

6. Licht, Farbe und Bilder

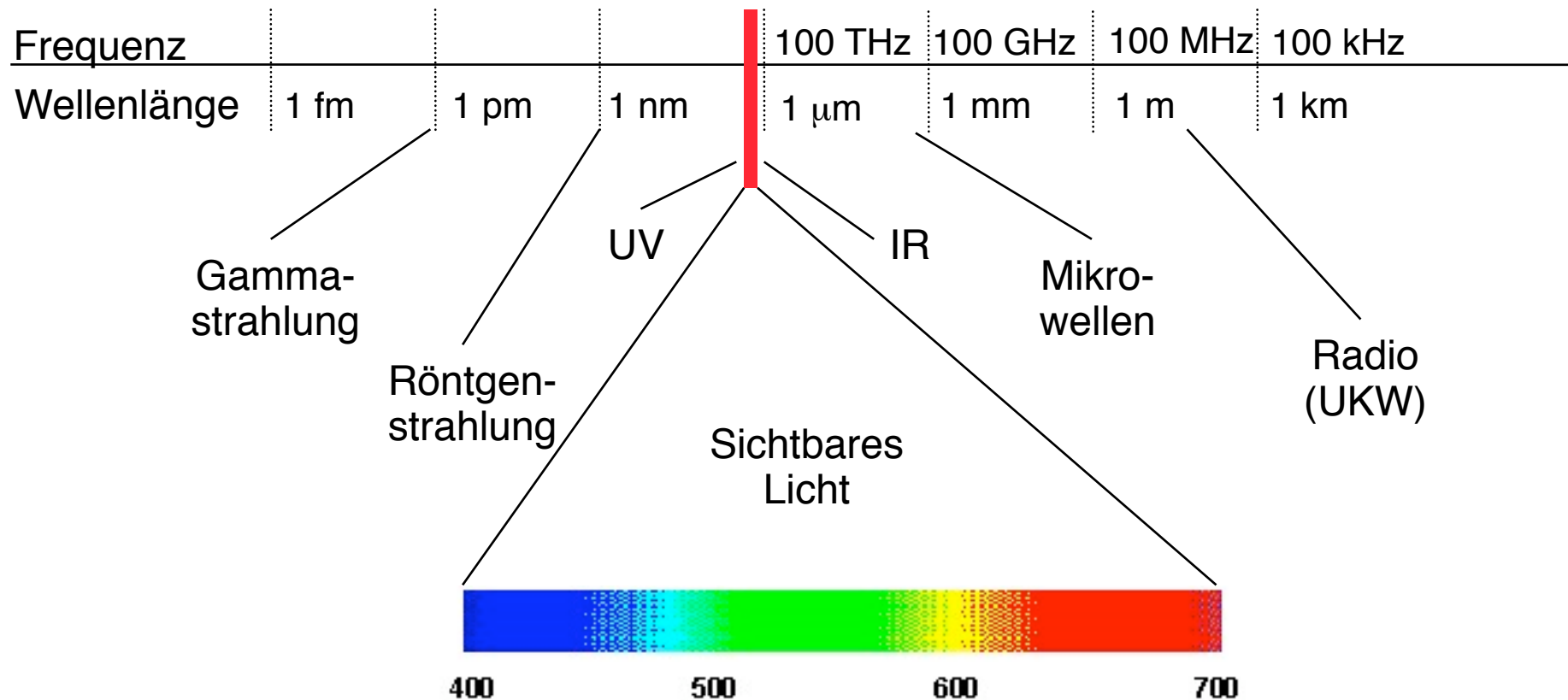
- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression



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 im Vakuum)

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.

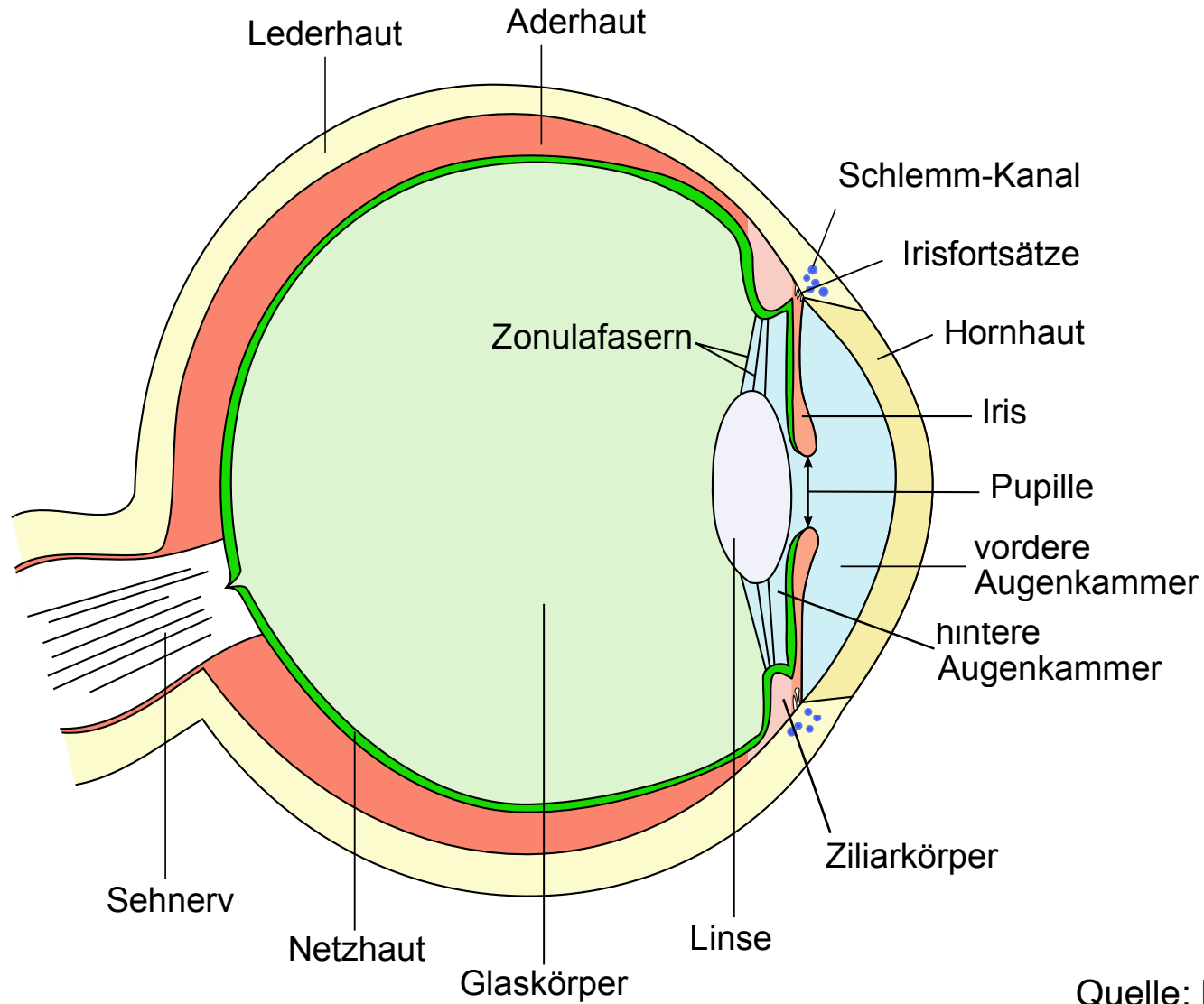
Farbtemperatur

- 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
 - Sind entweder reflektiert oder stammen von selbst leuchtenden Körpern
 - Farbeindruck hängt von der Farbtemperatur der Beleuchtungsquelle ab.

