


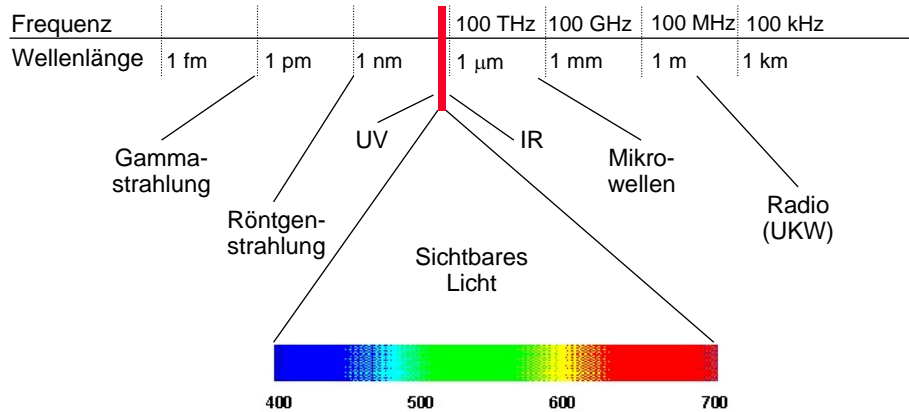
## 6. Licht, Farbe und Bilder

- 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  $\lambda$ , 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.

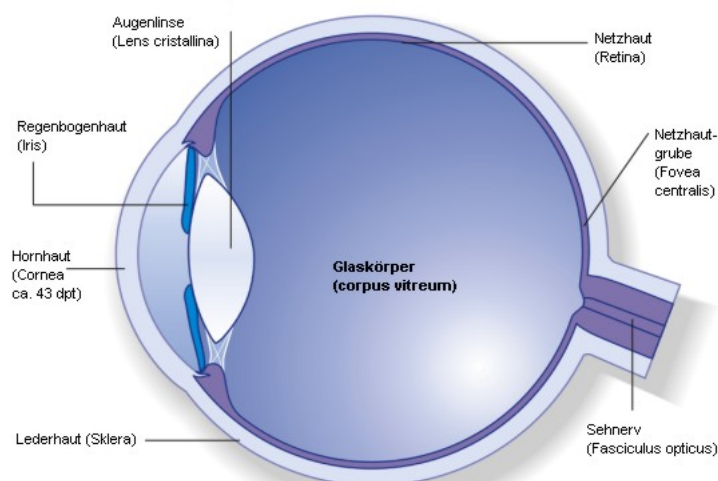
## Farbtemperatur

- 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

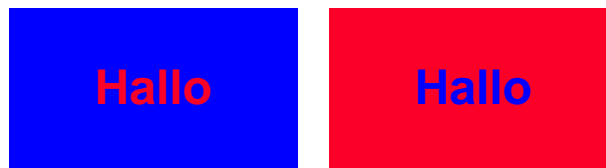
- Geradlinige Ausbreitung
- Reflexion: Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Oberflächen reflektieren unterschiedlich:
  - Reflexionskoeffizient (abhängig von der Wellenlänge)
  - Rauigkeit
- Optische Dichte von Materie, Beugung:
  - Brechungsindex beschreibt niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber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

