

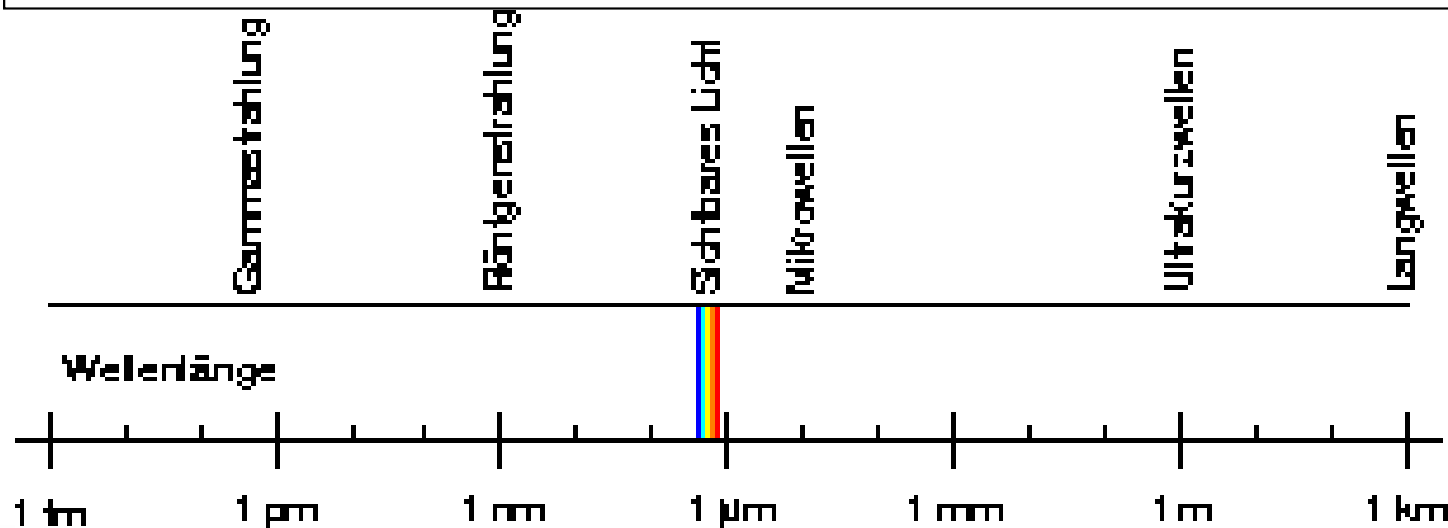


# Vorlesung Computergrafik

## Licht und Farbe

# Eigenschaften des Lichts

- Licht ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von 380 nm (blau) - 780 nm (rot)
- Lichtemission und -absorption sind Quanteneffekte, sie sind nicht mit Hilfe der klassischen Physik (Elektrodynamik) erklärbar.
- Lichtausbreitung kann in den meisten Fällen durch klassische Physik erklärt werden, d.h., sie wird durch Wellenmodelle hinreichend beschrieben.
- Tatsächlich haben Licht-Partikel (Photonen) einen dualen Charakter: Sowohl Welle, als auch Teilchen



Klassisch:  
Brechung, Beugung,  
Reflexion, Streuung

Quantenmechanisch:  
Lichterzeugung  
Lichtwahrnehmung

# Lichtausbreitung I

Für die Informatik sind folgende Annahmen über die Ausbreitung des Lichtes hinreichend

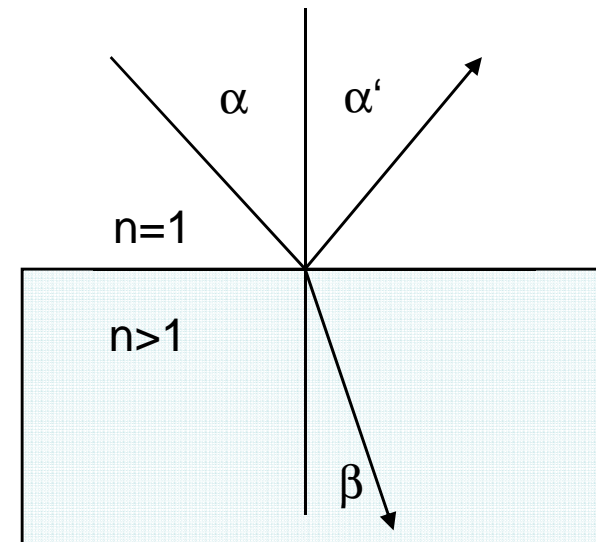
- Materie kann als kontinuierliches Medium angesehen werden, charakterisiert durch Absorptionskoeffizienten (Transparenz) und Brechungsindex (optische Dichte, Geschwindigkeit der Lichtausbreitung).
- Oberflächen sind durch Reflexionskoeffizienten (abhängig von der Wellenlänge, d.h., der Farbe), Emissionskoeffizienten (selbstleuchtende Materialien) und Rauigkeit gekennzeichnet.
- Lichtstrahlen besitzen keine “Farbe”, sondern eine spektrale Verteilung.

# Lichtausbreitung II

- In optisch homogenen Medien breitet sich Licht geradlinig aus, wir können von Lichtstrahlen sprechen.
- Lichtstrahlen kreuzen einander ohne gegenseitige Beeinflussung.
- Der Weg eines Lichtstrahls (Lichtpfad) kann auch umgekehrt durchlaufen werden, er ist invertierbar.
- Bei der Reflexion von Lichtstrahlen ist Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Beim Eintritt in optisch dichtere Medien (höherer Brechungsindex = geringere Lichtgeschwindigkeit) erfolgt eine Brechung des Lichtstrahls in Richtung auf die Senkrechte: Brechungswinkel < Einfallswinkel  
(*Snelliussches Brechungsgesetz*,  
nach Willebrord Snel van Royen, 1591-1626 )

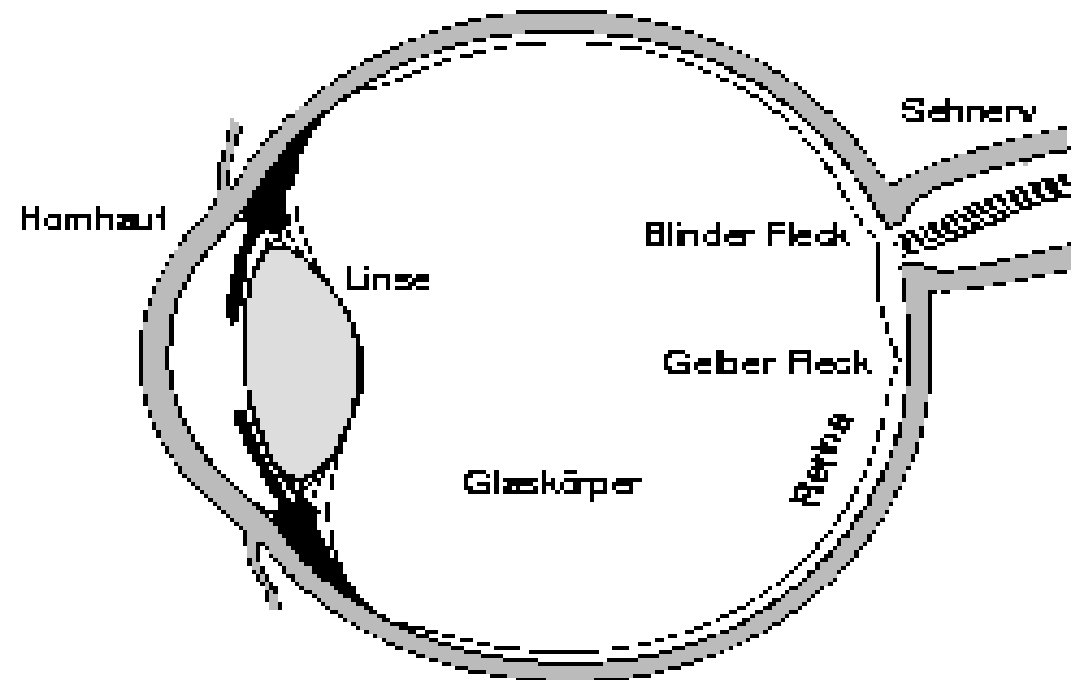
$$\alpha' = \alpha$$

$$\sin \alpha = n * \sin \beta$$



# Lichtwahrnehmung I

- Die Linse des menschlichen Auges fokussiert einfallende Lichtstrahlen auf die Retina (Netzhaut).
- Die Linse absorbiert mehr Licht im blauen als im roten Wellenlängenbereich. Dies nimmt im Alter zu.
- Die Brennweite der Linse ist abhängig von der Wellenlänge: Blau hat kürzere Brennweiten als rot (Dispersion).



Folge:

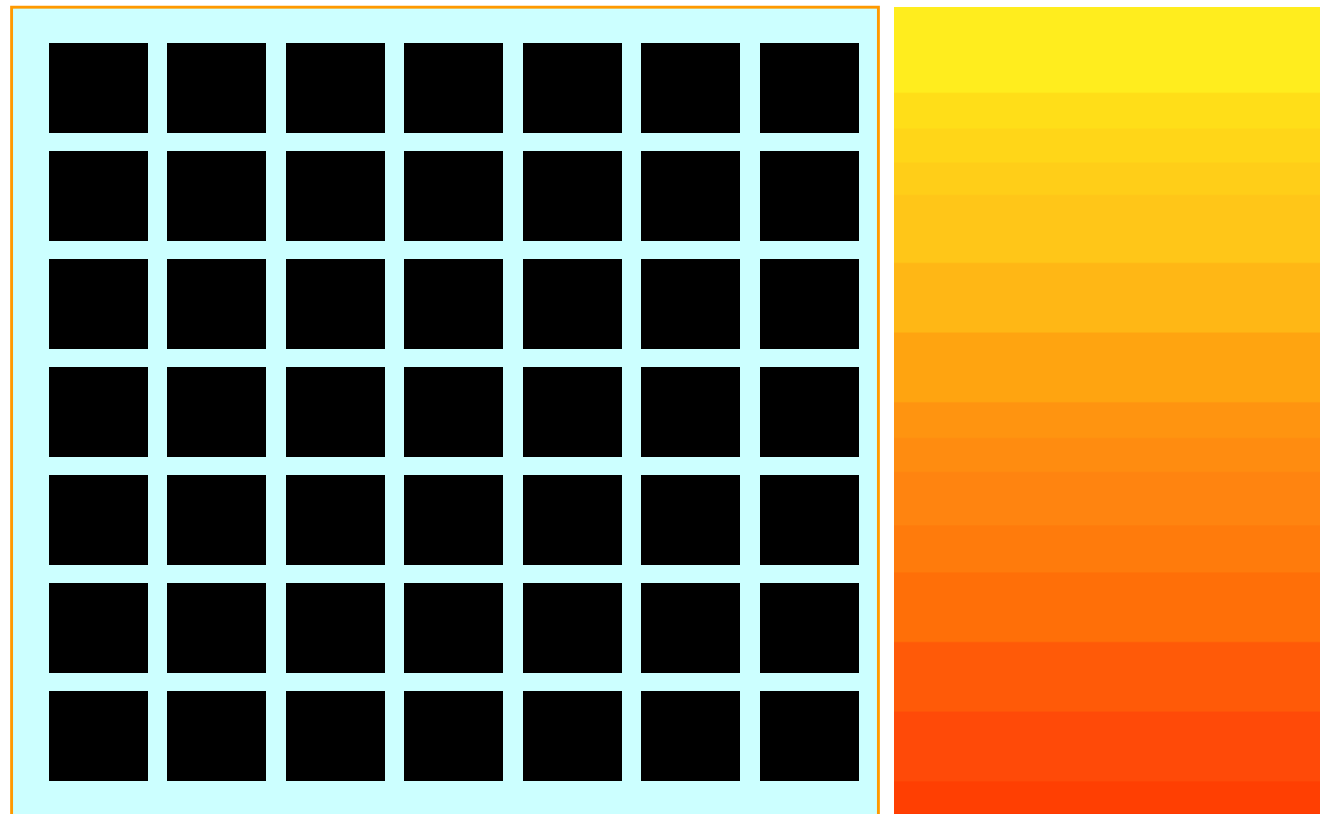
Bei Bildern mit blauen und roten Bereichen muß die Linse permanent ihre Form ändern; das Auge ermüdet. Effekt der Chromostereopsie: rot auf blauem Hintergrund erscheint näher.