Eigenschaften von Licht

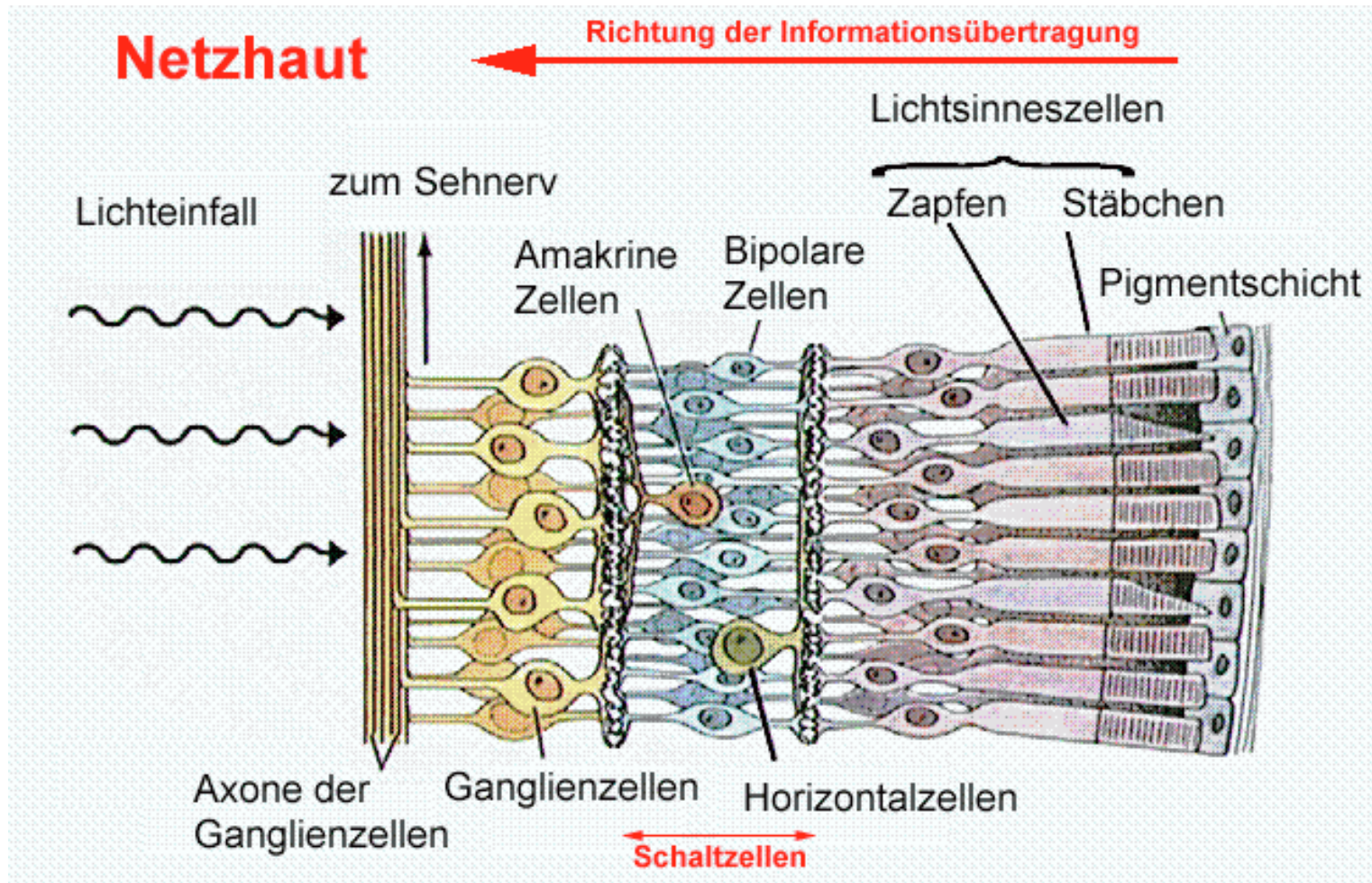
- Geradlinige Ausbreitung
- Reflexion: Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Oberflächen reflektieren unterschiedlich:
 - Reflexionskoeffizient (abhängig von der Wellenlänge)
 - Rauigkeit
- Optische Dichte von Materie, Beugung:
 - Brechungsindex beschreibt niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber 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



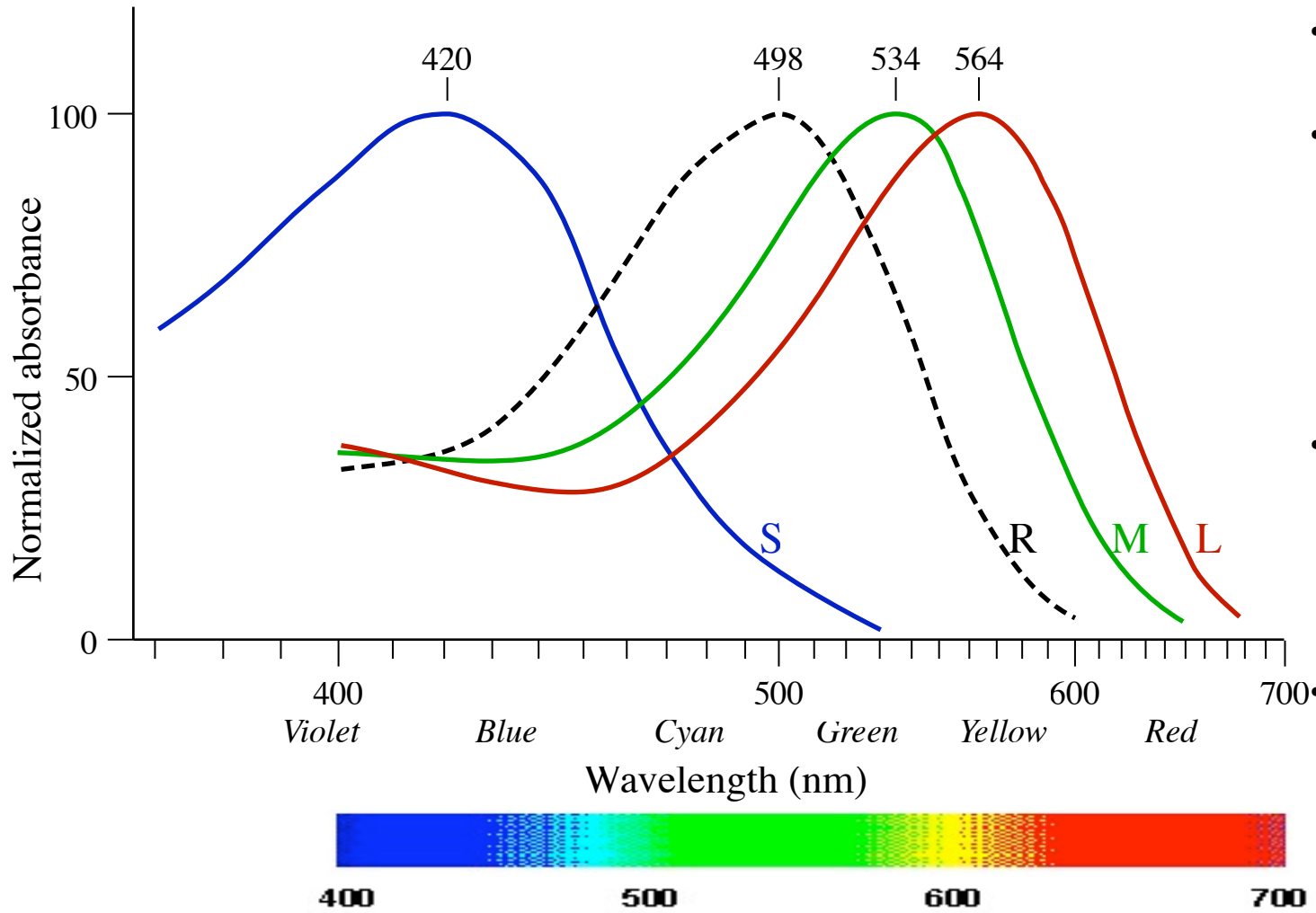
Quelle: Deutsche Wikipedia

Die Netzhaut (Retina)



