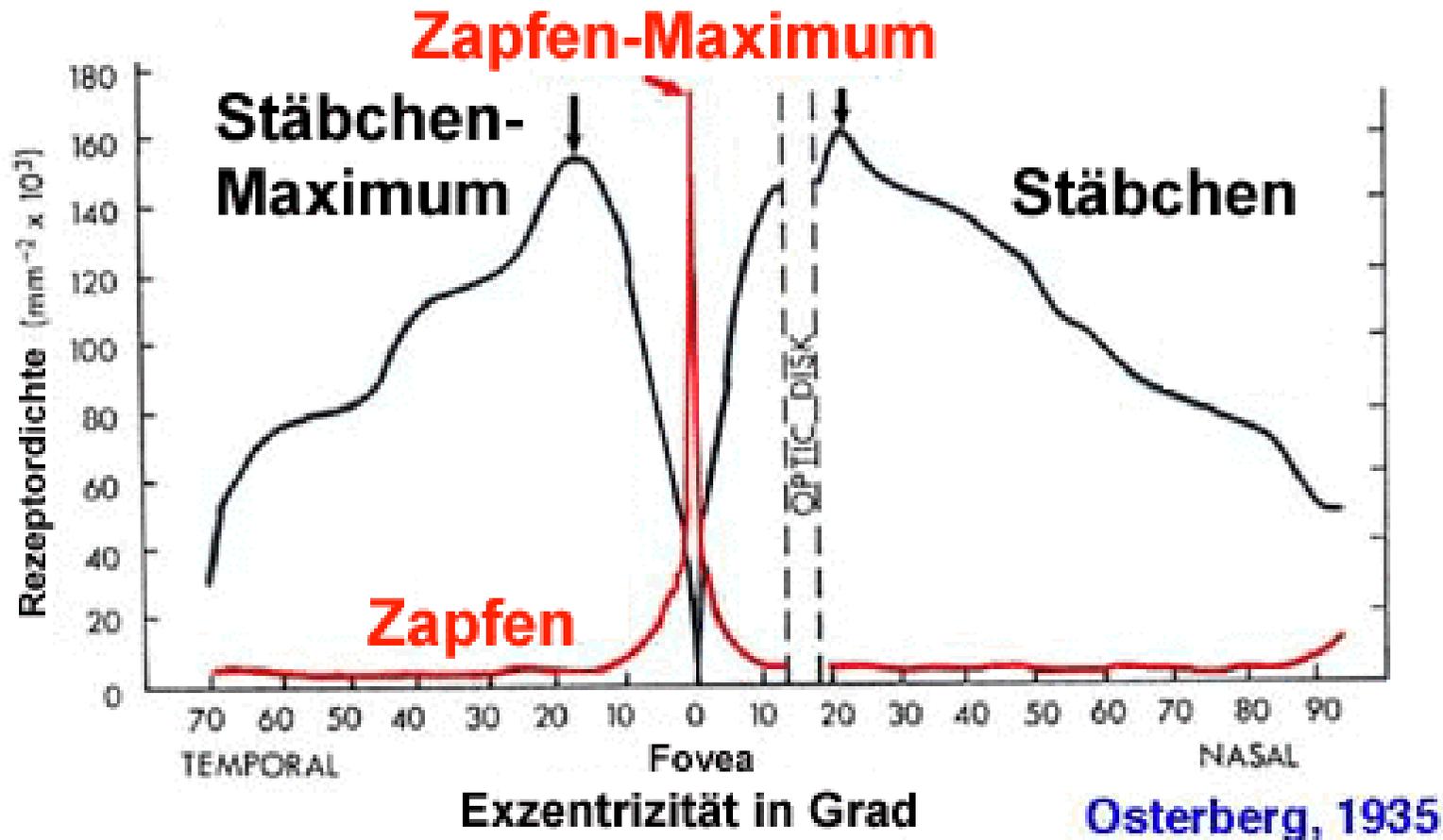


Stäbchen und Zapfen



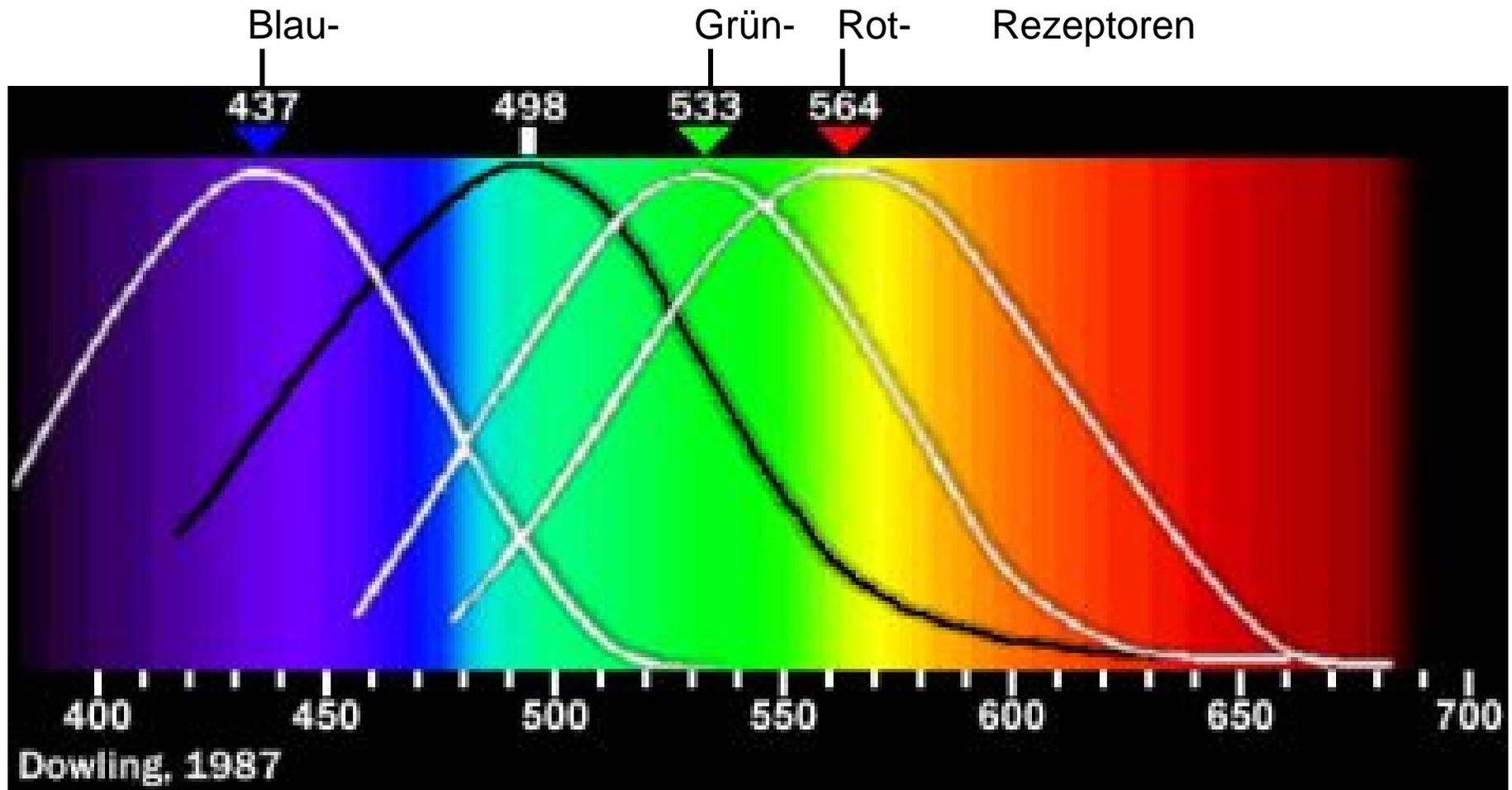
- Durchgezogene Linie: Stäbchen (*rods*)
- gestrichelte Linie: Zapfen (*cones*)
- Stäbchen sind "farbenblind", aber lichtempfindlicher als Zapfen
- Dämmerungssehen mit Stäbchen: Blau = hellgrau, rot = schwarz
- Tagsehen mit Zapfen: Größte Empfindlichkeit für Gelb/orange-Töne

Verteilung von Stäbchen und Zapfen



- Stäbchen in der Peripherie
- Zapfen (Farbwahrnehmung) im Zentrum (fovea centralis)
- Dämmerungssehen in der Peripherie besser als im Zentrum