**rot vor blau ?**

**Chromostereopsie**

# Machband-Effekt

- Der 1865 von Mach entdeckte Machband-Effekt sorgt dafür, daß Helligkeitsunterschiede zwischen zwei Flächen in der Nähe ihrer Grenze stärker wahrgenommen werden.
- Ursache: Gegenseitige Dämpfung benachbarter Lichtrezeptoren auf der Netzhaut
- Die Flachsattierung polygonaler Modelle wird dadurch besonders deutlich



# Farbenblindheit

- Wir erkennen Objekte vor allen mit Hilfe von **Kantendetektion**: Abrupte Helligkeitswechsel werden schärfer wahrgenommen als Wechsel im Farbton.
- Farbverläufe in reinem Blau erzeugen keine scharfen Kanten.
- **Farbenblindheit**:
  - betrifft 8% der männlichen, 1% der weiblichen Bevölkerung
  - meist **Rot-Grün-Defizit** durch Mangel an roten oder grünen Photopigmenten auf der Retina
  - Probleme bei der Unterscheidung von Farben, die vom rot:grün-Anteil abhängen



# Lichtwahrnehmung II

- Die menschliche Netzhaut (Retina) enthält **Photorezeptoren** unterschiedlicher Sensitivität:
  - Stäbchen für die Helligkeitsempfindung („Nachtsehen“), konzentriert in der Peripherie der Netzhaut
  - Zäpfchen für die Farbempfindung, konzentriert im Zentrum
    - 4% **blau-sensitive**, 430 nm (höhere Dichte in Peripherie)
    - 32% **grün-sensitive**, 530 nm (höhere Dichte im Zentrum)
    - 64% **rot-sensitive**, 560 nm (fast gelb)
- 3 Photorezeptoren für Farbe -> es genügen **3 Zahlenwerte** für die quantitative Beschreibung von Farben.

# Lichtwahrnehmung III

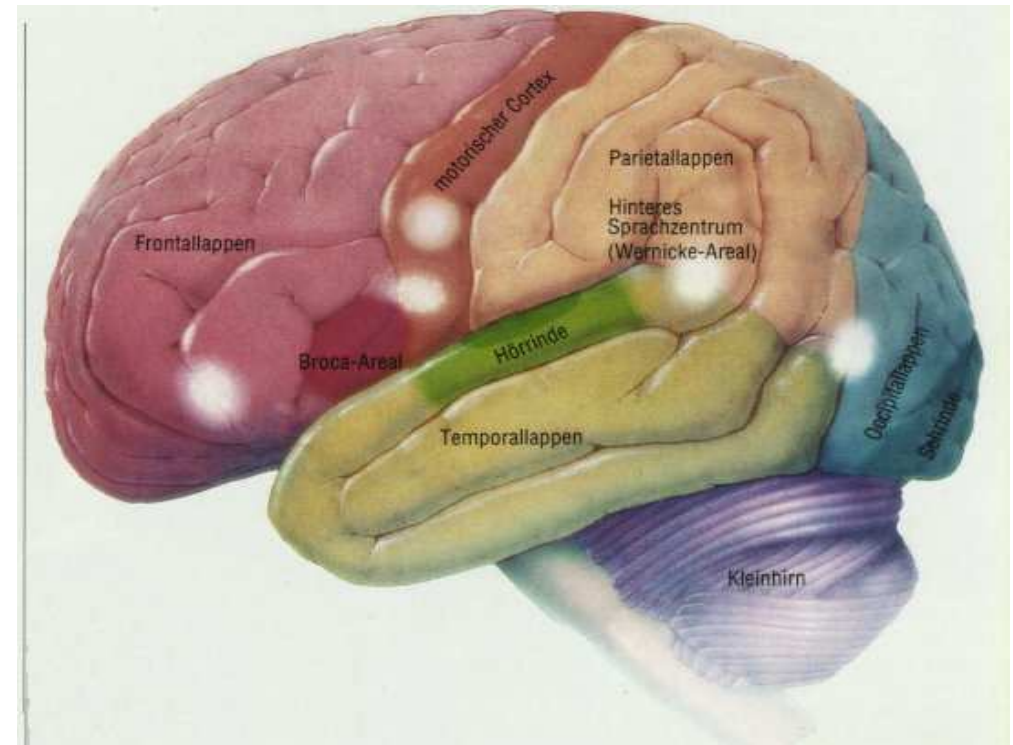
Über den **Sehnerv** gelangt die Farb- und Helligkeitsinformation in den **lateralen genikulalen Körper**, eine Farbverarbeitungseinheit, die die RGB-Signale in drei neue Signale wandelt:

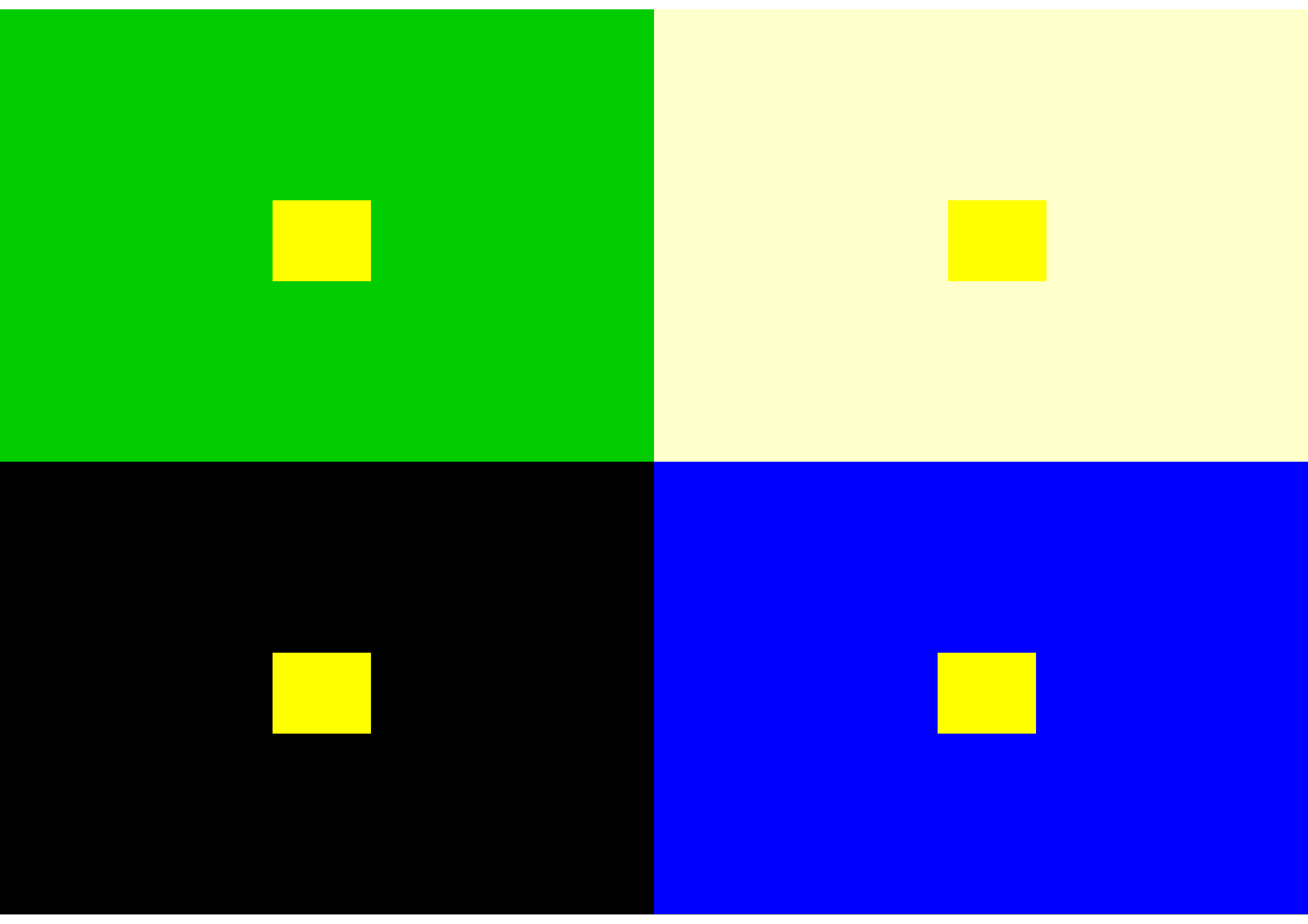
**R-G:** Rot/Grün-Wahrnehmung  
**Y = R+G:** Helligkeits- und Gelbwahrnehmung.