Quelle: www.hsg-kl.de

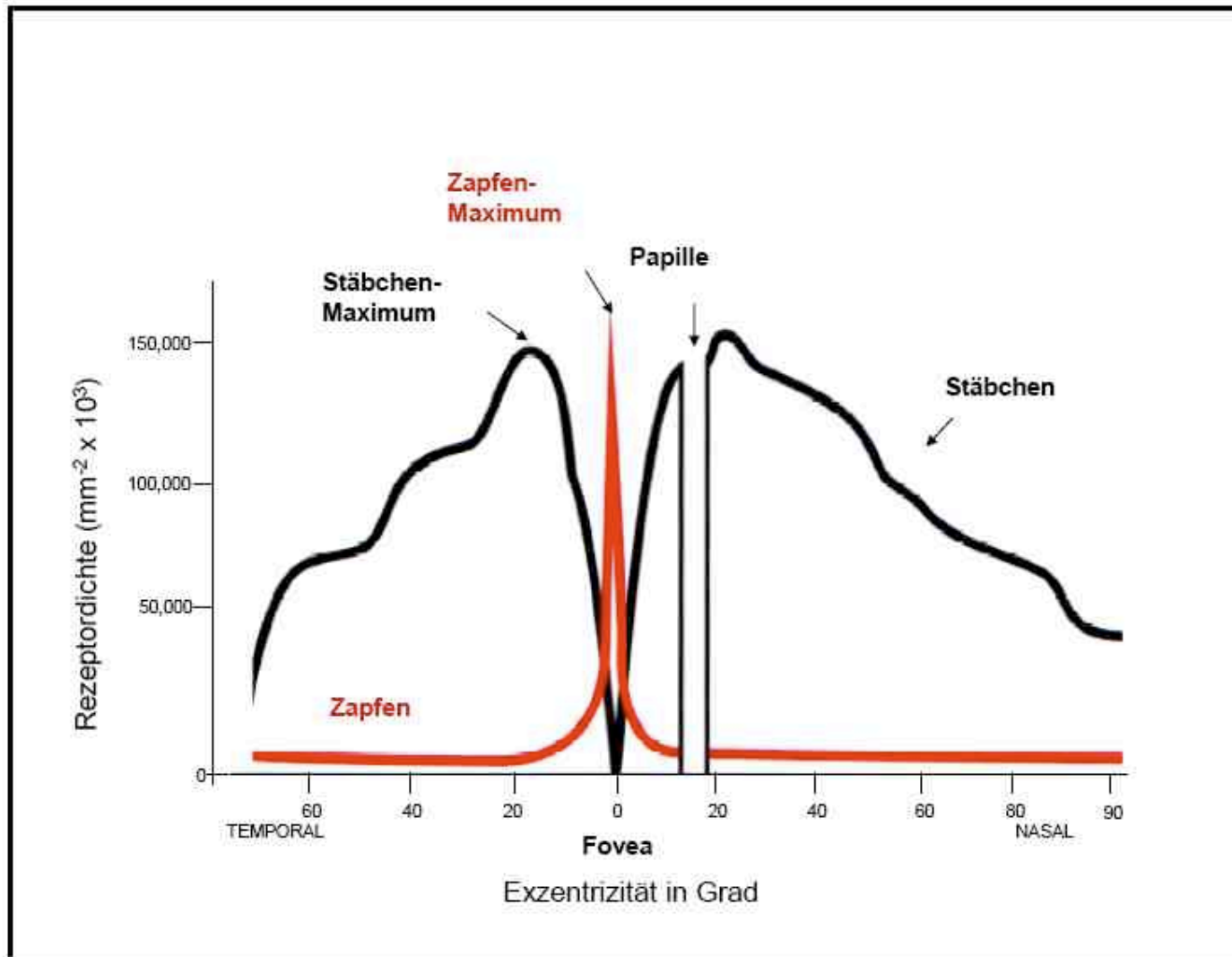
Stäbchen und Zapfen



- Gestrichelte Linie: Stäbchen (*rods*)
- Farbige Linien: Zapfen (*cones*)
 - *short/medium/long* wavelengths
 - Drei Typen von Zapfen = Farbsehen
- Stäbchen sind "farbenblind", aber lichtempfindlicher als Zapfen
 - Dämmerungssehen
- Tagsehen mit Zapfen: Größte Empfindlichkeit für Gelb/orange-Töne

Quelle: Bowmaker/Dartnall, Wikipedia

Verteilung von Stäbchen und Zapfen

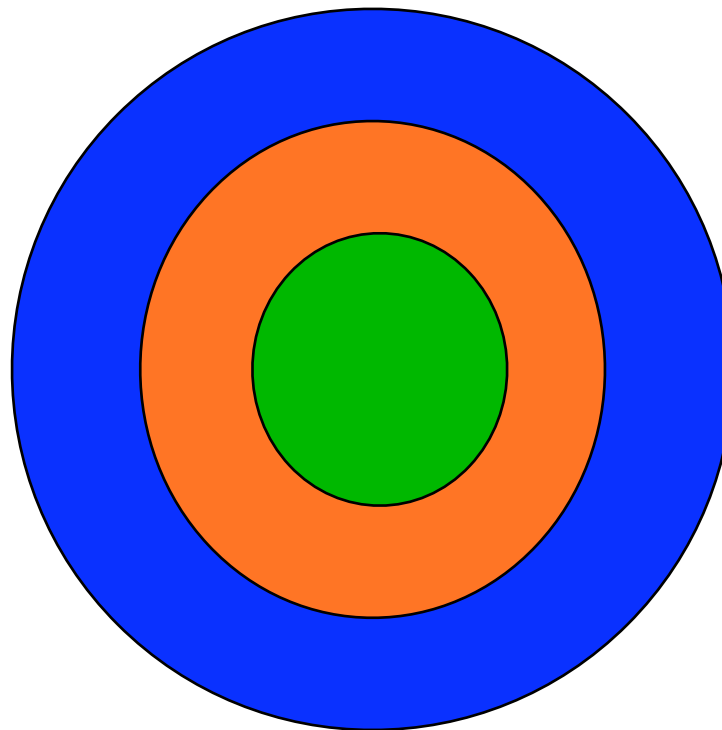


- Stäbchen in der Peripherie
- Zapfen (Farbwahrnehmung) im Zentrum (*fovea centralis*)
- Dämmerungssehen in der Peripherie besser als im Zentrum