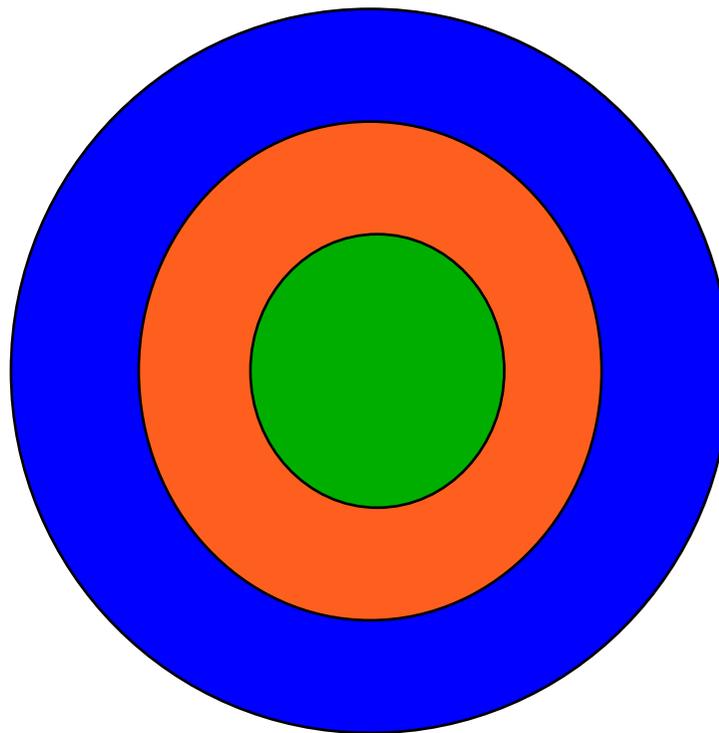
Verschiedene Typen von Zapfen



- Summe der drei Absorptionskurven beschreibt Empfindlichkeitskurve für Tagsehen

Verteilung der Zapfentypen auf der Retina

- Blaurezeptoren: Ca. 4%, nur peripher, nicht im Zentrum
- Grünrezeptoren: Ca. 32 %, im zentralen Bereich konzentriert
- Rot(bzw.-Gelb)rezeptoren:
Ca. 64%, mittlerer Abstand vom Zentrum



Konsequenzen für Farbgestaltung

- Drei Grundfarben (Rot, Grün, Blau) genügen für die Darstellung aller wahrnehmbaren Farben.
- Text oder andere detailreiche Information in reinem Blau ist anstrengend wahrzunehmen.
- Rote oder grüne Elemente in der Peripherie sind schwerer wahrzunehmen als blaue.



Farbsignalverarbeitung im menschlichen Gehirn

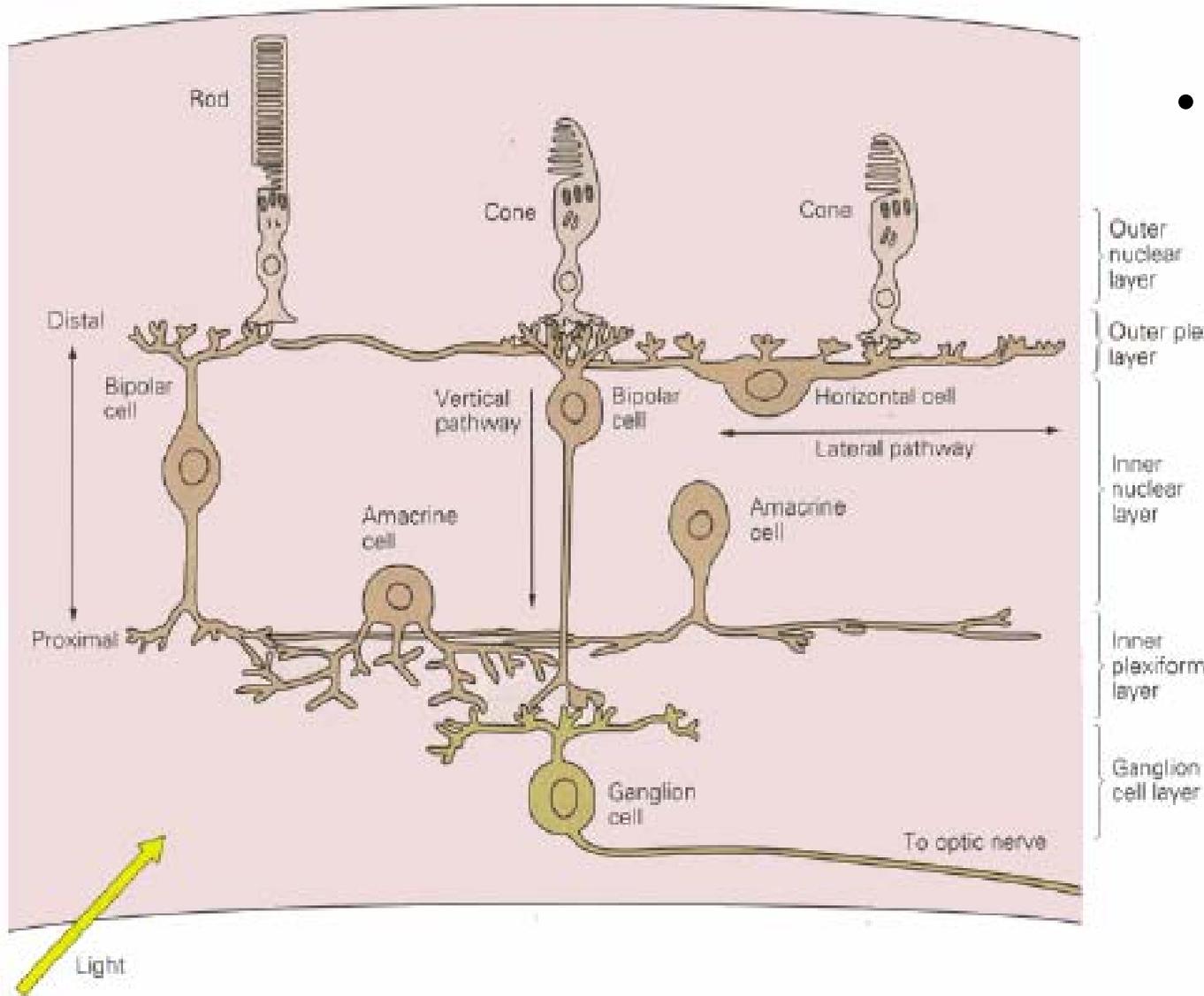
- Im Zwischenhirn werden die separaten Signale für Rot (R), Grün (G), Blau (B) in drei neue Signale umgewandelt:
 - Summensignal $Y = R + G$ Helligkeit (Gelb)
 - Differenzsignal $R - G$ Rot/Grün-Unterscheidung
 - Differenzsignal $Y - B$ Blau/Gelb-Unterscheidung
 - Y (Yellow) heißt *Luminanzsignal*
- Konsequenzen:
 - Gelb-Anteil ist wesentlich für Helligkeitswahrnehmung
 - Blau-Anteil spielt keine Rolle bei der Helligkeitswahrnehmung
 - Farbkontraste Rot/Grün und Blau/Gelb besonders klar erkennbar: oft unangenehm stark