**Evolution des Menschen !**

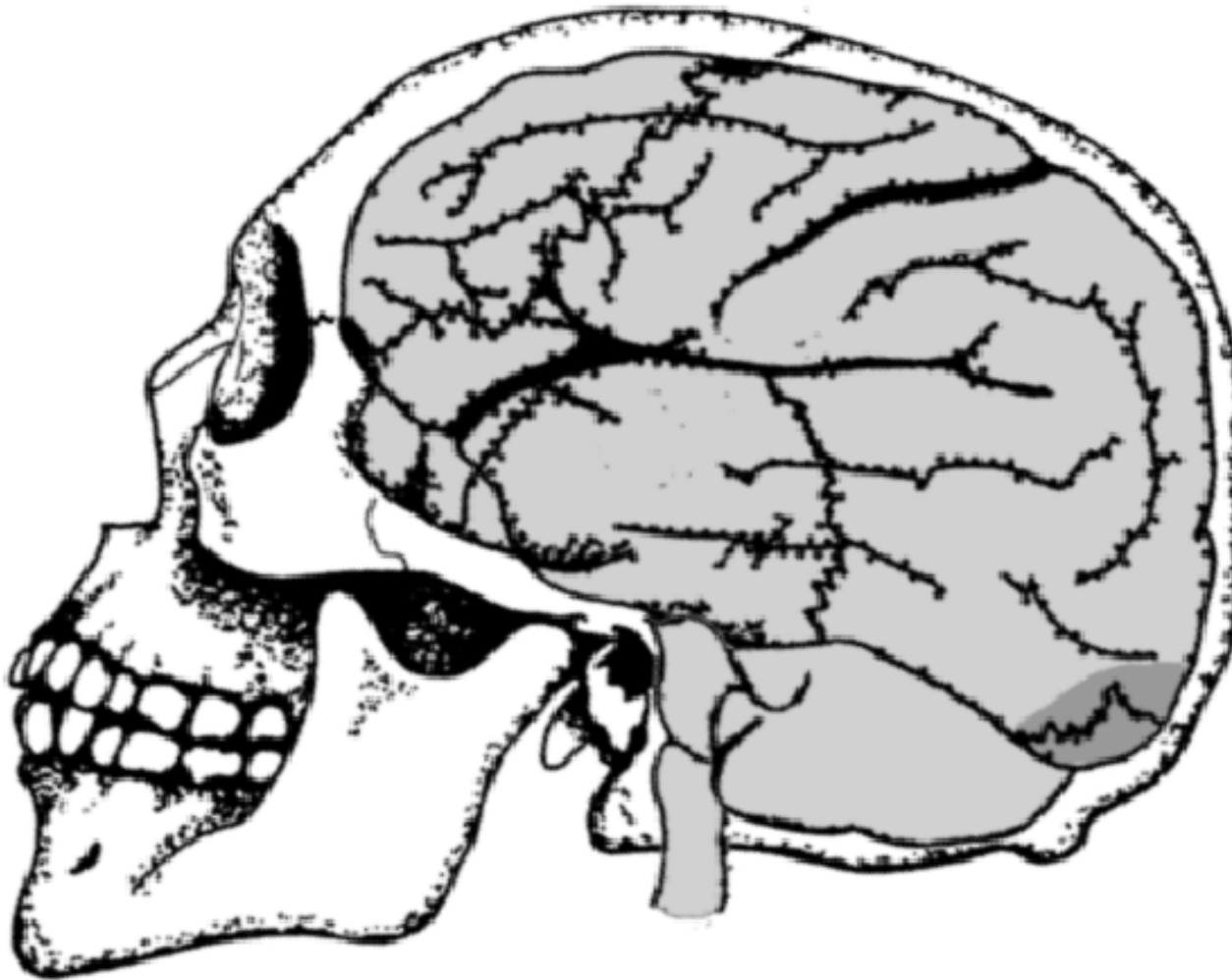
**Y-B:** Gelb/Blau-Wahrnehmung

Der **Blauanteil** spielt keine Rolle bei der Helligkeitsempfindung.  
Farben wie “rötlich-grün” oder “bläulich-gelb” sind physiologisch unmöglich.





# Sehzentrum



Das eigentliche Sehzentrum liegt im Hinterkopf, in maximaler Entfernung von den zugehörigen Sensoren.

Es handelt sich „nur“ um ein sekundäres Sehzentrum, der laterale genikulale Körper ist das primäre Sehzentrum

# Helligkeit und Luminanz

**Helligkeit** ist ein subjektiver Begriff

(ein physiologischer Begriff)

- ist die Eigenschaft einer subjektiven visuellen Empfindung:  
*“Eine Fläche strahlt mehr oder weniger Licht ab.”*
- **Helligkeitsempfindung** ist ein komplexer psycho-physiologischer Vorgang und mathematisch schwer faßbar.
- **Lightness**: Helligkeit eines *reflektierenden* Objekts
- **Brightness**: Helligkeit eines *selbstleuchtenden* Objekts (Lampe, Sonne, CRT)

**Luminanz / Intensität**: (ein physikalischer Begriff)

- **Intensität** ist ein Maß für die Energie, die von einer Fläche abgestrahlt wird oder auf eine Fläche auftrifft.
  - ( Einheit = Energie/Fläche = Energiedichte)
- **Luminanz** ist das einzige Merkmal achromatischen Lichts.

# Farbtemperatur I

- Ein **schwarzer Strahler (black body radiator)** strahlt Licht aus, dessen Farbe eine Funktion seiner Temperatur ist (Max Planck).
- Analog dazu kann die Farbe selbstleuchtender Objekte mit (subjektiv !) gleichem Farbton in Kelvin angegeben werden:
  - 60 Watt-Glühbirne: 2800 K
  - Weiße Leuchtstoffröhre: 4400 K
  - Sonnenlicht im Sommer: 5500 K (= Oberflächentemperatur der Sonne)
  - Blaue Leuchtschicht CRT: 9300 K

Spektrale Energiestromdichte eines Schwarzen Strahlers

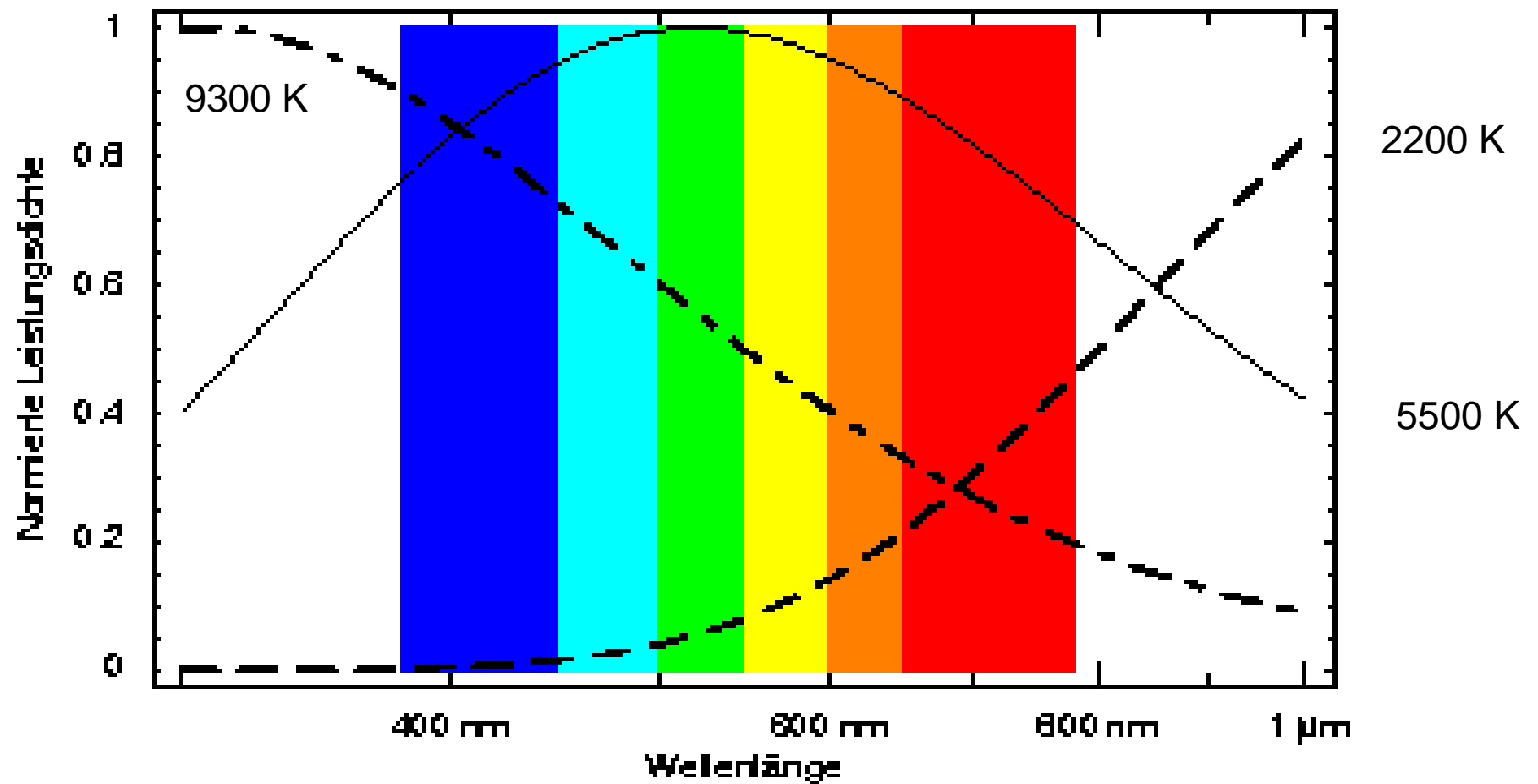
$$S(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} * \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

$$c_1 = 11.72 * 10^{-13} \text{ Wm}^{-2}$$

$$c_2 = \frac{hc}{k} = 1.43 * 10^7 \text{ nm K}$$

**ACHTUNG, Satzfehler im TB MM**

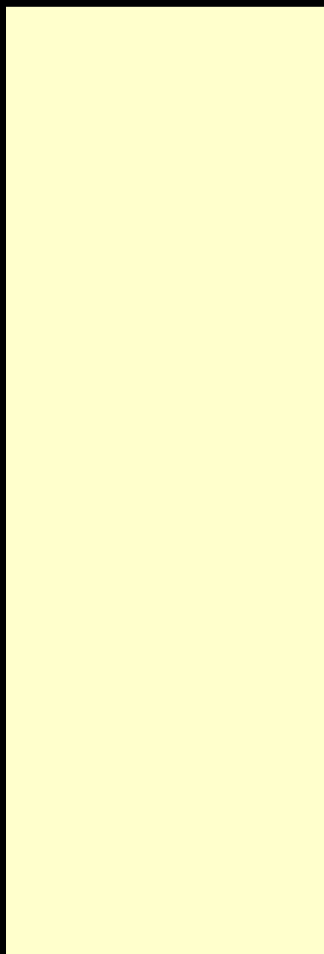
## Farbtemperatur II



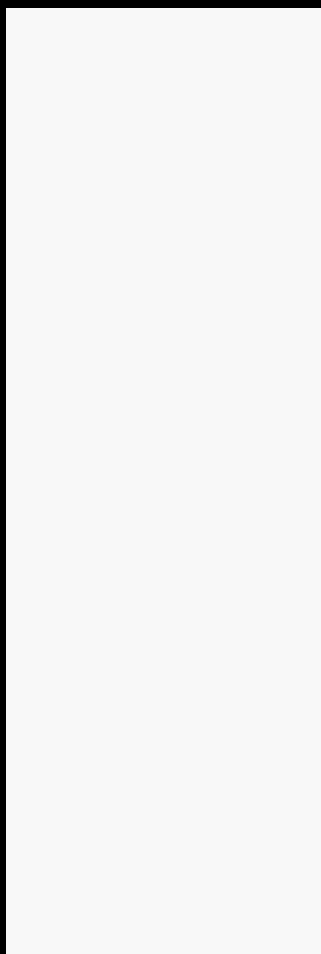
Der Sehapparat ist tolerant gegen Fehler der Farbtemperatur. In einem abgedunkelten Raum (Kino) können hellgelb oder hellblau auf einem Dia als weiß empfunden werden.



weiß ?



weiß ?



weiß ?



weiß ?



# Farbmerkmale

## subjektiv

### Farbton (Hue):

unterscheidet zwischen reinen Farben  
(rot, gelb, grün, blau, etc.)