Quelle:
Osterfeld 1935 /
FU Berlin

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



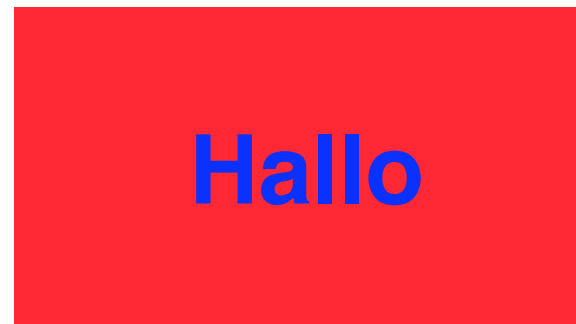
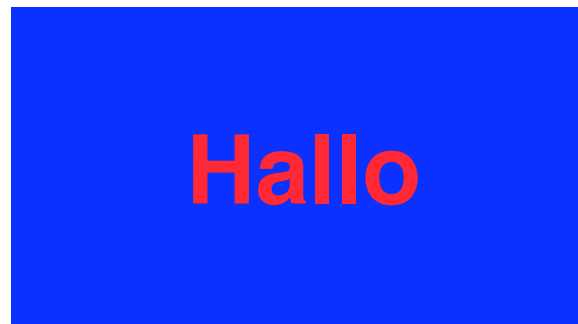
Konsequenzen für Farbgestaltung

- 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.



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!



Farbsignalverarbeitung im menschlichen Gehirn

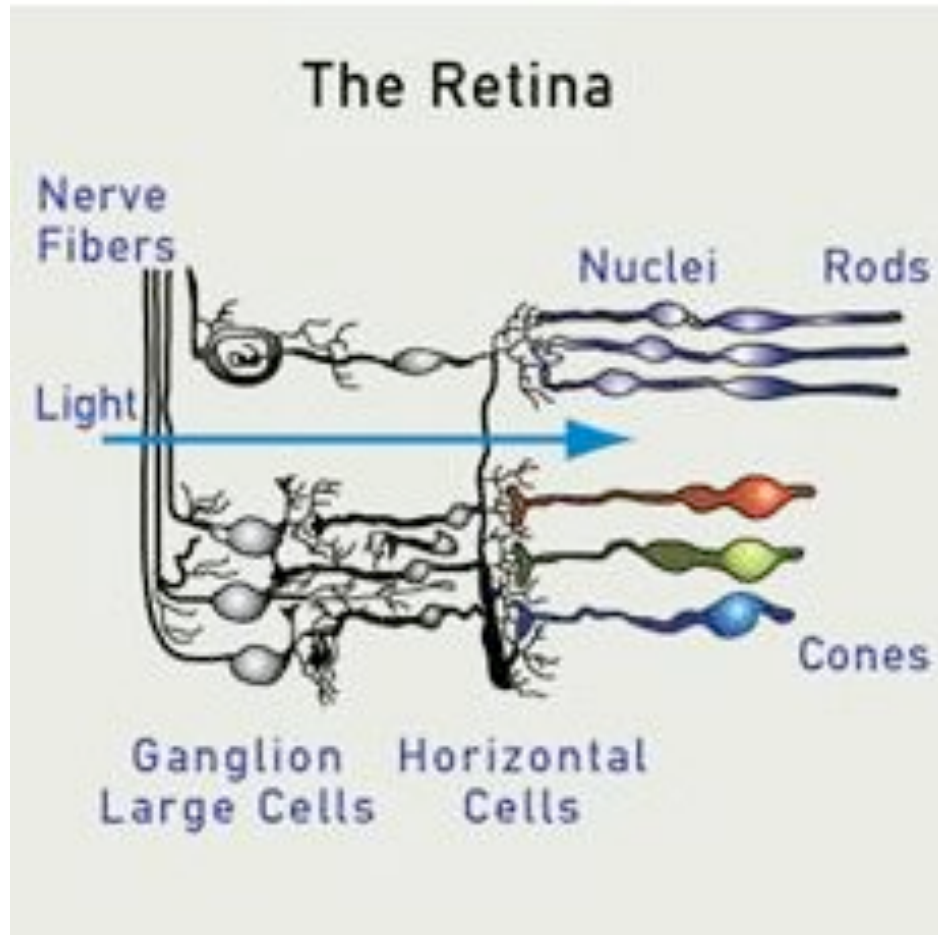
- Im Zwischenhirn werden die separaten Signale für Rot (R), Grün (G), Blau (B) in drei neue Signale umgewandelt:
 - Summensignal $Y = R + G$ Helligkeit (Gelb)
 - Differenzsignal $R - G$ Rot/Grün-Unterscheidung
 - Differenzsignal $Y - B$ Blau/Gelb-Unterscheidung
 - Y (Yellow) heißt *Luminanzsignal*
- 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

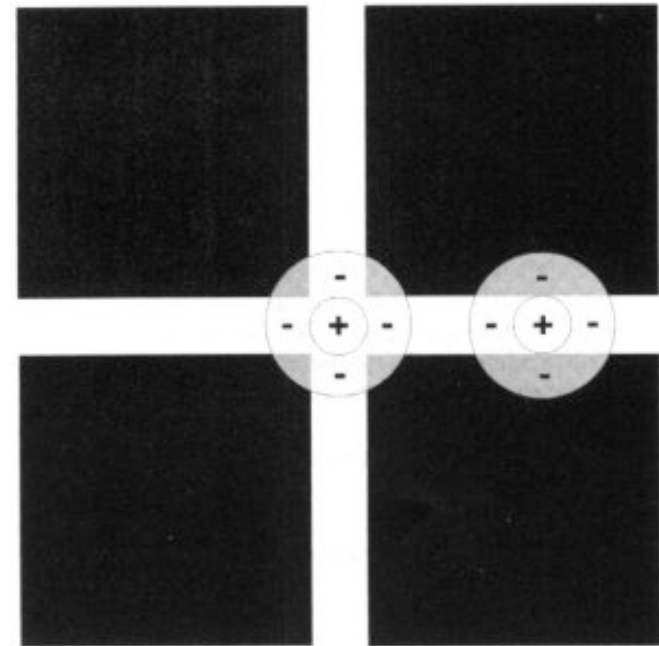
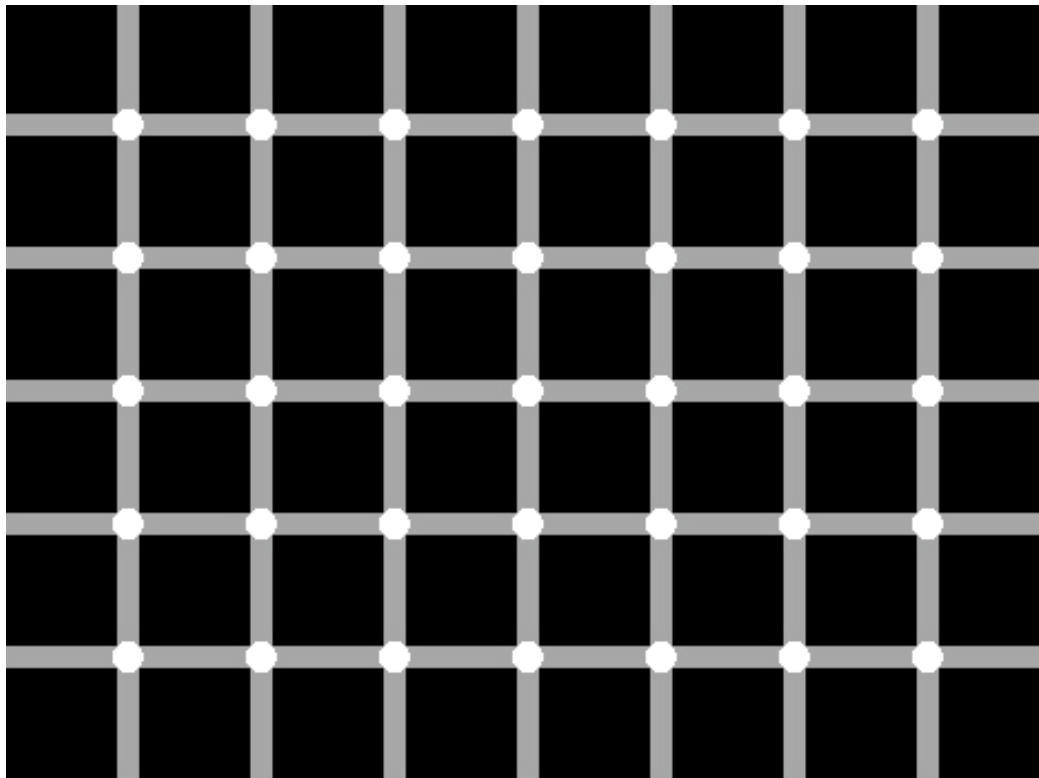