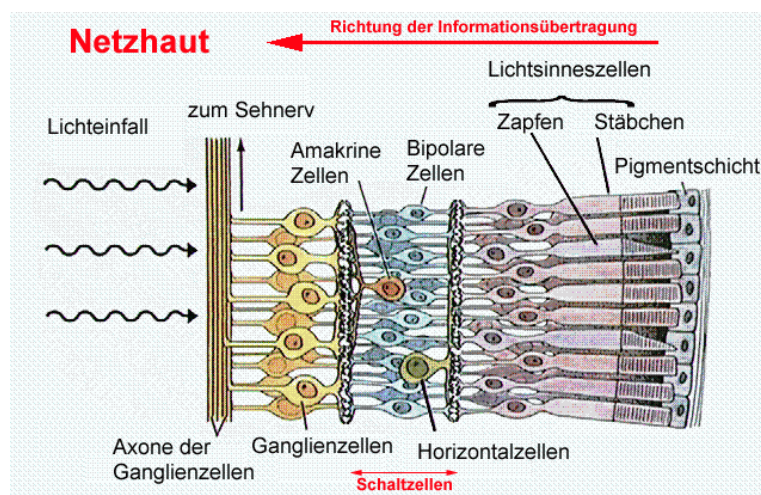


## Beugung und Farbgestaltung

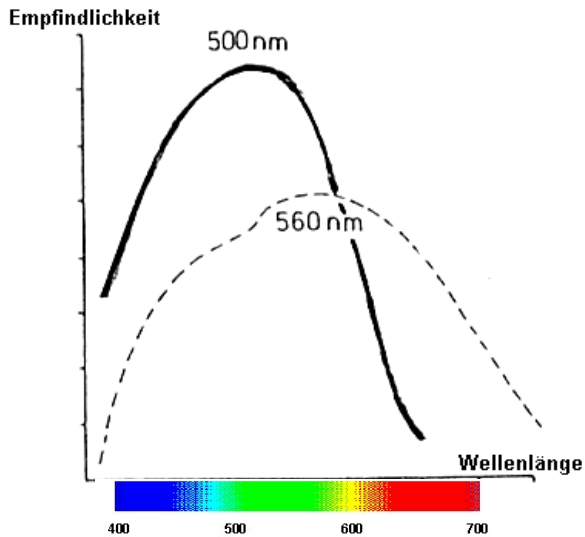
- Brennweite der Augenlinse ist abhängig von der Wellenlänge
  - groß im roten Bereich
  - klein im blauen Bereich
- Betrachtung eines Bildes mit roten und blauen Bereichen:
  - Auge ermüdet
- Rot vor blauem Hintergrund und umgekehrt vermeiden!



## Die Netzhaut (Retina)

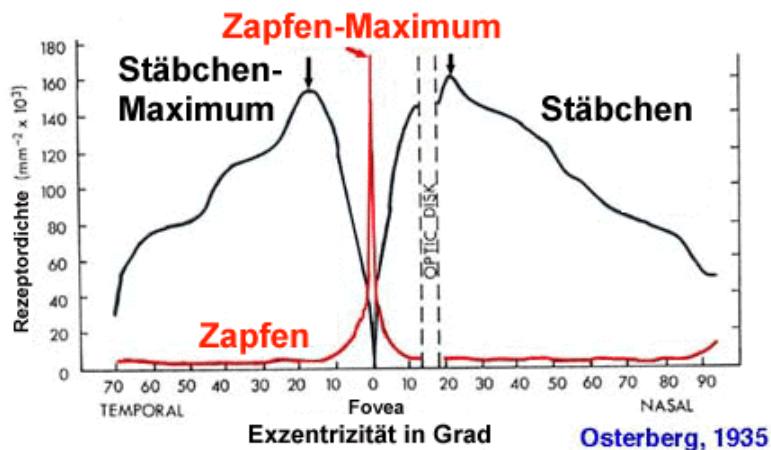


## Stäbchen und Zapfen



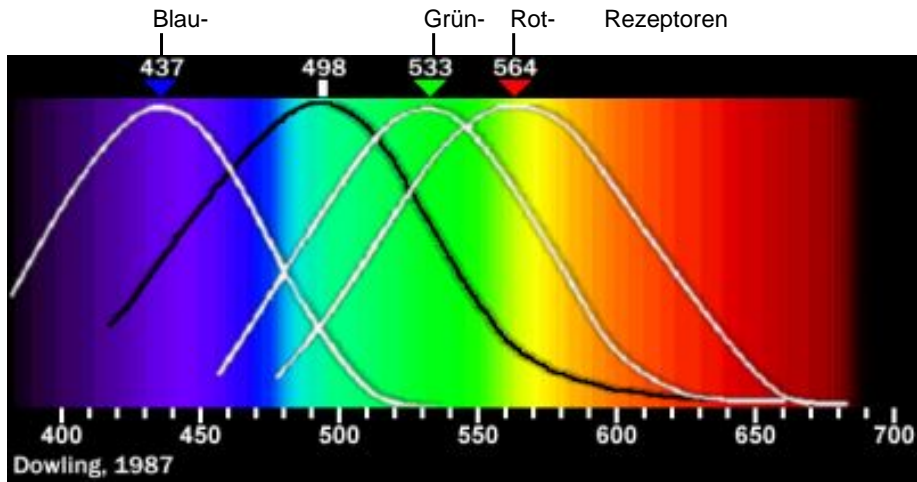
- Durchgezogene Linie: Stäbchen (*rods*)
- gestrichelte Linie: Zapfen (*cones*)
- Stäbchen sind "farbenblind", aber lichtempfindlicher als Zapfen
- Dämmerungssehen mit Stäbchen: Blau = hellgrau, rot = schwarz
- Tagsehen mit Zapfen: Größte Empfindlichkeit für Gelb/orange-Töne