### Sättigung (Saturation):

Entfernung der Farbe von einem Grau gleicher Helligkeit  
(Beispiel: Pink ist weniger gesättigt als rot)

### Helligkeit (Lightness/Brightness)

## objektiv: Colorimetrie

### dominante Wellenlänge

### Reinheit

- Verhältnis zwischen dominanter Wellenlänge und Weißanteil.
- zu **100% gesättigte** Farben enthalten kein Weiß.
- Weiß und die Graustufen sind zu 0% gesättigt.

### Luminanz/Intensität

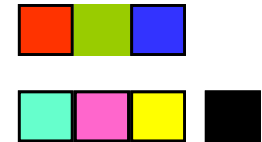
- Strahlungsenergie

# Farbmodelle

- Ein **Farbmodell** ist die Spezifikation eines 3D-Koordinatensystems und einer Untermenge darin, in der alle sichtbaren Farben eines bestimmten Farbbereichs (Color Gamut) liegen.
- Zweck: Bequeme Spezifikation von Farben für die Computergrafik
- Ein Farbmodell enthält nicht unbedingt alle wahrnehmbaren Farben!

- **Hardware-orientierte Farbmodelle:**

- RGB
- CMY, CMYK
- YIQ, YUV



- **Benutzer-orientierte Farbmodelle:**

- HSV, HSB
- HLS
- HVC

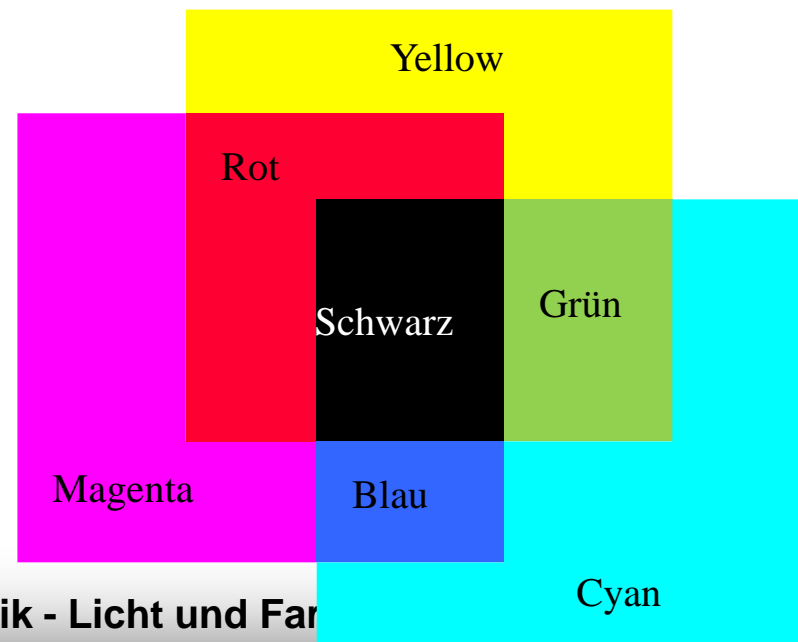
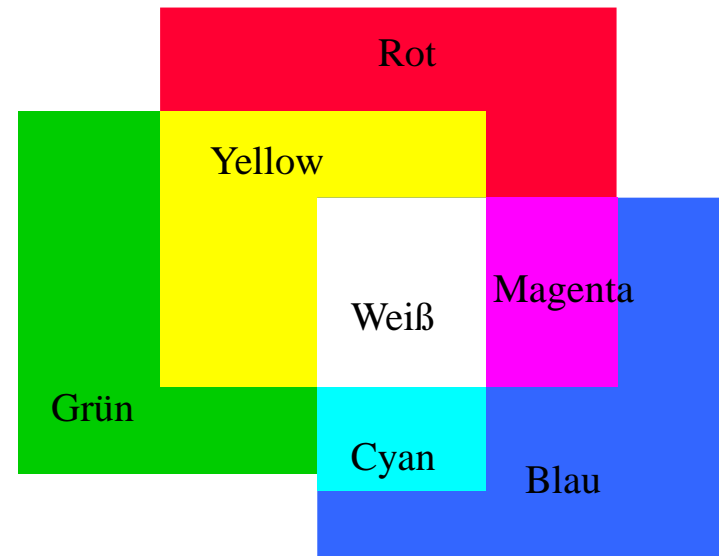
# Farbmischung

## Additive Farbmischung:

- Spektralkomponenten werden addiert.
- Summe aller Farben = weiß
- Verwendung in Displays 💬

## Subtraktive Farbmischung: 💬

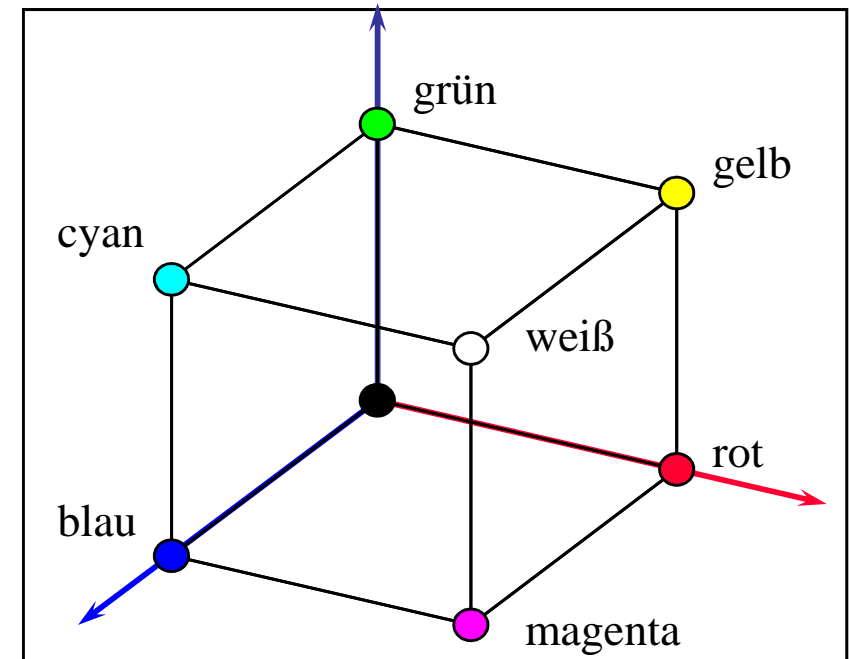
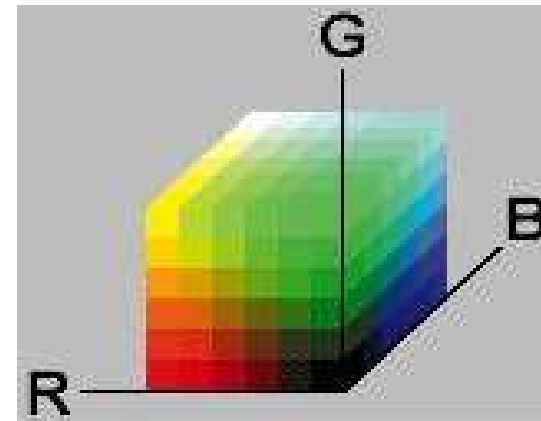
- Absorptionskomponenten werden addiert.
- Summe aller Farben = schwarz
- Verwendung in Druckern



# RGB-Farbmodell I

- Rot, Grün, Blau als Einheitsvektoren
- **additives** Farbmodell
- verwendet zur Ausgabe auf Farbbildschirmen
- Farbraum: **RGB-Farbwürfel** (Einheitswürfel), kartesisches Koordinatensystem
- Grauwerte auf Hauptdiagonale
- Beispiele:

– rot	( 1.0 , 0.0 , 0.0 )
– blau	( 0.0 , 0.0 , 1.0 )
– gelb	( 1.0 , 1.0 , 0.0 )
– hellgrau	( 0.9 , 0.9 , 0.9 )





# RGB-Farbmodell II



# CIE-Diagramm I

**CIE - Commission Internationale de l'Eclairage**

Diagramm zur Farbstandardisierung (1931)

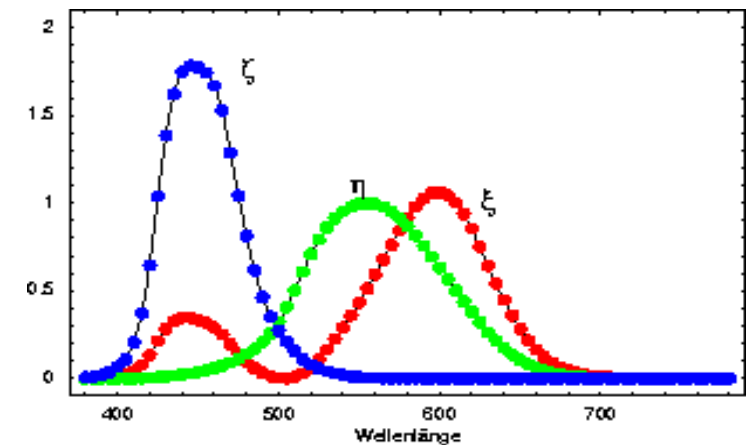
Aus dem **Spektrum**  $E(\lambda)$  und **3 Gewichtsfunktionen**  $\xi(\lambda), \eta(\lambda), \zeta(\lambda)$  ergeben sich 3 Zahlen zur Farbspezifikation

$$X = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda) \cdot \xi(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda) \cdot \eta(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda) \cdot \zeta(\lambda) d\lambda$$

$$\left( \underbrace{\frac{X}{X+Y+Z}}_x, \underbrace{\frac{Y}{X+Y+Z}}_y, \underbrace{\frac{Z}{X+Y+Z}}_z \right)$$



