

## Farbe und Verarbeitung von Farbbildern

Vorgehen zur Verarbeitung von Farbbildern (i.A. multispektralen Bildern):

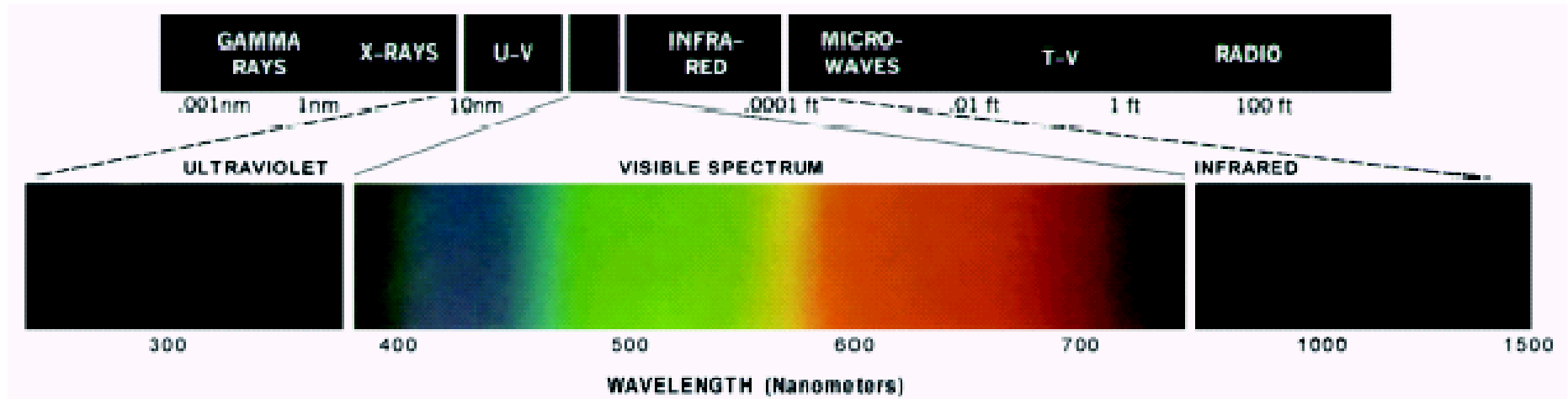
- Betrachtung einzelner Bildkanäle unabhängig und Verwendung herkömmlicher Verfahren zur Verarbeitung von Grauwertbildern
- Speziell für multidimensionale Bilder entwickelte Verfahren

Inhalt:

- Farbräume
- Farbbasierte Visualisierung
- Darstellung von multispektralen Bildern
- Verarbeitung von Farbbildern
- Vektorfilterung
- Anwendungen

# Farbwahrnehmung (1)

Elektromagnetisches Spektrum:



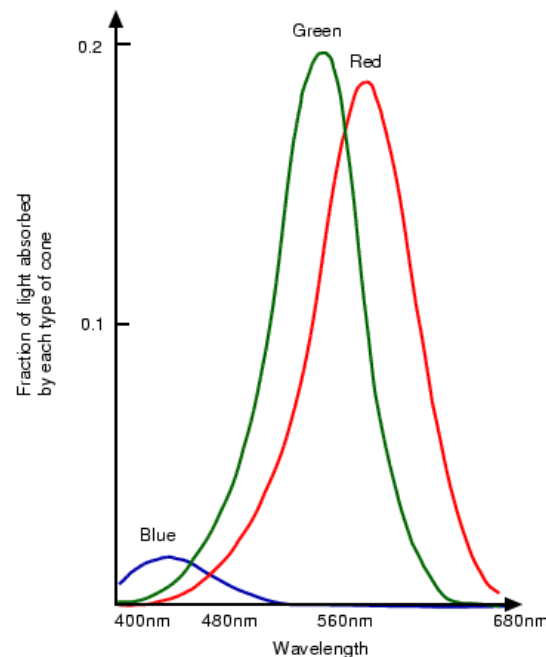
CIE (Commission Internationale de L'Eclairage, Internationales Komitee für Farbstandardisierung) legte 1931 die drei Primärfarben fest:

Blau = 435.8 nm, Grün = 546.1 nm, Rot = 700.0 nm

## Farbwahrnehmung (2)

**Trichromatisches Farbsehen:** Man geht von der Aktivität dreier primärer Klassen von Zapfen (lichtempfindliche Rezeptoren) aus. In der Tat gibt es von den für das Farbsehen zuständigen Zapfen drei Sorten mit unterschiedlichen Farbempfindlichkeiten. Die erste Sorte hat ihr Absorptionsmaximum im elektromagnetischen Spektrum bei ca. 440 nm und entspricht einer Farbempfindung von Blau. Die zweite bzw. dritte Sorte ist für grüne bzw. rote Farben zuständig (545 nm bzw. 580 nm). Man spricht auch von S-, M-, und L-Zapfen (short, medium, long).

Anteile, die S/M/L-Zapfen vom einfallenden Licht absorbieren (um 1965):



# Farbräume

---

Farbraum besteht aus:

- einem Koordinatensystem
- einem Unterraum, wo jede Farbe als ein Punkt repräsentiert wird

Mit Hilfe von Farbräumen wird Farbe quantifizierbar gemacht. Vorhanden sind:

- physikalisch basierte Modelle
- perzeptuelle Farbräume, die der subjektiven Farbempfindung des Menschen Rechnung tragen

# Farbräume

---

Farbraum besteht aus:

- einem Koordinatensystem
- einem Unterraum, wo jede Farbe als ein Punkt repräsentiert wird

Mit Hilfe von Farbräumen wird Farbe quantifizierbar gemacht. Vorhanden sind:

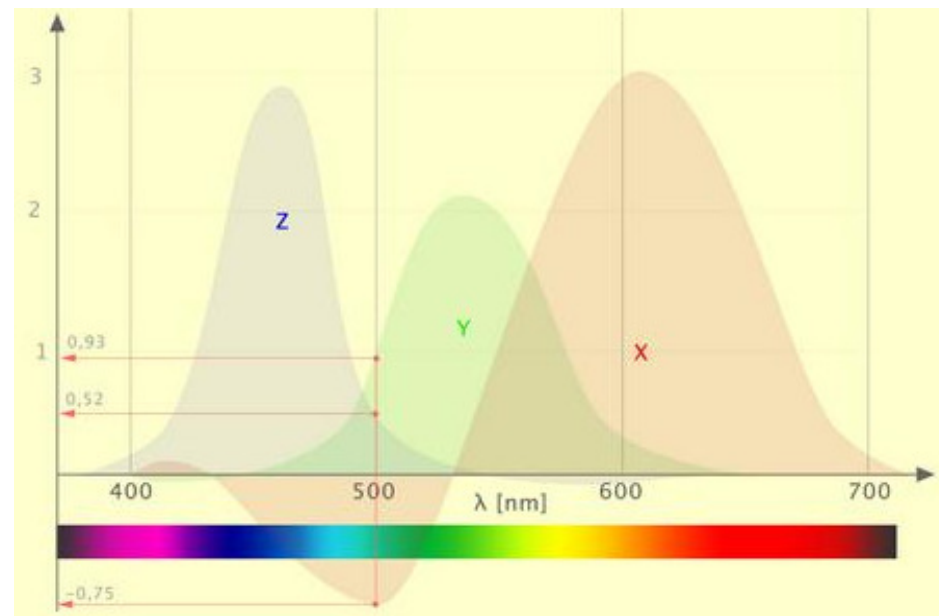
- physikalisch basierte Modelle
- perzeptuelle Farbräume, die der subjektiven Farbempfindung des Menschen Rechnung tragen

Populäre Farbräume:

- CIE XYZ-Farbraum
- RGB-Farbraum
- CMY- und CMYK-Farbraum
- HSI-Farbraum
- CIE-lab Farbraum

# Farbräume: CIE XYZ-Farbraum (1)

Die drei Primärfarben können gemischt werden, um Gleichheit mit einer bestimmten Farbe zu erzielen. Die Mischverhältnisse sind:



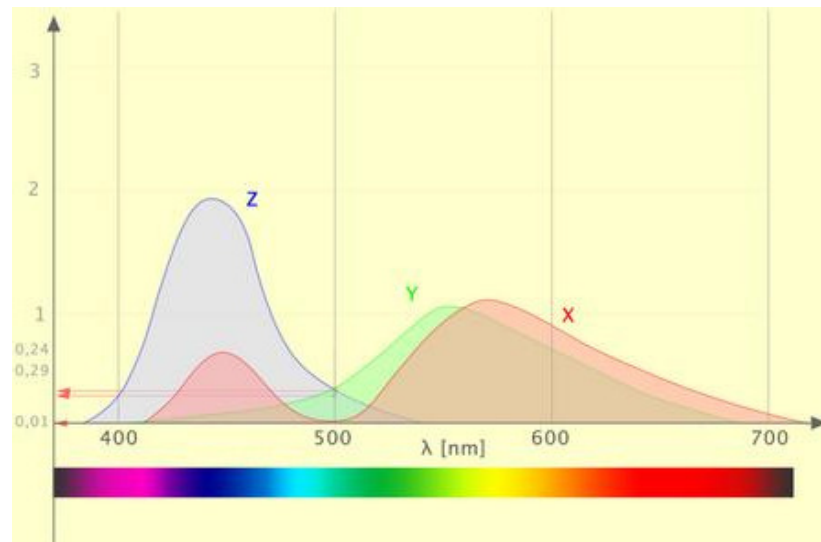
Achtung: Der Mischanteil für Rot (X) ist stellenweise negativ! Da man eine Quelle nicht mehr als *abschalten* kann, stellen die negativen Mischanteile physikalisch ein unlösbares Problem dar.

## Farbräume: CIE XYZ-Farbraum (2)

Lösung: Definition von drei hypothetischen Primärquellen, so dass nur positive Mischanteile X/Y/Z erforderlich sind, um alle sichtbaren Farben zu erzeugen

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7690 & 1.7518 & 1.1300 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0057 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4184 & -0.1587 & -0.0828 \\ -0.0912 & 0.2524 & 0.0157 \\ 0.0009 & -0.0025 & 0.1786 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

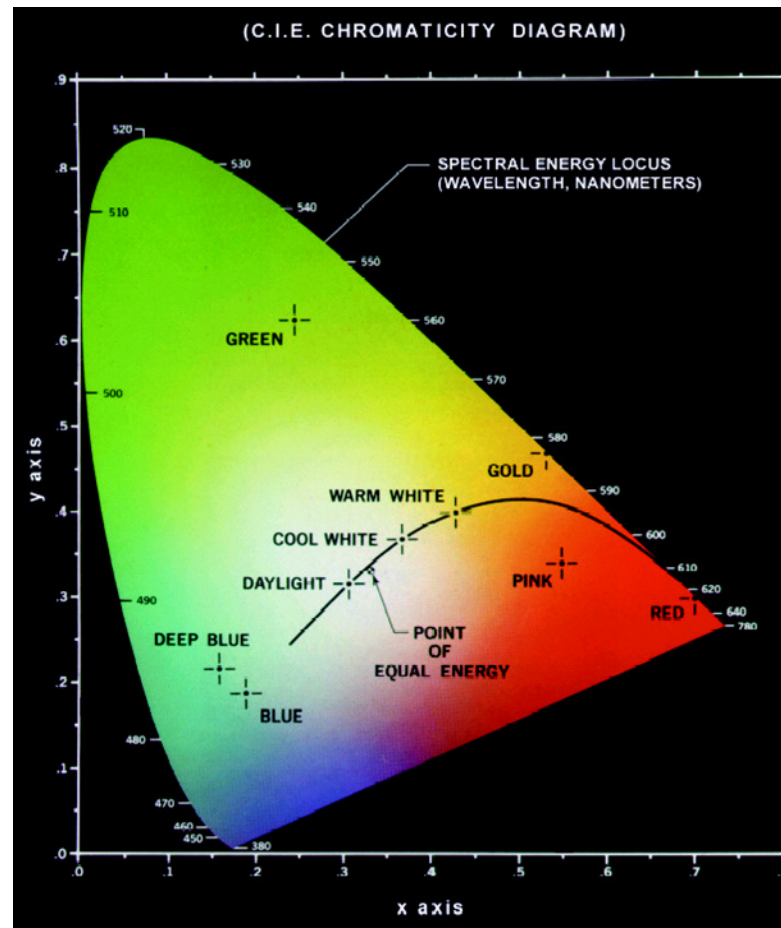


# Farbräume: CIE XYZ-Farbraum (3)

Jede Farbe wird spezifiziert durch  $(X, Y, Z)$  bzw.  $(x, y, z)$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