Anzahl wahrnehmbarer Farben

- Der menschliche Sehapparat kann unterscheiden:
 - 128 verschiedene Farbtöne (*hues*)
 - 130 verschiedene Farbsättigungen (Farbreinheit)
 - 16 (im gelben Bereich) – 26 (im blauen Bereich) verschiedene Helligkeitswerte
- Insgesamt ca. 380 000 verschiedene Farben
- Sichere Unterscheidung gleichzeitig dargestellter Farben in Experimenten nur bei ca. 15 Farben

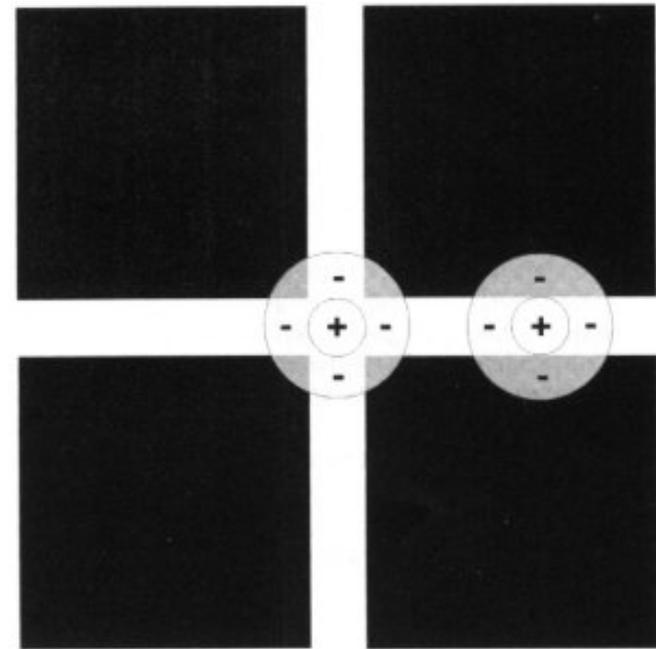
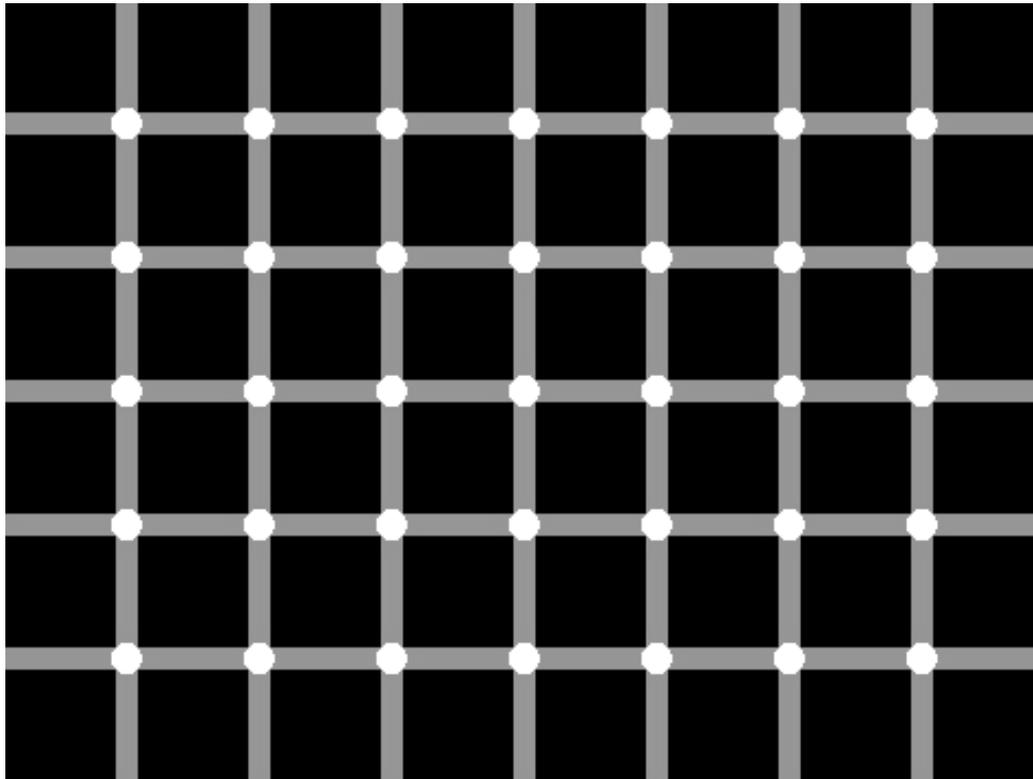
Verschaltung in der Netzhaut