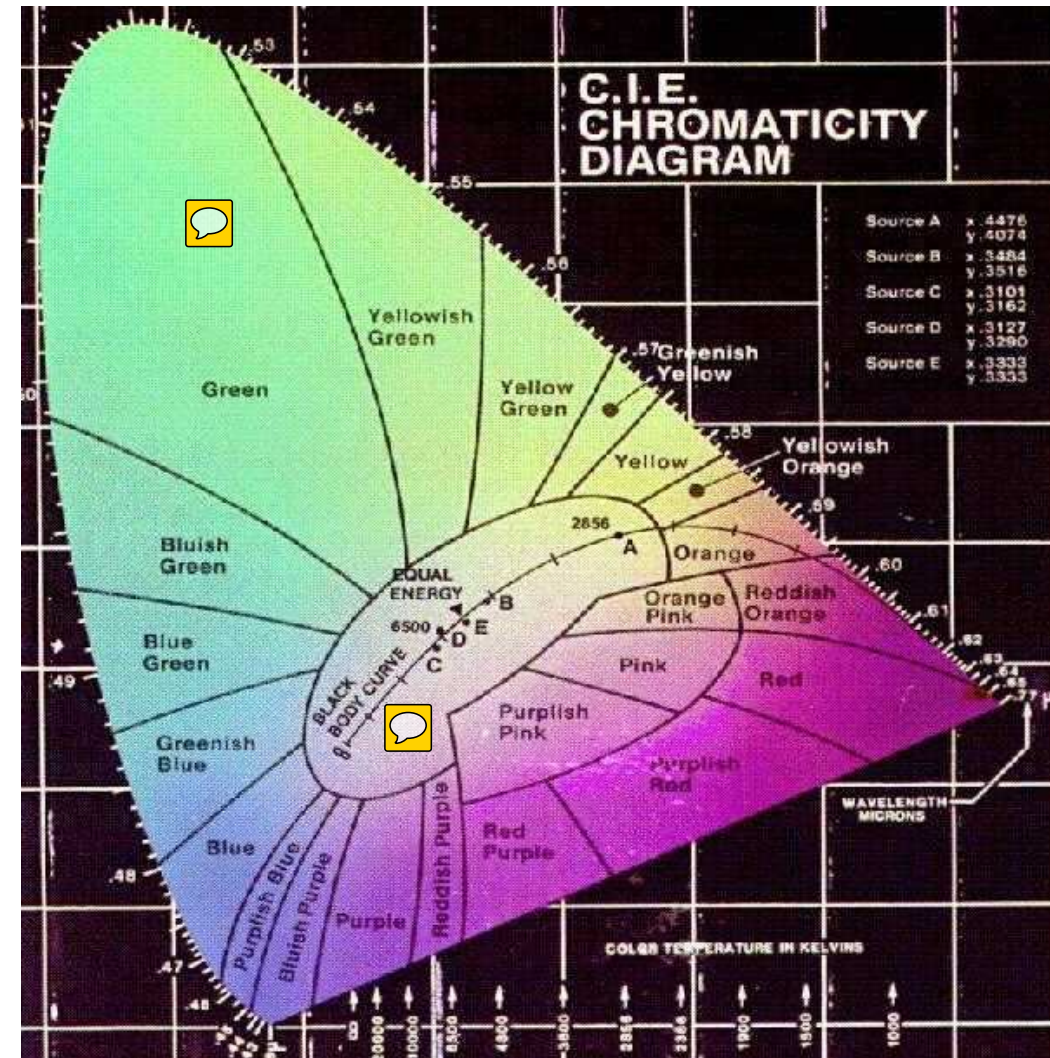
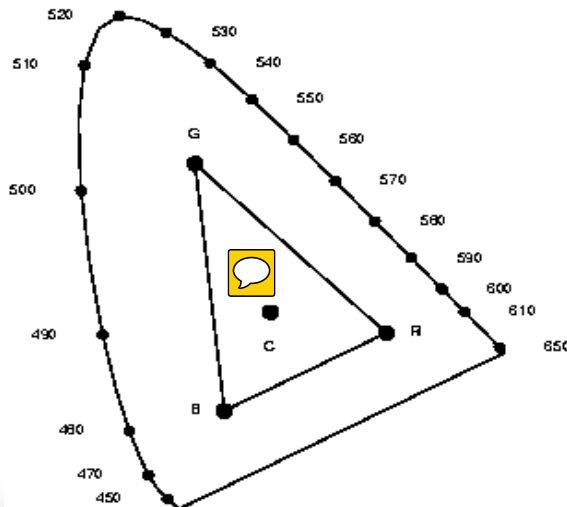
Nur zwei unabhängige Koordinaten, denn  $x + y + z = 1$ ,  $z = 1 - x - y$



# CIE-Diagramm II

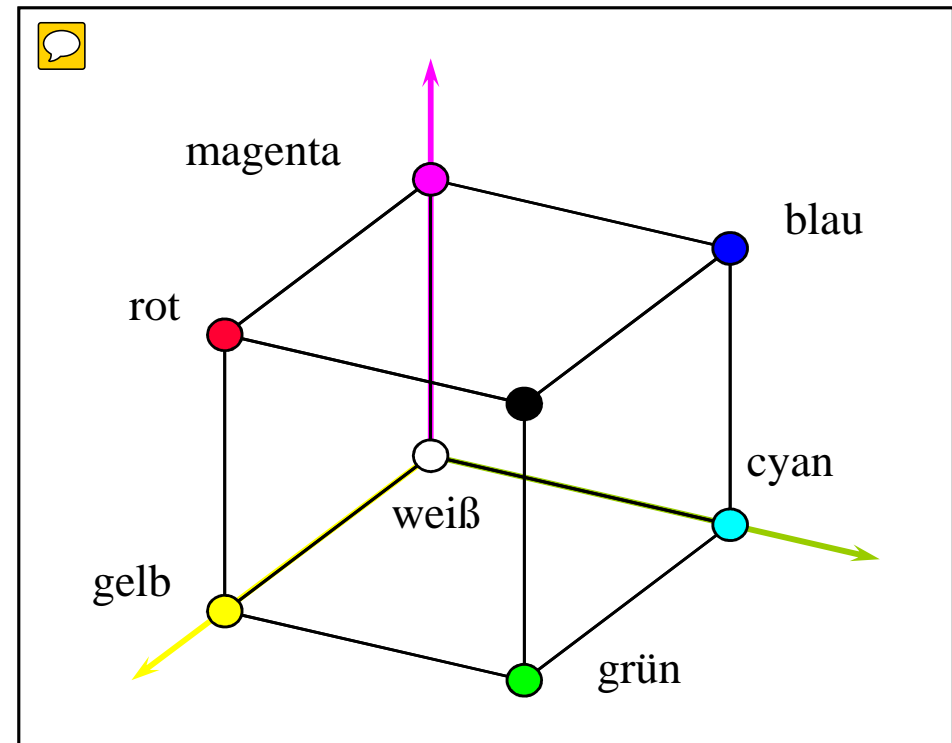
## Das CIE-Diagramm

- dient zur Eichung von Colorimetern, Spektroradiometern, Farbbereichen, etc.)
- enthält keine Luminanzinformation (z.B. ist braun als dunkles orange nicht enthalten)
- ist also keine vollständige Farbpalette.



# CMY - Farbmodell I

- Cyan, Magenta, Yellow
- **subtraktives** Farbmodell
- verwendet zur Ausgabe auf Druckern
- **Dreifarbendruck:**  
Farbbeschichtung auf Papier absorbiert bestimmte Wellenlängenbereiche aus auffallendem weißen Licht
- Da die Mischung C+M+Y meist nicht reines Schwarz ergibt und das Papier aufweicht, wird oft schwarzes Pigment zugesetzt.  
( **Vierfarbendruck** )  
**CMYK** => K für KEY, zu merken auch als black





## CMY - Farbmodell II




# Farbkonvertierung I

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

Umrechnung RGB - CMY

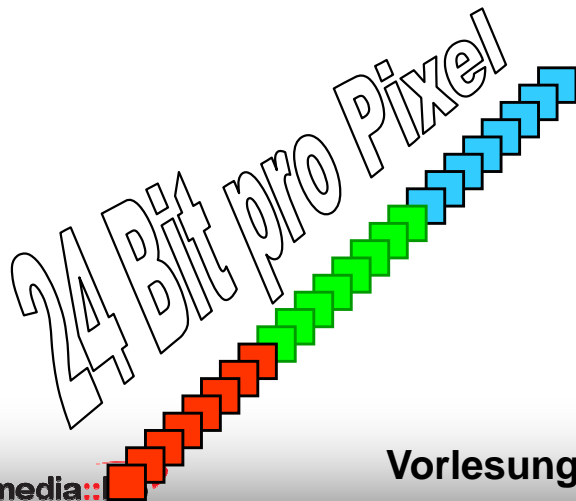
Umrechnung CMY - CMYK

$$K = \min(C, M, Y)$$

$$\begin{pmatrix} C' \\ M' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} K \\ K \\ K \end{pmatrix}$$


# True Colour

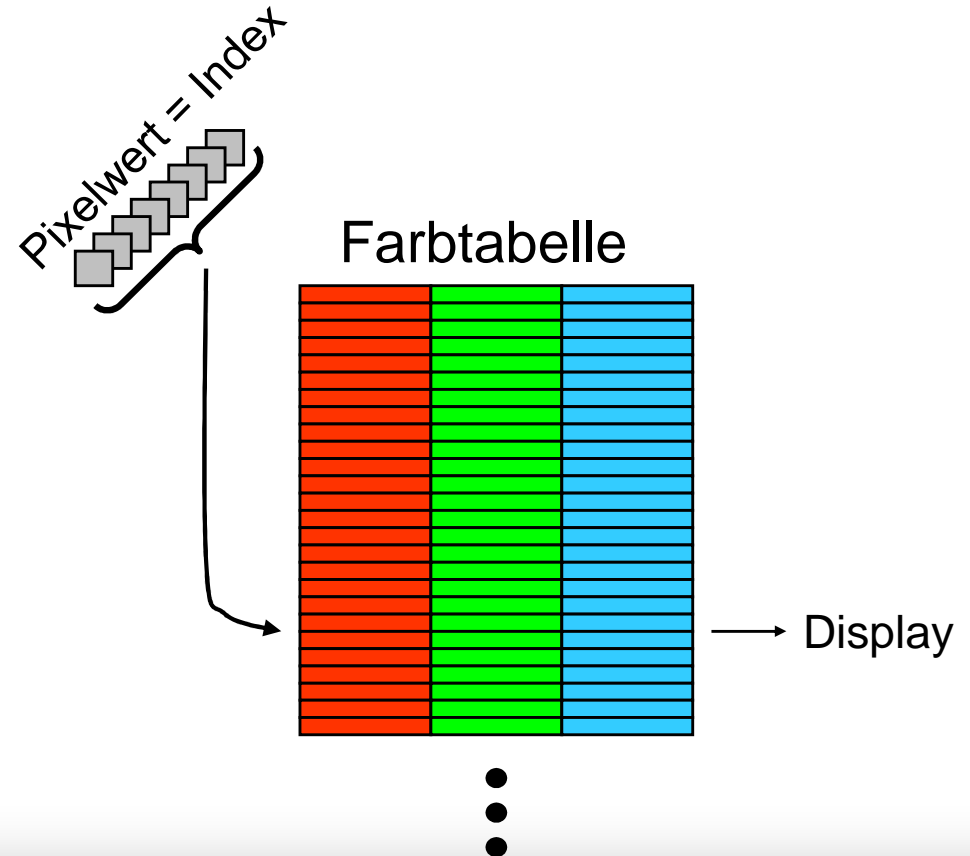
- **True Colour:**  
Bereitstellung von drei separaten Komponenten für additive RGB-Farbproduktion
- meist 1 Byte pro Komponente  
daher auch „**24-Bit Farbtiefe**“
- oft existiert zusätzlich eine Lookup-Tabelle, um Nichtlinearitäten zwischen den Farbkomponenten im Framebuffer und Display-Kanälen auszugleichen.
- Bemerkung: In X11 „TrueColour“  $\neq$  „DirectColour“



16 Millionen  
Farbwerte  
möglich

# Pseudo Colour

- auch „**Indexed Colour**“
- eine relativ geringe Anzahl von RGB-Farbwerten wird in einer **Farbtabelle** (oder CLUT) bereitgestellt  
z.B. 256 verschiedene Werte
- Der Framebuffer speichert pro Pixel nur einen **Index** in diese Farbtabelle.
- Dateiformate wie GIF oder TIFF enthalten (oft gamma-korrigierte) Farbtabellen.