Quelle: learn.colorotate.org

- 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

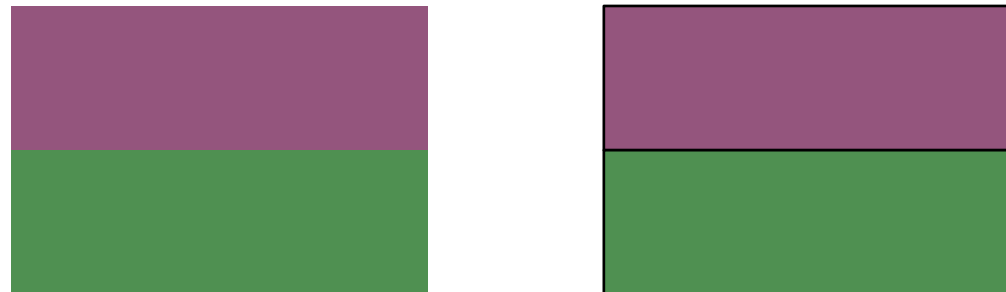
- Hermann-Gitter (Ludimar Hermann 1870), auch Hering-Gitter



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



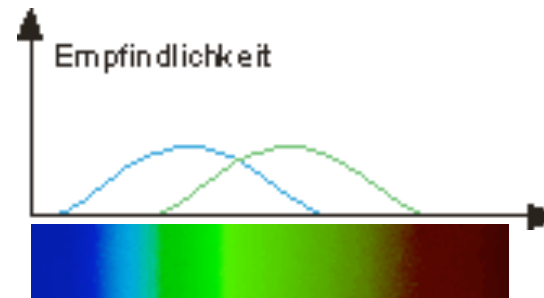
- Grundregel für Gestaltung:
Farbe nie als alleiniges Unterscheidungsmerkmal

Beispiele: Farbfehlsichtigkeit

Four Score And Seven Years Ago...

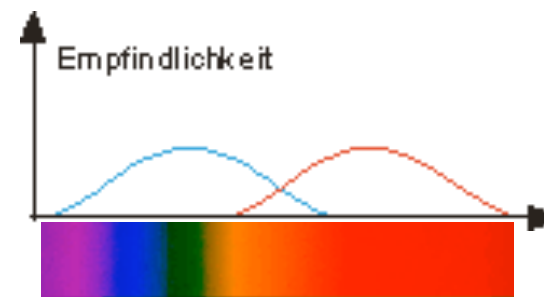
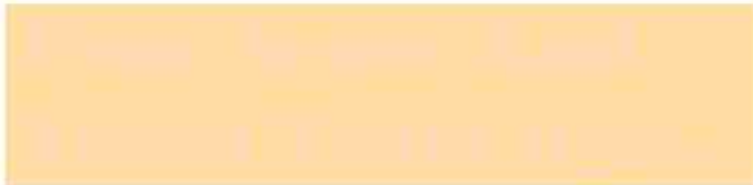
Protanopia:

Rotblindheit



Deuteranopia:

Grünblindheit



Tritanopia:

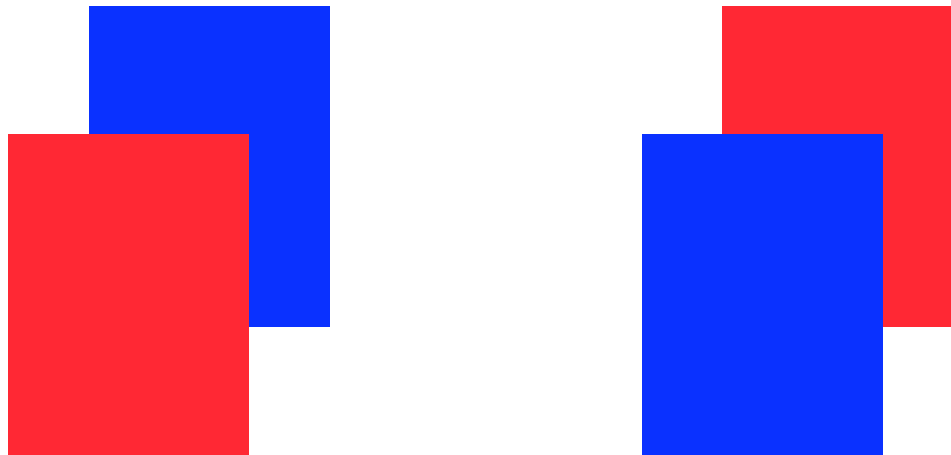
Blaublindheit




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

Chromostereopsie

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



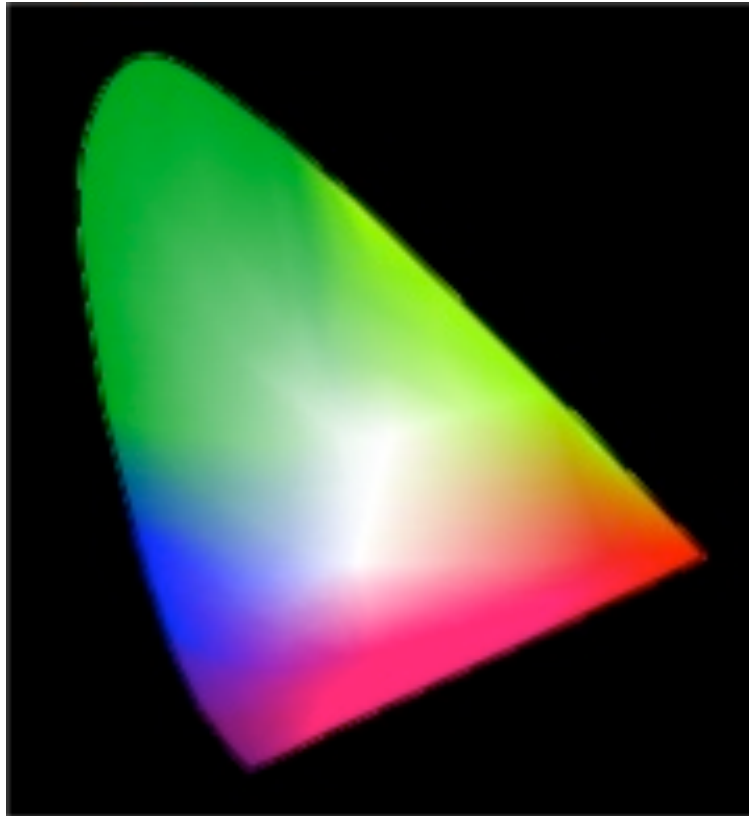
6. Licht, Farbe und Bilder

- 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



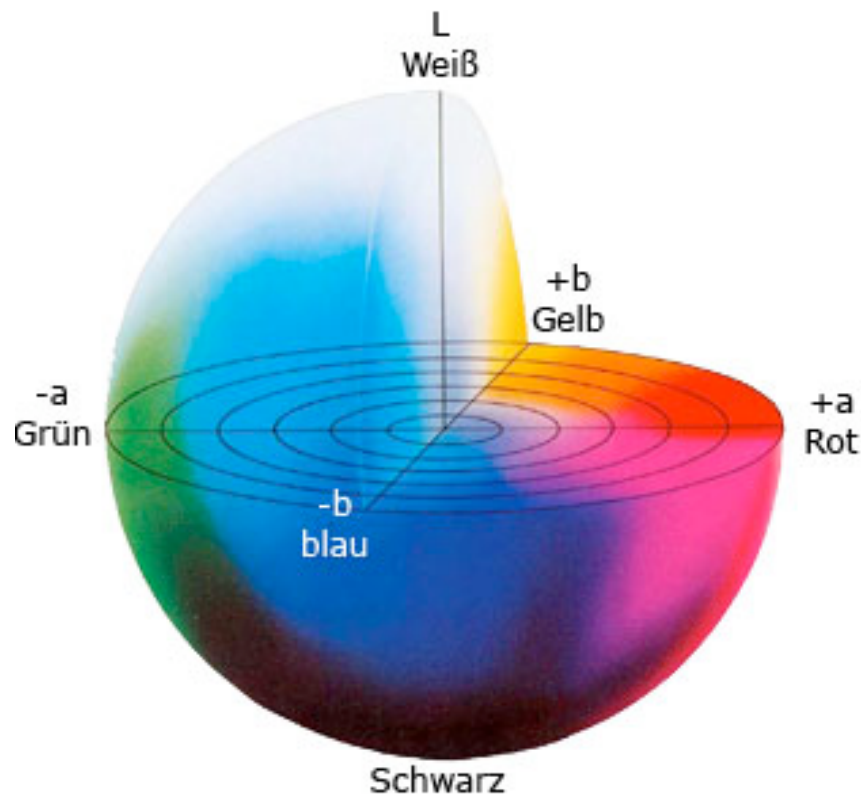
Alle Farbmodelle umfassen einen polygonalen Teilbereich des CIE-Farbraums (*color gamut*)

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

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

CIE L*a*b Farbraum

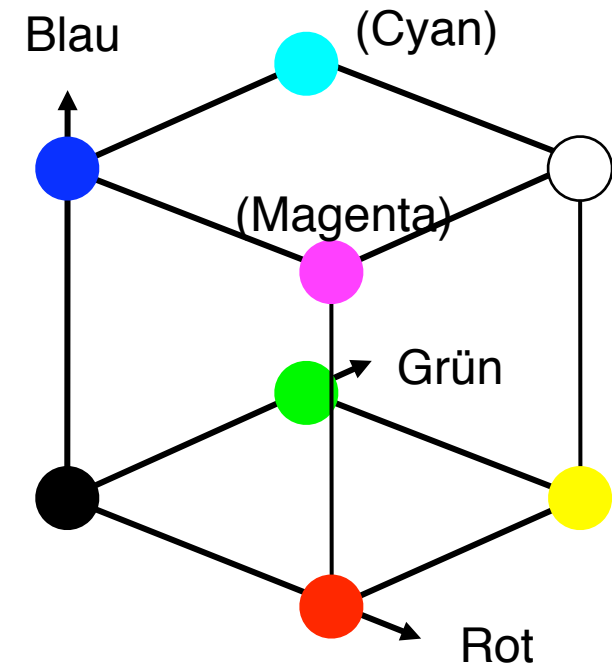
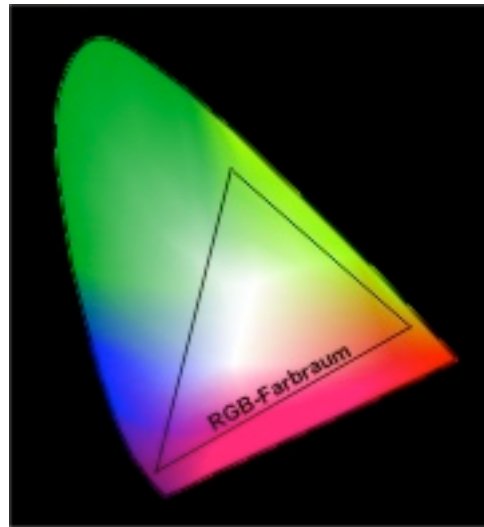
- 1976 verbessertes dreidimensionales Farbmodell der CIE:
 - Luminanz plus zwei Chrominanz-Werte
 - L = Luminanz, a = Grün/Rot, b = Blau/Gelb
- Darstellung meist als 3-dimensionales Diagramm



Idee:
Gleiche Abstände entsprechen
empfindungsgemäß
gleichen Farbabständen

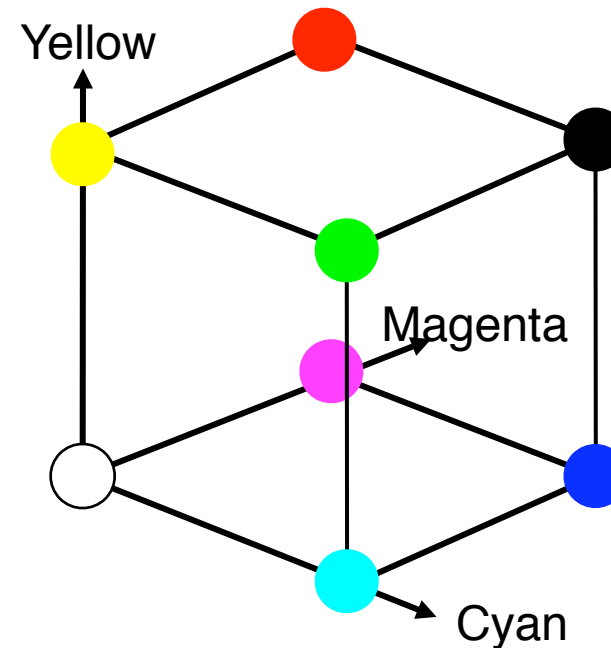
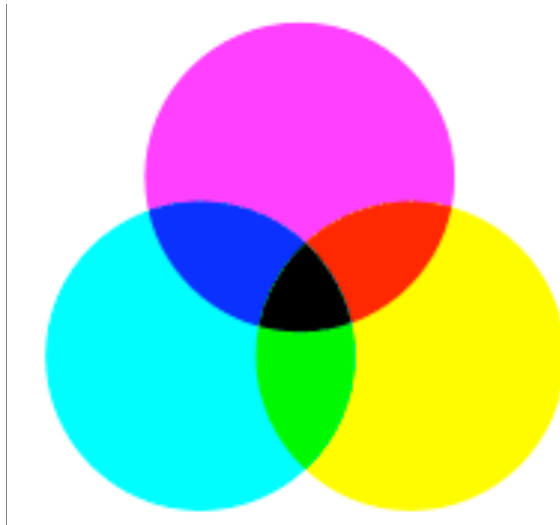
Bildquelle: www.win-seminare.de

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!