## Verteilung von Stäbchen und Zapfen



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

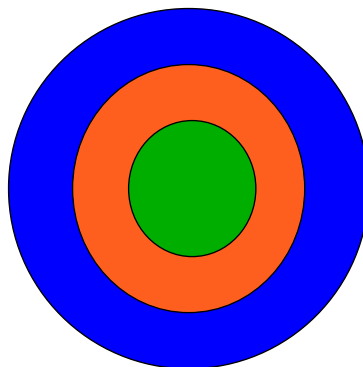
## Verschiedene Typen von Zapfen



- 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

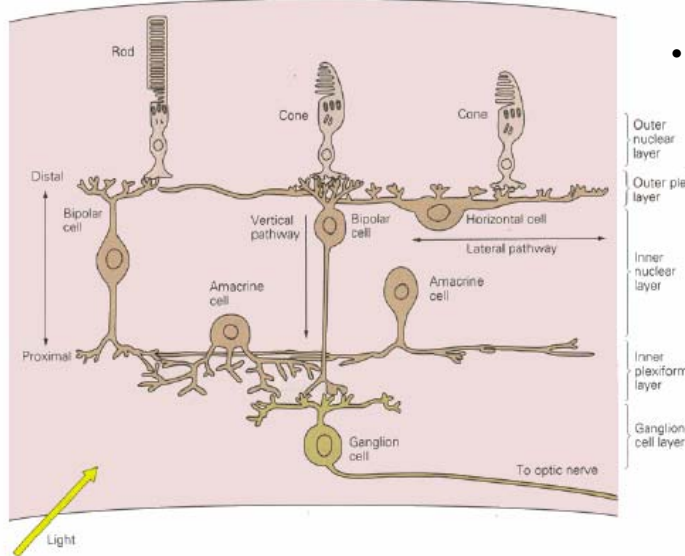
- Im Zwischenhirn werden die separaten Signale für Rot (R), Grün (G), Blau (B) in drei neue Signale umgewandelt:
  - Summensignal  $Y = R + G$  Helligkeit (Gelb)
  - Differenzsignal  $R - G$  Rot/Grün-Unterscheidung
  - Differenzsignal  $Y - B$  Blau/Gelb-Unterscheidung
  - Y (Yellow) heißt *Luminanzsignal*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

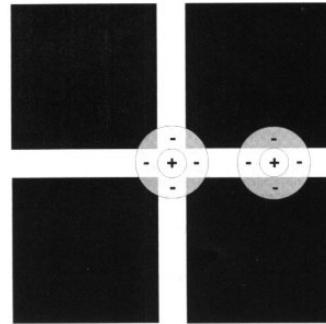
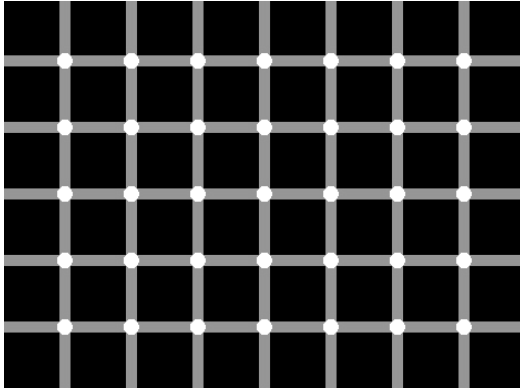