# Gamma-Korrektur

- Helligkeit und Intensität sind verschieden - bei jeder Farbe anders...
- Displays reagieren nichtlinear auf eine Steigerung der Intensitätswerte (z.B. Spannungen). Bei Kathodenstrahlröhren ist z.B. die Anzahl der Photonen proportional zu einer Potenz der angelegten Spannung, mit einem Exponenten  $\gamma$  2,3- 2,55
- Displays sind individuell verschieden. Ein Bild kann auf einem Monitor grünlich, auf einem anderen eher bräunlich erscheinen.
- Eine Korrektur dieser Effekte ist über die CLUT (Color Look-Up Table) möglich, dies ist die Gamma-Korrektur.

# YIQ / YUV-Farbmodelle

- Verwendet in der **Fernseh-/Videotechnik** zur Steigerung der Übertragungseffizienz und zur Abwärtskompatibilität mit dem Schwarzweiß-Fernsehen.
- Das Signal ist zusammengesetzt aus
  - einem **Luminanzsignal** **Y**   
(Helligkeitsinformation, nicht Yellow!)
  - zwei **Chrominanzsignalen** **I** und **Q**  
( bzw. **U** und **V** )
- Das Luminanzsignal ist für den Detail-Eindruck wichtiger als die Farbsignale und erhält deshalb mehr Bandbreite => Color Subsampling 

# Farbkonvertierung II



$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

USA

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.587 & -0.331 & 0.500 \\ 0.114 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Europa

Alternativ:  $C_b = (B - Y) = U / 0.577$     Chrominanz Blau  
 $C_r = (R - Y) = V / 0.713$     Chrominanz Rot

# Farb-Subsampling

4:4:4

R0	R1
R2	R3

4:2:2

Y0	Y1
Y2	Y3

4:1:1

Y0	Y1	Y2	Y3
Y4	Y5	Y6	Y7

4:2:0

Y0	Y1
Y2	Y3

Achtung: der wichtigste Aspekt ist die **MITTELUNG** über nebeneinanderliegende Pixel in den Farbkanälen.

G0	G1
G2	G3

U0
U1

	U0	
	U1	

	U0
--	----

Es wird nicht einfach etwas „weggelassen“

B0	B1
B2	B3

V0
V1

	V0	
	V1	

	V0
--	----

3\*4 = 12 Byte  
für 4 Pixel

4+2\*2 = 8 Byte  
für 4 Pixel

8+2\*2 = 12 Byte  
für 8 Pixel

4+2 = 6 Byte  
für 4 Pixel

100 %

66%

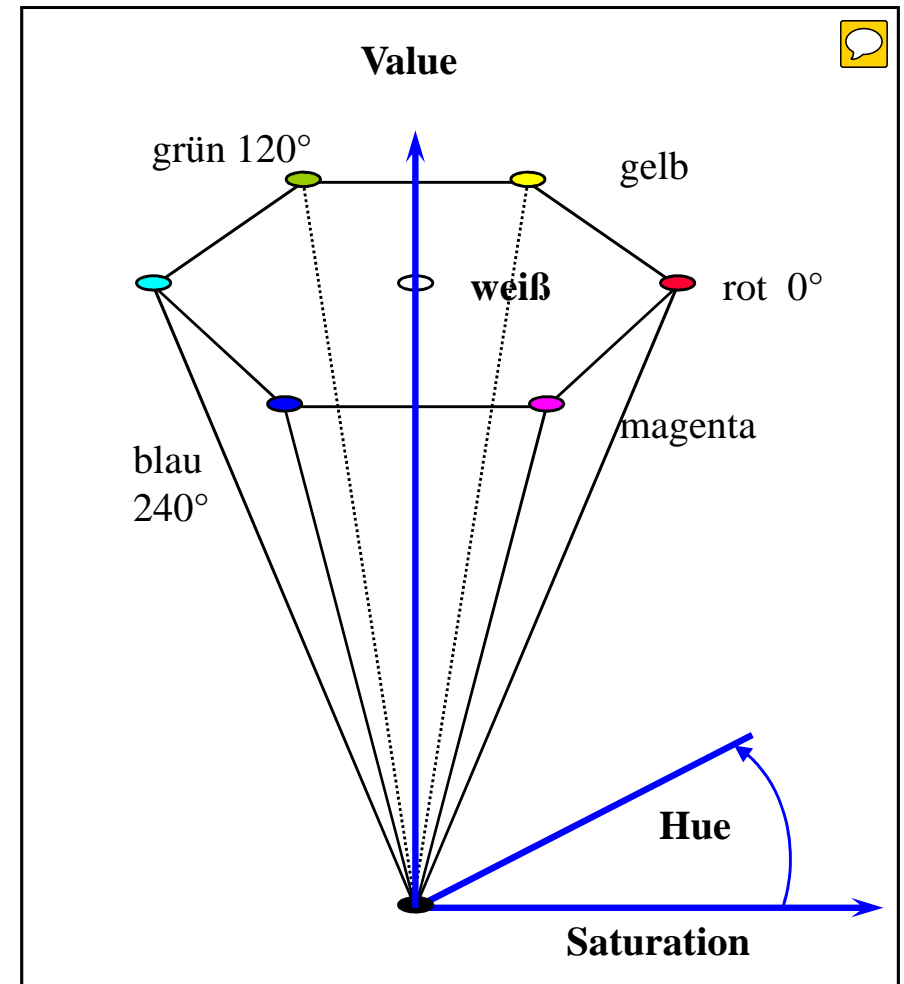
50%

50% **Datenmenge**



# HSV-Farbmodell I

- **Hue, Saturation, Value/Brightness** (Farbton, Sättigung, Helligkeitswert)
- Eine Änderung der **Sättigung** entspricht Hinzufügen oder Entfernen von Weiß
- Eine Änderung des **Helligkeitswerts** entspricht dem Hinzufügen oder Entfernen von Schwarz.
- Farbraum: “**Hexcone**” (bzw. 6-seitige Pyramide), Zylinderkoordinaten entspricht Blick auf den RGB-Würfel entlang der Grauwert-Diagonalen
- Beispiele:  
reines blau:  $H=240^\circ$ ,  $S=V=1$   
dunkelblau:  $H=240^\circ$ ,  $S=1$ ,  $V=0.3$



# HSV-Farbmodell II



H



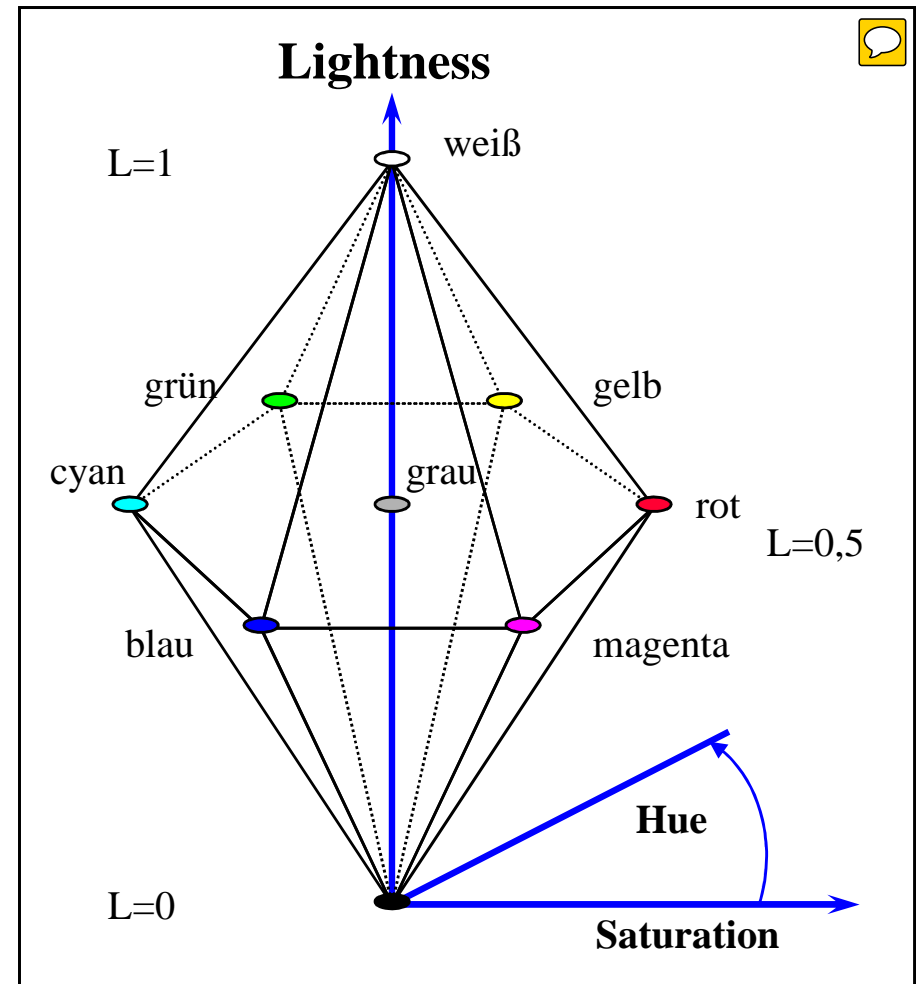
S



V

# HLS-Farbmodell

- **Hue, Lightness, Saturation** (Farbton, Helligkeit, Sättigung)
- eingeführt von Tektronix
- Doppel-Pyramide, 6-seitig
- Die Strategie von Malern:  
Wähle ein reines Pigment (**Hue**), mische weißes Pigment dazu (**Saturation**), mische schwarzes Pigment dazu (**1-Lightness**)
  - Für die Graustufen gilt:  $S=0$
  - Für vollgesättigte Farben gilt:  $L=0.5 \quad S=1$



# Historisch: TekHVC-Farbmodell

- Die Farbmodelle RGB, CMY, YIQ, HSV, HLS sind **nicht wahrnehmungsuniform**:
  - Helligkeit wird trotz gleicher Luminanz bei unterschiedlichen Farbtönen unterschiedlich empfunden.
  - Bei gesättigten Farben ist das Auge weniger sensitiv für Farbtonunterschiede.
  - Die Anzahl der unterscheidbaren Sättigungsstufen liegt je nach Wellenlänge zwischen 16 und 23.
- Tektronix hat eine Variante des CIE-Farbmodells vorgeschlagen, in dem gemessene und empfundene Farbabstände fast gleich sind: Das **TekHVC-Modell mit den Koordinaten Hue, Value, Chroma**

# Farbkonvertierung III

RGB  $\Rightarrow$  HLS, HSV

Berechne zunächst Hilfsgrößen.