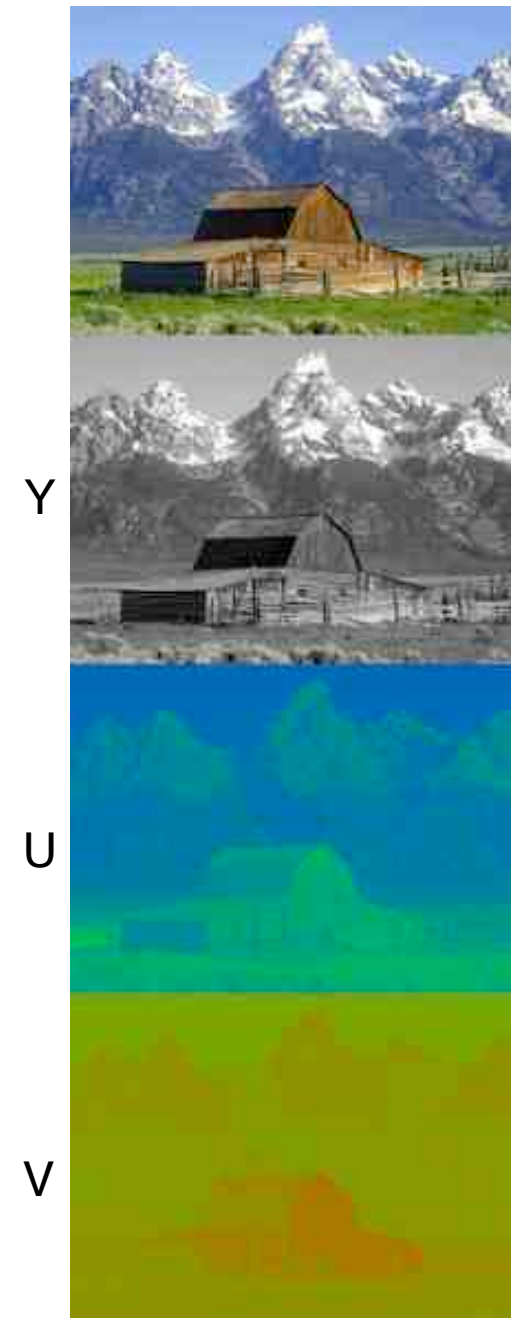
YUV

- Nicht zu verwechseln mit ähnlichen Modellen YPbPr (analog) und YCbCr (digital) !
- Umrechnung von RGB in YUV berücksichtigt ansatzweise das menschliche Farbsehen
 - Z.B. Gewichtung von Rot, Grün, Blau in Definition des Y-Signals

$$Y := 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B$$

$$U := (B - Y) \cdot 0,493$$

$$V := (R - Y) \cdot 0,877$$



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...



6. Licht, Farbe und Bilder


- 6.1 Licht und Farbe: Physikalische und physiologische Aspekte
- 6.2 Farbmodelle
- 6.3 Raster-Bilddatenformate 
 - Grundbegriffe für Bildspeicherung und -Bearbeitung 
 - Verlustfrei komprimierende Formate
- 6.4 Verlustbehaftete Kompression bei Bildern
- 6.5 Weiterentwicklungen bei der Bildkompression

Literatur:

Quelle für Informationen zu diversen Dateiformaten: <http://www.wotsit.org>

John Miano: Compressed Image File Formats, Addison-Wesley 1999

Klassifikation von Bild-Dateiformaten

- Vektorgrafik
 - Enthält *keine* Rasterdaten, sondern Beschreibung von Einzelobjekten
 - Beispiele: SVG (Scalable Vector Graphics) und div. proprietäre Formate
- Rastergrafik (Bitmap) 
 - Speicherung der Rasterdaten eines Bildes
 - Einfache verlustfreie Kompression
 - Beispiele: BMP, TIFF
- „Meta-Files“
 - Kombination von Vektorgrafik und Rasterdaten
 - Beispiele: WMF (Windows Meta File), Macintosh PICT
- Erweiterte Bitmap-Formate
 - Bessere Kompression, zusätzliche Funktionalität (z.B. Animation)
 - Beispiele: GIF, PNG
- Stark komprimierende Formate
 - (Auch) verlustbehaftete Kompression
 - Beispiel: JPEG

Hinweis:
Mehr Informationen
zu SVG/Vektorgrafik
später in der Vorlesung

Bildgröße und Auflösung

- *Pixel (picture element)*: Kleinste Einheit eines Bildes, Bild„punkt“
 - Die tatsächliche Größe eines Pixels hängt vom Ausgabegerät ab.
 - Seitenverhältnis (*pixel aspect ratio*) muss nicht 1 sein
- Bildgröße für Bildschirmdarstellung in Pixel
 - Beispiel: Bild der Größe 131 x 148 Pixel
- *Auflösung*: Anzahl der Pixel, die auf einer bestimmten Strecke zur Darstellung zur Verfügung stehen
 - Angabe in *ppi (pixel per inch)*, Standardwert 72 ppi (d.h. 1 Pixel = 1 Pica-Punkt)
- Zusammenhang Abmessungen / Auflösung / Pixelgröße:
 - $\text{Breite [px]} = \text{Breite [in]} * \text{Auflösung [ppi]}$
- *Skalierung*: Konversion des Bildes auf andere Auflösung (*resampling*)
 - Abwärtsskalierung, „Herunterrechnen“: Bildung von Mittelwerten
 - Aufwärtsskalierung, „Hochrechnen“:
 - » Nur eingeschränkt automatisch möglich
 - » Diverse Interpolationsalgorithmen (z.B. "Bi-kubische Interpolation")



Anschaulich: Anzahl der Pixel im Bild



100



50



25

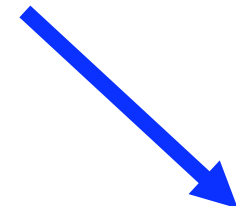


12

Farbtiefen und Farbkanäle

- *Farbtiefe (color resolution)*: Anzahl der Farben, die pro Pixel gespeichert werden können
 - Typische Werte:
 - » 2 Farben (1 bit) = schwarz-weiss
 - » 16 Farben (4 bit)
 - » 256 Farben (8 bit)
 - » 16,7 Millionen Farben (24 bit)
 - „True Color“:
 - » 24 bit Farbtiefe
 - » 1 Byte je Grundfarbe (R, G, B)
- *Farbkanal*: Teil der gespeicherten Information, der sich auf eine der Primärkomponenten des gewählten Farbmodells bezieht
 - Bei Rohdaten meist: Rot, Grün und Blau (RGB-Modell)
 - bei Druckvorbereitung auch CMY bzw. CMYK („Vierfarbdruck“)