- Ganglien
 - Reizleitung
 - Jede Ganglienzelle mit *vielen* Rezeptoren verschaltet
 - Stäbchen/Zapfen: "Umschalten" Tag-/Nachtsehen
 - Mehrere Stäbchen: "Lateralhemmung" benachbarter Zellen bei starken Reizen

Erklärung einer optischen Täuschung

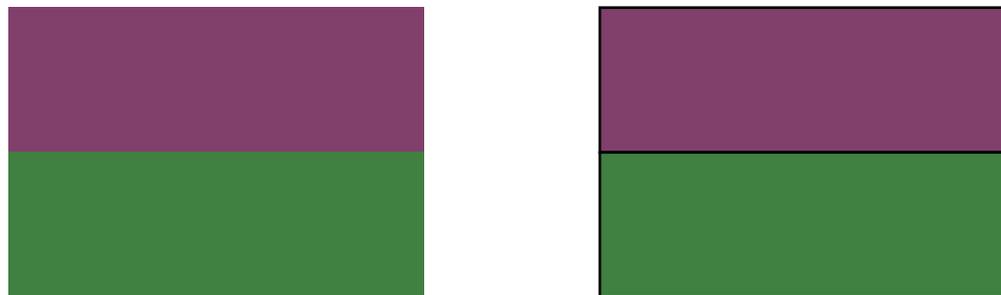
- Hermann-Gitter (Ludimar Hermann 1870), auch Hering-Gitter



Rezeptive Felder:
Reiz in der Peripherie hemmt
Zentrum
Starke Hemmung an Kreuzung

Kantensehen

- Kantenerkennung:
 - Beruht auf dem Vergleich der Rot/Grün-Differenz mit der Rot-Grün-Summe (der Helligkeit)
 - Rot-Grün-System arbeitet schneller als Blau-Gelb-System
 - Kanten vorwiegend durch Helligkeitsunterschiede erkannt
- Laterale Hemmung verstärkt die Kantenerkennung
 - Abhängig von der Helligkeit
- Kanten, die sich nur durch Farbunterschiede, v. a. im Blaubereich abheben: evtl. unscharf



- Grundregel für Gestaltung:
Farbe nie als alleiniges Unterscheidungsmerkmal

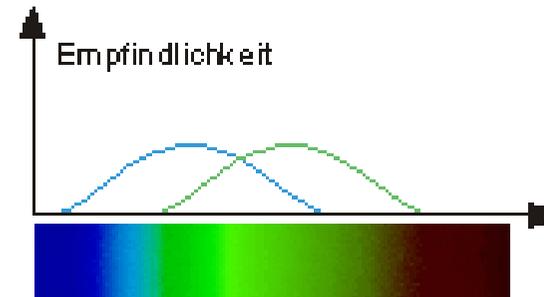
Beispiele: Farbfehlsichtigkeit

Four Score And Seven Years Ago...

Protanopia:

Rotblindheit

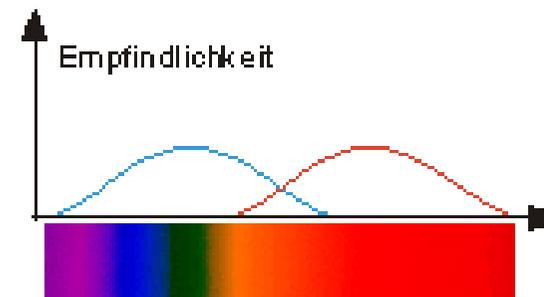
Four Score And Seven Years Ago...