- Ganglien
  - Reizleitung
  - Jede Ganglienzelle mit *vielen* Rezeptoren verschaltet
  - Stäbchen/Zapfen: "Umschalten" Tag-/Nachtsehen
  - Mehrere Stäbchen: "Lateralhemmung" benachbarter Zellen bei starken Reizen



## Erklärung einer optischen Täuschung

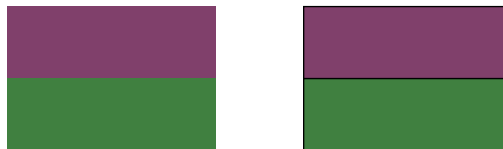
- Hermann-Gitter (Ludimar Hermann 1870), auch Hering-Gitter



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

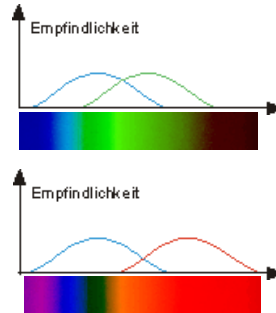
Four Score And Seven Years Ago...

Deuteranopia: Grünblindheit

Four Score And Seven Years Ago...

Tritanopia: Blaublindheit

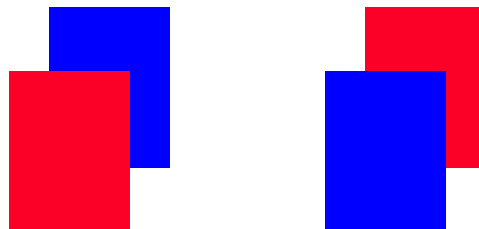
**Four Score And Seven Years Ago...**




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

## Chromostereopsie

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



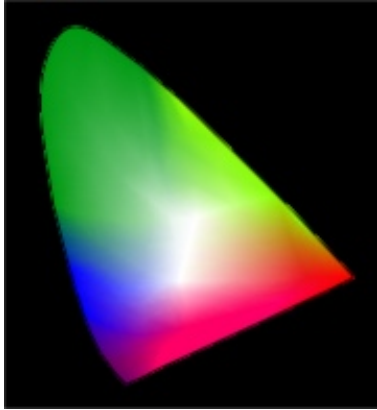
## 6. Licht, Farbe und Bilder

- 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



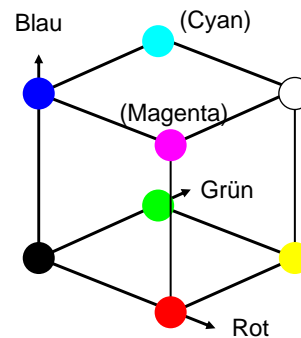
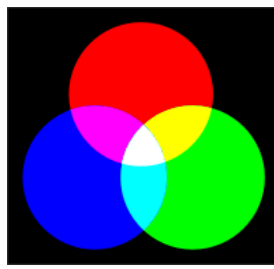
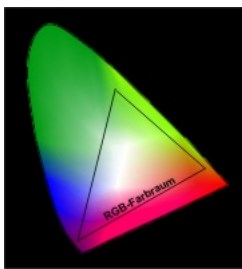
Alle Farbmodelle umfassen einen polygonalen Teilbereich des CIE-Farbraums (*color gamut*)

- 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:

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

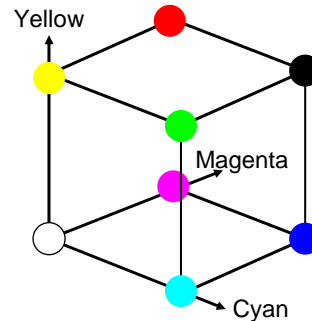
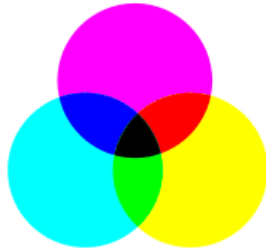
- 1976 verbessertes dreidimensionales Farbmodell (CIE-L\*a\*b): Luminanz plus zwei Chrominanz-Werte (a = Grün/Rot, b = Blau/Gelb)

## 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...