Anschaulich: RGB Farbkanäle



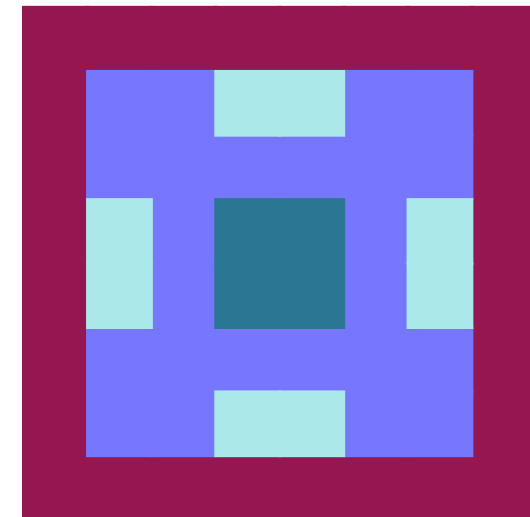
Farbpaletten und indizierte Farben

- *Farbpalette*: Die Menge der in einem konkreten Bild tatsächlich enthaltenen Farben
 - Teilmenge der insgesamt möglichen Farben
- *Indizierte Speicherung*:
 - Farbpalette (Tabelle) enthält die im Bild vorkommenden Farben
 - Pro Pixel wird nur der Index in die Palettentabelle gespeichert

1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	2	3	3	2	2	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	3	2	0	0	2	3	1
1	3	2	0	0	2	3	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	2	2	3	3	2	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1

	R	G	B	
0	35	101	128	
1	128	0	64	
2	99	92	254	
3	156	227	227	

Speicherplatz:
 $8 \times 8 \times 2 \text{ bit} +$
 $4 \times 3 \times 8 \text{ bit} + 4 \times 2 \text{ bit}$
 $= 232 \text{ bit}$
 (statt 1536 bit)



Dithering

- Farbverläufe sind bei Reduzierung auf wenige Palettenfarben schlecht darstellbar
- Dithering: Darstellung von Verläufen durch Punktmuster höherer Auflösung, wobei die einzelnen Punkte Farben aus der verkleinerten Palette haben
 - Bekanntester Algorithmus: Floyd-Steinberg
 - Wird oft auch von Anzeigeprogrammen (z.B. Browsern) durchgeführt



16,7 Mio Farben

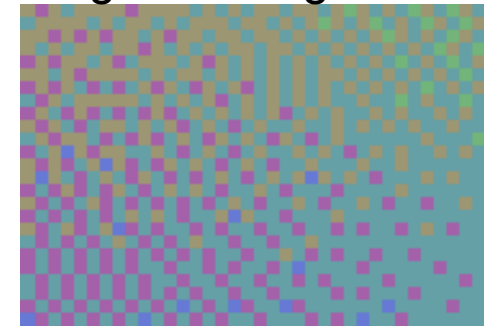


16 Indexfarben
ohne Dithering



16 Indexfarben
mit Dithering

Ausschnitt-
vergrößerung:



Beispiel: 2, 4, 256 Helligkeitsstufen je Farbkanal



256



4



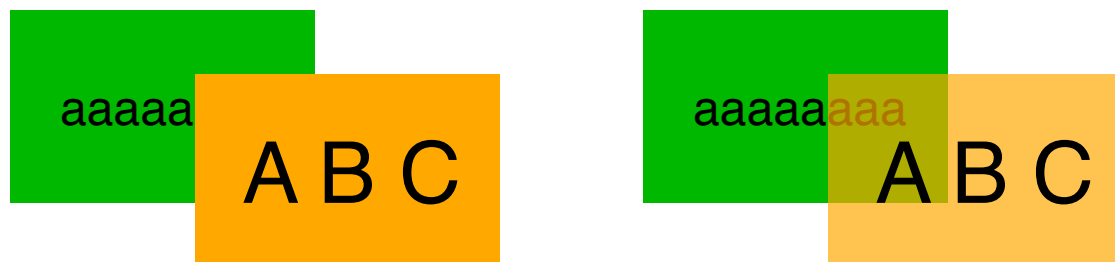
2



2 +
dither

Transparenz: Alphakanal

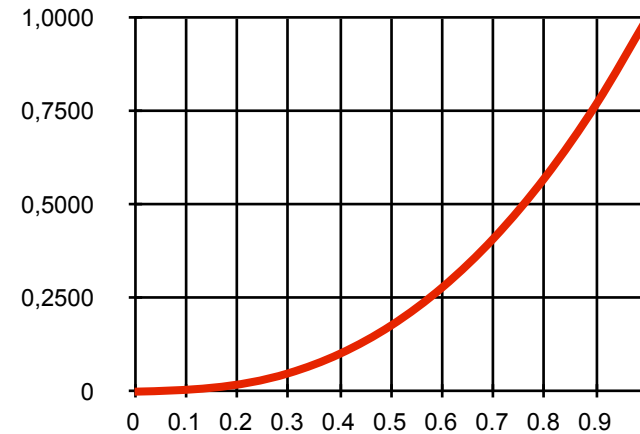
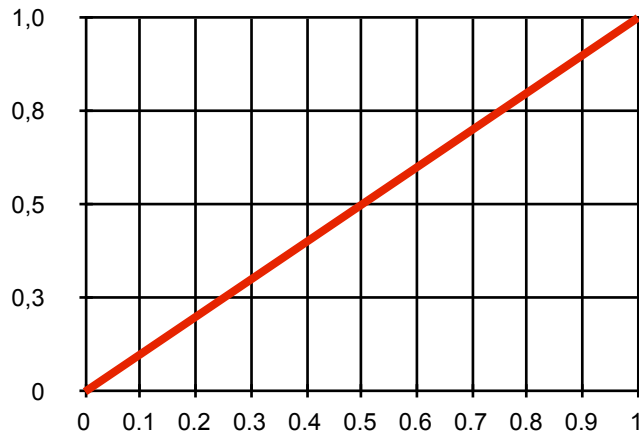
- Bilder bestehen oft aus verschiedenen Elementen, die sich überlagern
 - z.B. Hintergrund, Vordergrund
- Zum Überlagern müssen oft Objekte „transparent“ (durchscheinend) werden
- *Alphakanal*: Zusätzliche Information zu einem Bild, die den Grad der Transparenz angibt
 - Sinnvoll vor allem bei der Zusammensetzung eines Bildes aus verschiedenen Ebenen (*layers*)
 - Häufig verwendet in Bildbearbeitungsprogrammen
 - Technisch: Zusätzliche Information pro Pixel („RGBA-Farbmodell“)



Gamma-Korrektur

- Jedes Ausgabegerät zeigt Farben geringfügig anders an
 - Phosphortypen bei Monitoren
 - Grafik-Subsysteme verschiedener Betriebssysteme (z.B. Macintosh-Gamma 1,8 vs. Windows-Gamma 2,2)
- *Gammawert*: beschreibt das Verhältnis zwischen den gespeicherten und auf dem aktuellen Anzeigegerät angezeigten Farben
 - im Wesentlichen Änderung der Helligkeit, Details gleich!
- *Gammakorrektur*: Anpassung der angezeigten Farben an die beabsichtigten Farben
 - Bei der Anzeige auf einem bestimmten Monitor (ohne Monitoreinstellungen zu verändern)
 - Bei der Anzeige von Dateien aus „fremden“ Plattformen, deren Gammawert bekannt ist
- Gammakorrektur wird realisiert in:
 - Bildbearbeitungsprogrammen
 - Anzeigeprogrammen für bestimmte Dateiformate (z.B. PNG)

Mathematische Beschreibung: Gamma



- Röhrenmonitor mit Phosphor als Leuchtstoff:
 - Steuerspannung u von 0,0 bis $1,0 * u_{max}$
 - Helligkeit h von 0,0 bis $1,0 * h_{max}$
 - Verhältnis von Helligkeit eines Punktes zur Steuerspannung ist nicht linear, sondern exponentiell:
 $h = u^\gamma$ wobei $\gamma = 2,5$ (γ spricht: Gamma)