Dann:

$$H = \arctan\left(\frac{s}{c}\right) + \begin{cases} 180, & \text{wenn } c < 0 \\ 360, & \text{wenn } s < 0 \text{ und } c > 0 \end{cases}$$

$$S = m_1 - m_2$$

$$V = m_1$$

$$L = m_1 \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{2}\right)$$

$$c = \sqrt{\frac{2}{3}}R - \sqrt{\frac{1}{6}}(G + B)$$

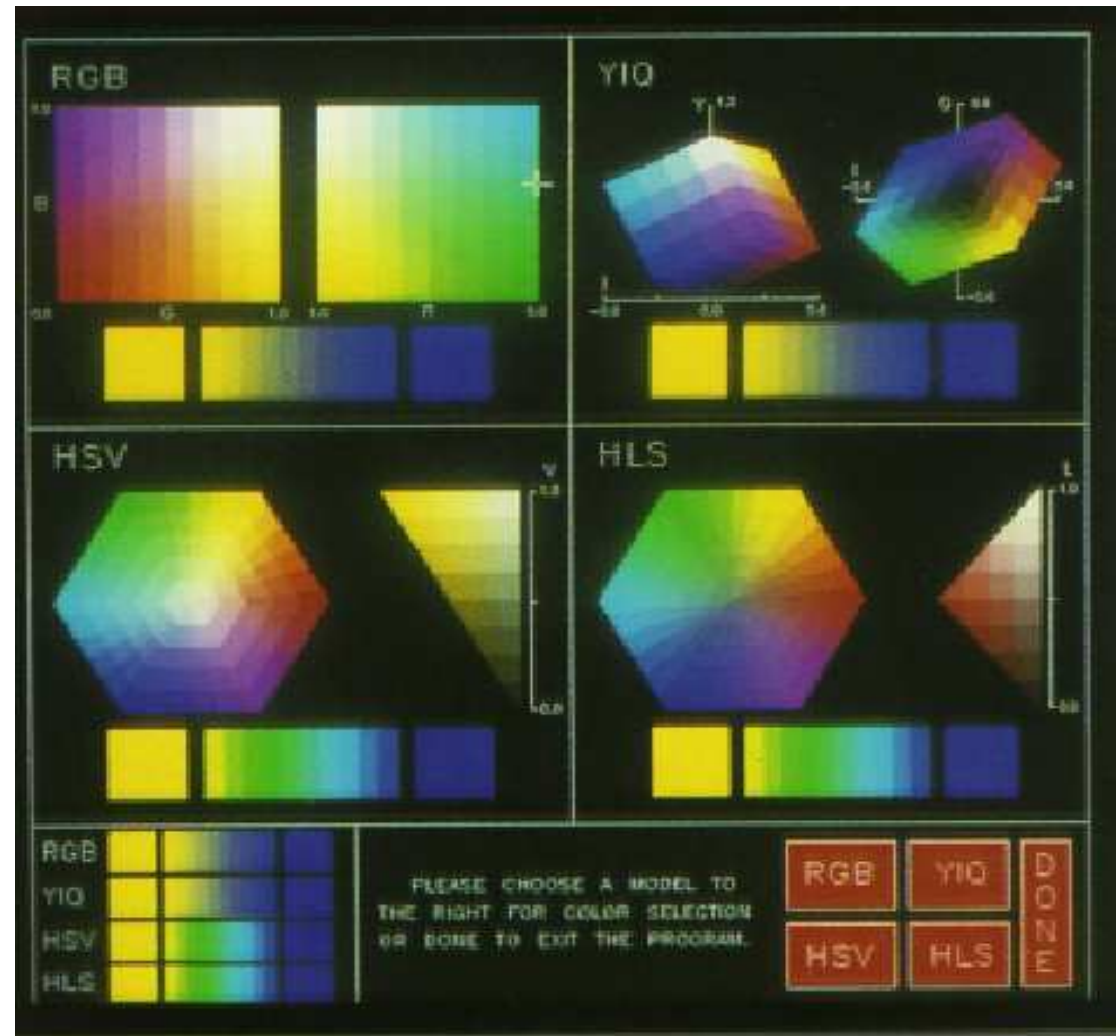
$$s = \sqrt{\frac{1}{2}}(G - B)$$

$$m_1 = \max(R, G, B)$$

$$m_2 = \min(R, G, B)$$

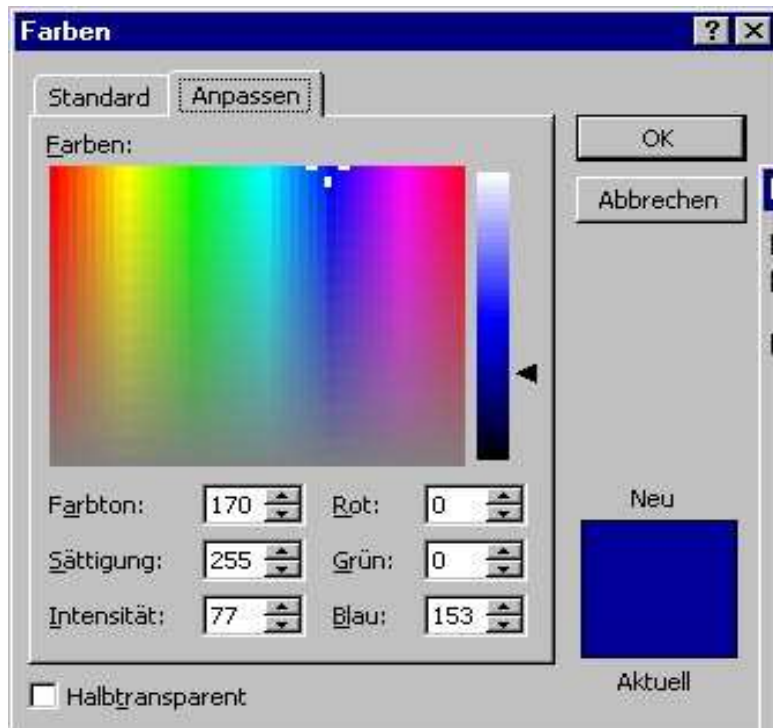
# Farbkonvertierung pragmatisch

- Konvertierungen zwischen den Farbmodellen werden in **Malprogrammen** oder **Paintsystemen** durchgeführt, um von den intuitiven Modellen HLS, HSV in das hardware-orientierte RGB-Modell zu gelangen.
- **Videoein- und Videoausgabemodule, TV-Tuner** auf Multimediakarten müssen Farbraumkonvertierungen zwischen YUV/YIQ und RGB vornehmen.
- **Druckertreiber** müssen in das CMY-Modell konvertieren.
- Aus dem RGB-Modell ist eine einfache Konvertierung in das CIE-Modell möglich.





# Farbkonvertierung pragmatisch II



HSV RGB  
Powerpoint

Corel Photo Paint



# Farbmusterbücher / Farbstandardisierung

Dienen der Vergleichbarkeit von  
Farben für die Druckindustrie

- PANTONE®
- Munsell
- DIC
- DuPont®,
- FOCOLTONE®,
- TOYO
- TRUMATCH®

Aber auch: Farbtrends, Farbe des  
Jahres etc.

[Startseite](#) > PANTONE-Farben

## PANTONE-Farbsuche

Geben Sie die Nummer oder den Namen einer PANTONE-Farbe ein, oder wählen Sie die gewünschte Farbe ganz einfach aus!

Farbe auswählen



The interface shows a large rectangular color bar with a rainbow gradient from red to blue. A small white crosshair is positioned in the center of the bar. To the right of the color bar is a vertical slider with a blue gradient. Below the color bar, the word 'PANTONE' is displayed in a bold, black, sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®). At the bottom left of the interface is a small blue square button, and at the bottom right is a black button with the white text 'ABSENDEN'.

ABSENDEN

### Nummer oder Name einer PANTONE-Farbe eingeben

Mindestens 3 Zeichen (nur Buchstaben, Zahlen, Leerzeichen und Bindestriche). Beispiele: 17-0145 TPG, 123 C, P 112-4 U, PO-2113C, Gray, Blue

Geben Sie Farbe oder PANTONE-Nummer hier.

ABSENDEN



# Farbeinsatz

- Farben können eingesetzt werden
  - zur Erhöhung des **visuellen Realismus**
  - aus **ästhetischen** Gründen
  - zur Erzeugung von **Stimmungen**
  - zur **Hervorhebung** / Verdeutlichung von **Zusammenhängen**
  - zur **Codierung**
- Menschen können wahrnehmen
  - 128 verschiedene Farbtöne (Hues)
  - 130 verschiedene Farbsättigungen (Saturation Levels)
  - Zwischen 16 (im blauen Bereich) und 26 (im gelben Bereich) verschiedene Helligkeitswerte (Luminance Levels)
  - Insgesamt also etwa 380.000 verschiedene Farben.
- Insbesondere bei der Codierung sind dabei einige **farbpsychologische Grundsätze** zu beachten:
  - Farbkombinationen, Farbabstände, Farbsättigungen
  - unbeabsichtigte Bedeutung bestimmter Farben (z.B. **rote Zahlen**)

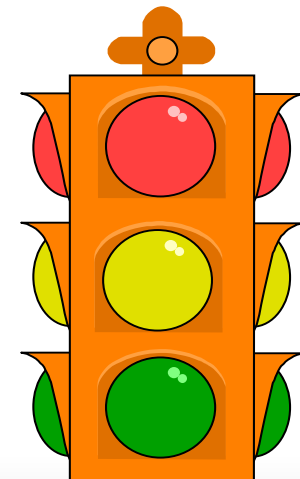
# Farbspezifikation

- durch Auswahl aus einem Menü (Palette) von Standardfarben
  - nur sinnvoll, wenn die Farbanzahl gering ist
  - Farbe auf kleinen Flächen sind schwer zu identifizieren
- durch namentliche Nennung
  - “grün-gelb, grünlich-gelb, gelblich-grün”
  - mehrdeutig und subjektiv
  - Abhilfe: CNS (Color Naming Scheme)

- durch Koordinatenangabe in einem Farbraum
  - textuell
  - mit Slidern
- durch Interaktion mit einer graphischen Darstellung des Farbmodells
  - HSV intuitiv
  - RGB hardware-orientiert

# Grenzwerte

- Erfahrungswert: Für zu 95% sichere Codeerkennung sollten nicht mehr als
  - 10 Farben
  - 15 geometrische Formen
  - 6 Flächengrößen
  - 6 unterschiedliche Längen
  - 4 Helligkeiten
  - 24 Winkelverwendet werden
- Codierungen sollten **redundant** sein.
- Farbe immer in Kombination mit anderem Code verwenden!  
(8% der männlichen Bevölkerung sind farbenblind)
- Beispiel:  
Verkehrsampel



# Software-Ergonomie am Beispiel Farbe

elektromyographische Messungen ergaben:

Farbschemata wie dieses führen zu

- Rückenmuskelaktivität
- Entkopplung von Herz- und Muskelaktivität
- erhöhte Lidschlagfrequenz
- steigendem Cortisol- und IgA-spiegel



# Dithering

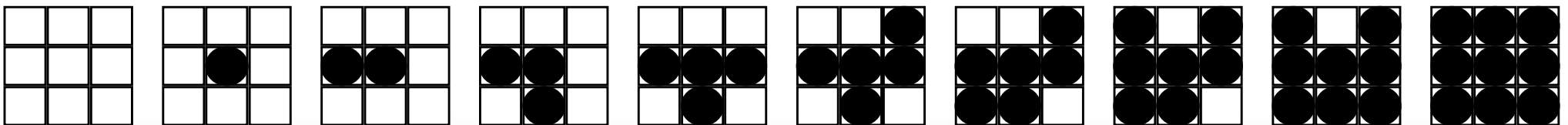
## **Dithering:**

Die Abbildung eines Bildes mit  $m$  *Farben* oder Intensitätsstufen auf ein Bild mit  $n < m$  *Farben* oder Intensitätsstufen.