Deuteranopia:

Grünblindheit

Four Score And Seven Years Ago...



Tritanopia:

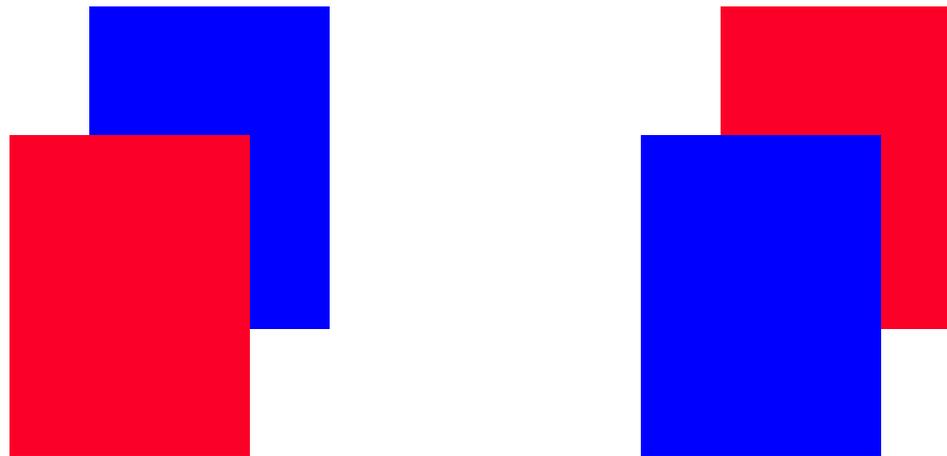
Blaublindheit

Four Score And Seven Years Ago...

Siehe auch: <http://www.ichbinfarbenblind.de/>

Chromostereopsie

- Farben werden automatisch räumlich wahrgenommen:
 - Rot im Vordergrund
 - Blau im Hintergrund



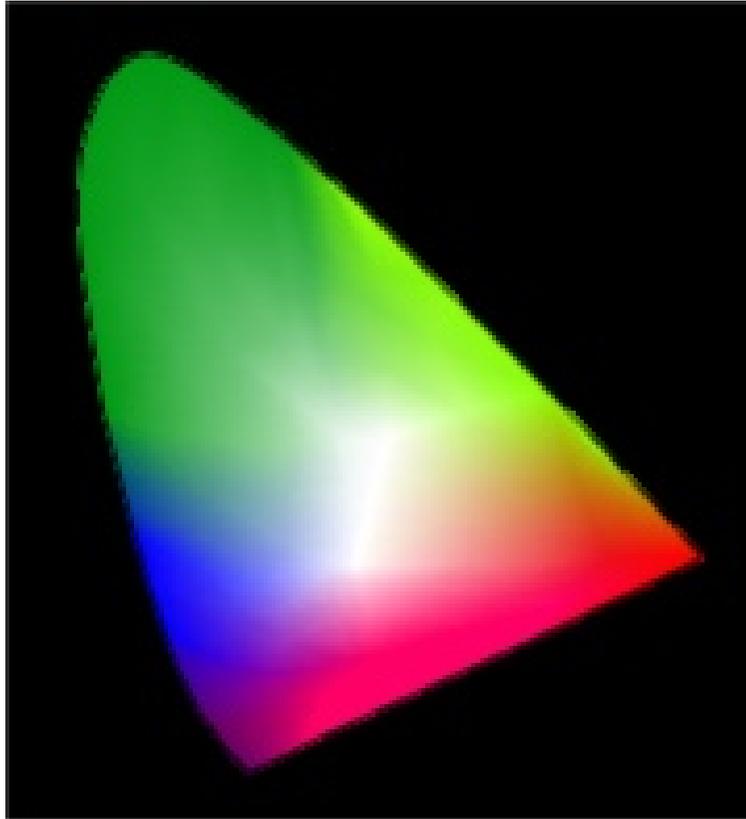
6. Licht, Farbe und Bilder

- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle 
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression

Farbmodell

- *Farbmodell:*
Eindeutige Beschreibung von Farben (d.h. Spektralverteilungen)
- Wegen der Eigenschaften des Auges genügen 3 Parameter
- Verschiedene Farbmodelle:
 - Allgemeine Farbmodelle: CIE-Farbraum, CIE-L*a*b
 - Hardwarebezogene Farbmodelle: RGB, CMY, CMYK, YUV, YIQ
 - Physiologisch orientierte Farbmodelle: HLS, HSV
- Ein Farbmodell muss nicht alle wahrnehmbaren Farben enthalten
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)
 - Internationale Organisation mit Sitz in Wien
 - Legt Standards für Beleuchtung fest
 - <http://www.cie.co.at>
- Applets für Experimente mit Farbmodellen (z.B.):
 - <http://www.nacs.uci.edu/~wiedeman/cspace/>