- ist nötig, wenn ein Gerät zu wenig Farben zur Verfügung hat, z.B.:
  - Ein Grautonbild auf Schwarz-Weiß-Drucker
  - Zeitungsdruck, 4-Farben-Druck
  - Framebuffer mit nur 1, 2 oder 8 Bit Farbtiefe
- **Halbtonverfahren/Screening:**  
Reduktion von Grauwerten auf Schwarz-Weiß (Bilevel)
- **Dithering-Verfahren:**  
Reduktion auf  $n \geq 2$  Werte

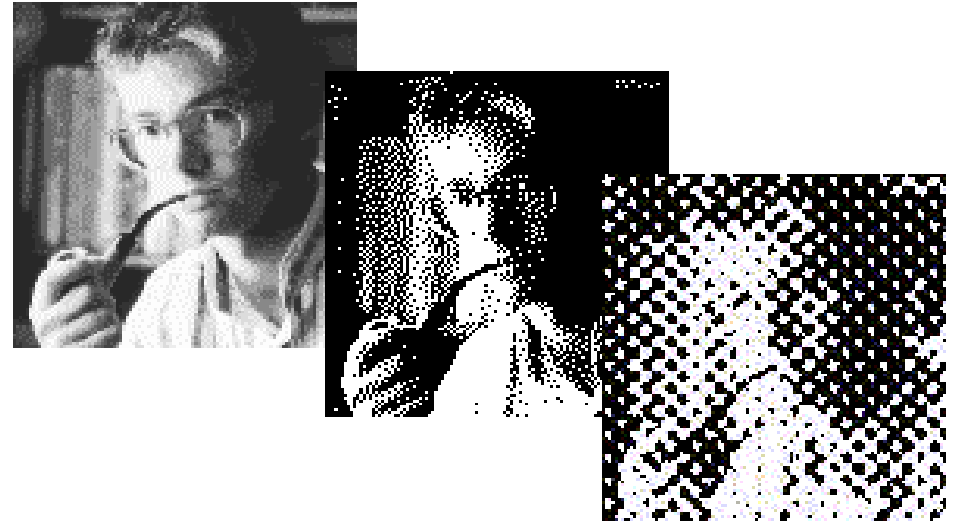
# Monochromes Dithering I

- Prinzip zur Vortäuschung zusätzlicher Intensitätsstufen: die räumliche Integration von Feinheiten durch das Auge
- **Zeitungsfotos:** Um 45 % geneigtes Raster von schwarzen Kreisen, deren Fläche proportional ist zu  $1 - \text{Intensität}$
- Bei **Druckern** und **Monochrom-Bildschirmen** werden diese Kreise z.B. durch **3x3-Punktmuster** approximiert, die als **Dithermatrizen** spezifiziert werden. Damit lassen sich 10 Grauwertstufen realisieren.
- Damit keine **Artefakte** auftreten, müssen diese Muster nach bestimmten Regeln gebildet werden:



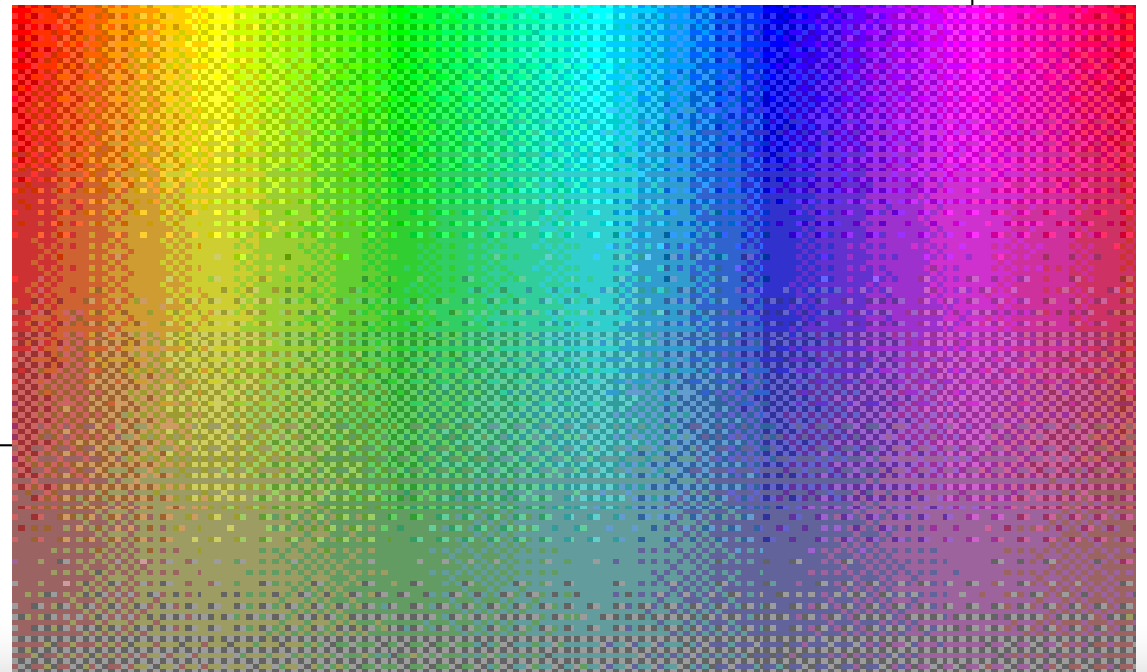
# Monochromes Dithering II

- mit **konstanter Schwelle**
- mit **Zufallszahlen**
- mit **Grautonmuster**
- mit **Dithermatrix, Ordered Dithering**
- mit **Fehlerübertrag**  
(1D, 2D, **Floyd-Steinberg**)



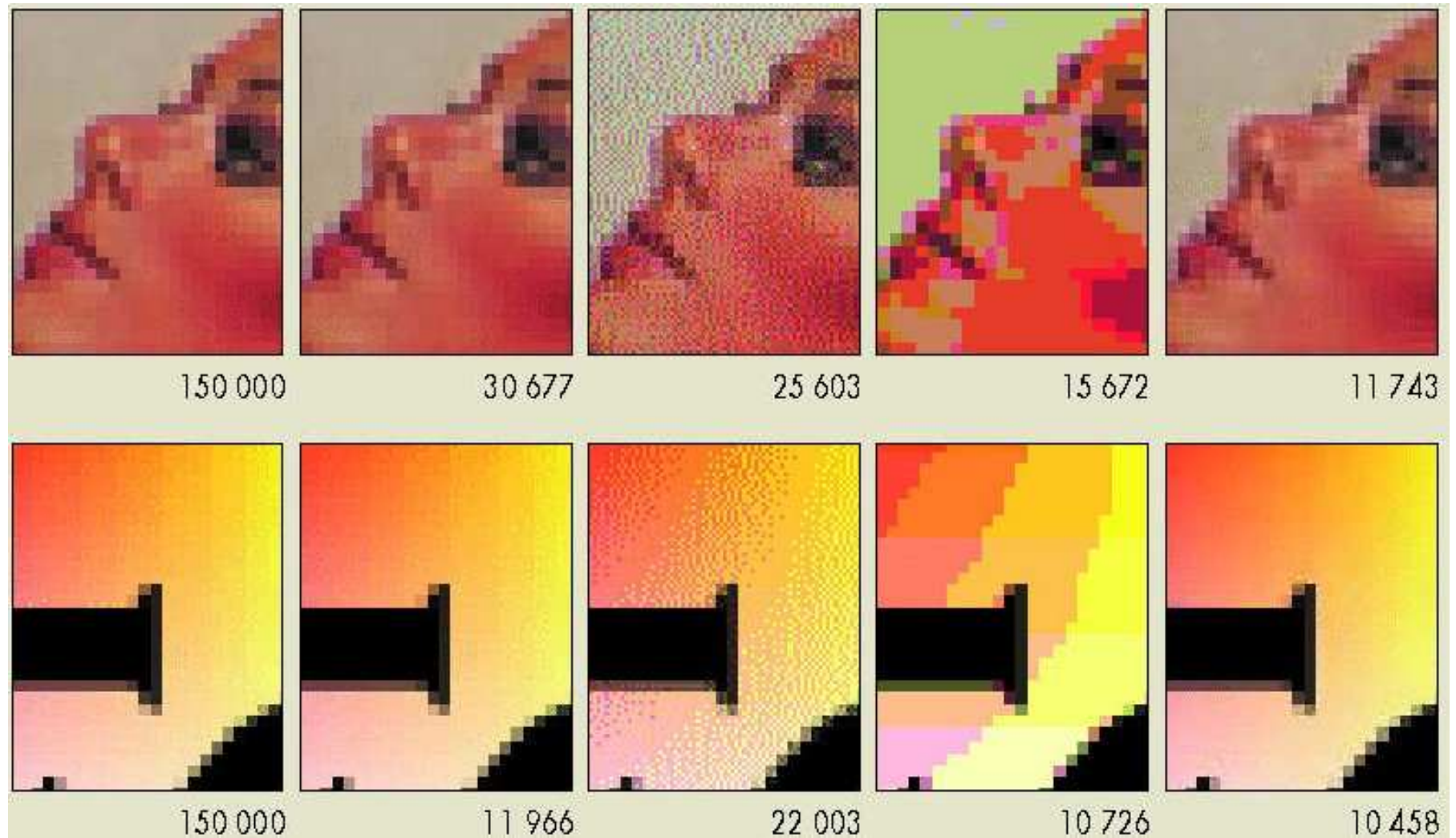
# Farbdithering

- Ohne Verlust räumlicher Auflösung sollen  $n$  Farben auf einem Display mit Darstellmöglichkeit für  $m < n$  Farben dargestellt werden:
  - **Welche**  $m$  Farben sollen benutzt werden ?
  - Wie werden die  $n$  Farben auf diese  $m$  Farben **abgebildet** ?
- ↪ Bestimmung der zu benutzenden Farbtabelle:
  - Popularity-Algorithmus
  - Median-Cut-Algorithmus
- ✂ Finden der bestmöglichen Farbe in dieser Tabelle:
  - über Hash-Tabelle
  - über Octree





# Farbdithering



# Literatur

- **Computer Graphics, Principles and Practice**, Foley, vanDam, Feiner, Hughes; Kap. 13
- **Physiologie des Menschen**, Schmitt, Thews; Springer Verlag
- **Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae**, G. Wyszecki, W. Stiles; Wiley; New York; 1982
- **Principles of Color Technology**, F. Billmeyer, M. Saltzman; Wiley; New York; 1981
- **An Optimum Algorithm for Halftone Generation for Displays and Hard Copies**, T.M. Holloday; Proceedings of the Society of Information Display, 21(2), 1980, 185-192
- **The Reproduction of Color**, R. W. Hunt, Fountain Press, 1987
- **The International Color Consortium**, [www.color.org](http://www.color.org)
- **FAQ about Colour**, [www.inforamp.net/~poynton/Poynton-color.html](http://www.inforamp.net/~poynton/Poynton-color.html)

Das wars zu Licht und Farbe !