CIE-Farbraum



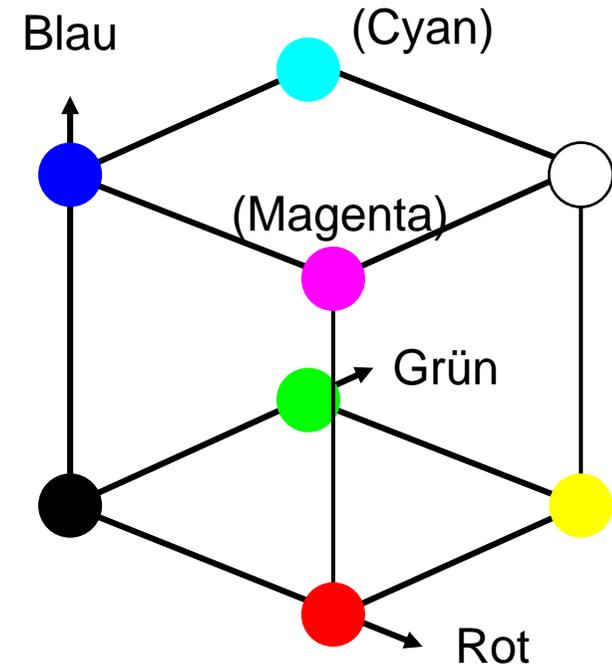
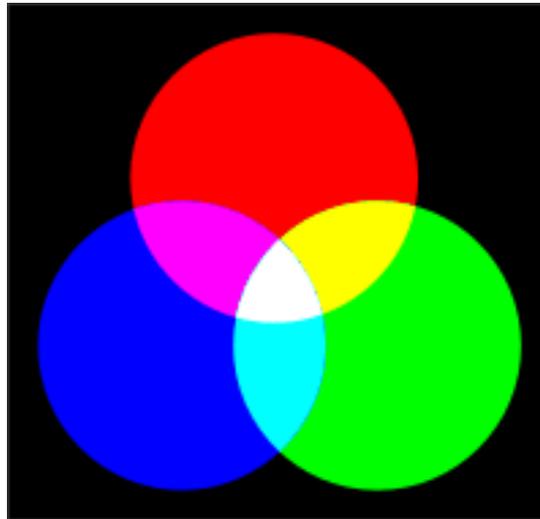
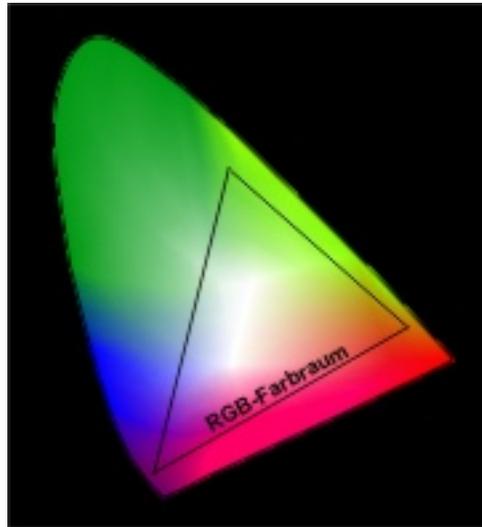
Alle Farbmodelle umfassen einen polygonalen Teilbereich des CIE-Farbraums (*color gamut*)

- Zweidimensionales Referenzsystem (1931) zur Beschreibung spektraler Verteilungen
- Faltung mit drei Gewichtsfunktionen für Wellenlängen ergibt Werte: X, Y, Z
- Y entspricht ungefähr der Gelbempfindung des Auges
- Darstellung durch Koordinaten in zweidimensionalem Diagramm:

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

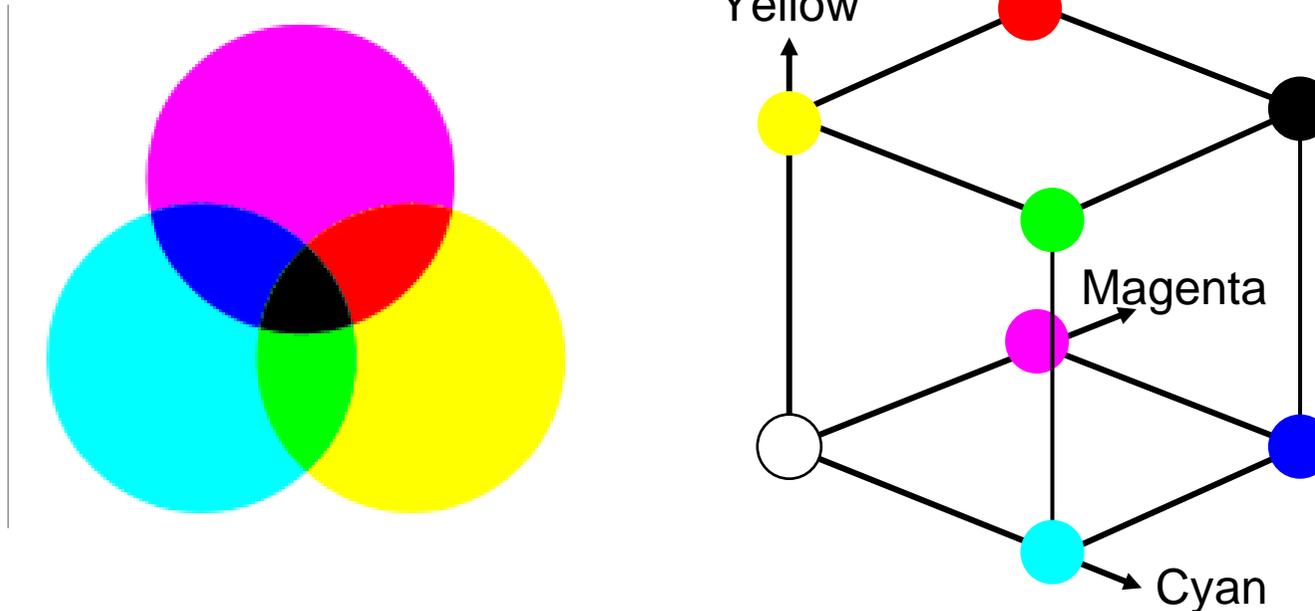
- 1976 verbessertes dreidimensionales Farbmodell (CIE-L*a*b): Luminanz plus zwei Chrominanz-Werte (a = Grün/Rot, b = Blau/Gelb)

Additive Modelle: RGB



- Meistverwendetes Modell für aktiv lichterzeugende Ausgabemedien (z.B. Displays)
- Spektrale Intensitäten der Komponenten werden addiert
- Bestimmte sichtbare Farben können nicht im RGB-Modell dargestellt werden.

Subtraktive Modelle: CMY(K)



- Meistverwendetes Modell zur Ausgabe auf reflektierenden Ausgabemedien (z.B. Farbdrucker)
- Anschaulich: Farbfilter subtrahieren Farbwerte
- Für Drucker oft vierte Komponente "schwarz" (black), deshalb CMYK
 - Tintensparnis, präziseres Bild, vermeidet "Durchnässen" des Papiers

YUV + YIQ

- Bildinformation getrennt in:
 - Helligkeitssignal (Luminanz) Y
 - Zwei Chrominanz-Signale, bei YUV ungefähr:
 - » Differenz Blau – Y
 - » Differenz Rot – Y
- Herkunft: TV- und Videotechnik
 - YUV verwendet im PAL-Fernsehstandard
 - YIQ verwendet im amerikanischen NTSC-Fernsehstandard
- Getrenntes Luminanzsignal ermöglicht Abwärtskompatibilität zu Schwarz/Weiss-Fernsehen!

HSV + HLS

- Physiologische Farbmodelle
 - entsprechen menschlicher Wahrnehmung
 - relativ leichte Selektion von Farben
- HSV oder HSB:
 - Hue, Saturation, Value bzw. Brightness (Helligkeit)
- HLS :
 - Hue, Lightness, Saturation

- Saturation (Sättigung) ist "Reinheit" der Farbe: Je mehr "fremde" Spektralanteile enthalten, desto weniger gesättigt.

Farben in HTML

- Spezifikation von Farben nach dem RGB-Modell
 - Jeweils 8 bit, d.h. zweistellige Hexadezimalzahl: `#rrggbb`
 - Beispiel: "Kiefer" `#006633`
- Anbindung an HTML-Tags durch CSS
 - Hintergrundfarben, Textfarben, Farben für Pseudoformate (z.B. Verweise)
 - Beispiel: `<body style="background-color:#CCFFFF">`
- Websichere Farben:
 - Standardpalette von 216 RGB-Farben
 - RGB-Werte durch 51 teilbar
 - Eingeführt von Netscape
- Alternative:
 - 16 Standard-Farben des VGA-Schemas, mit standardisierten Namen (siehe nächste Folie)

Standard-VGA-Farben und ihre HTML-Namen

black	#000000	gray	#808080
maroon	#800000	red	#FF0000
green	#008000	lime	#00FF00
olive	#808000	yellow	#FFFF00
navy	#000080	blue	#0000FF
purple	#800080	fuchsia	#FF00FF
teal	#008080	aqua	#00FFFF
silver	#C0C0C0	white	#FFFFFF

Farbwahrnehmung ist relativ...