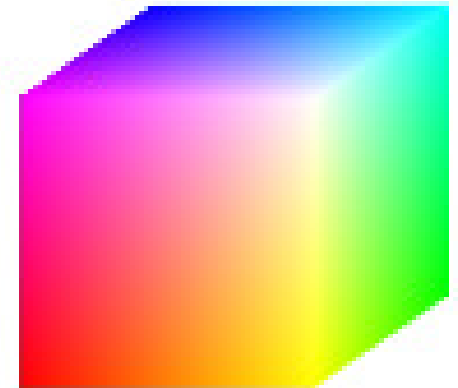
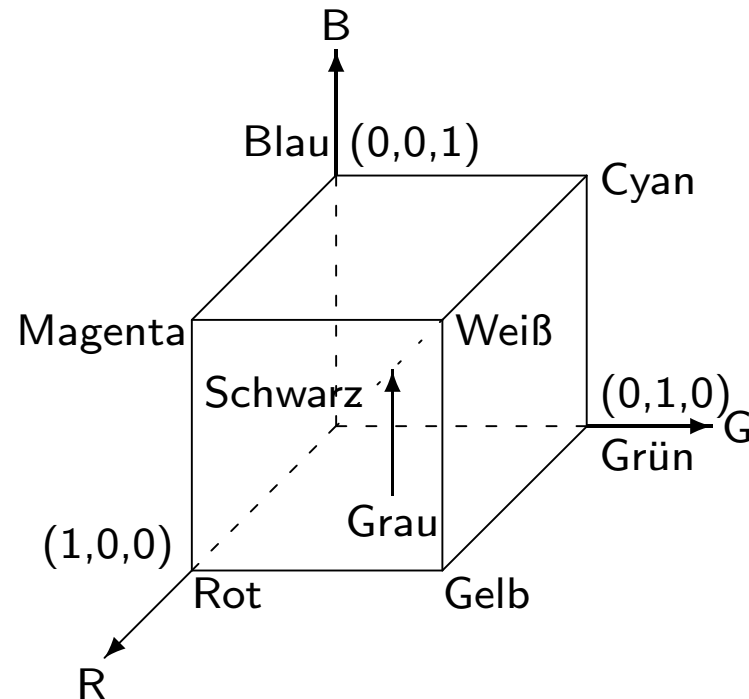
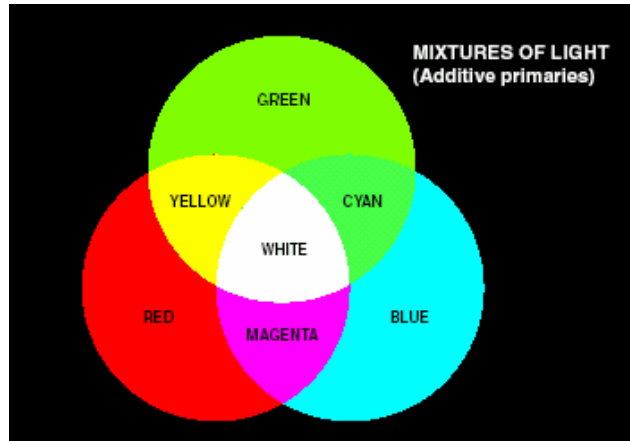
Ein Teil der  $xy$ -Ebene spezifiziert alle sichtbaren Farben:





# Farbräume: RGB-Farbraum (1)

Mischung von drei Primärfarben Rot, Grün, und Blau (mit positiven Mischanteilen)  $\implies$  additiv erzeugter Raum

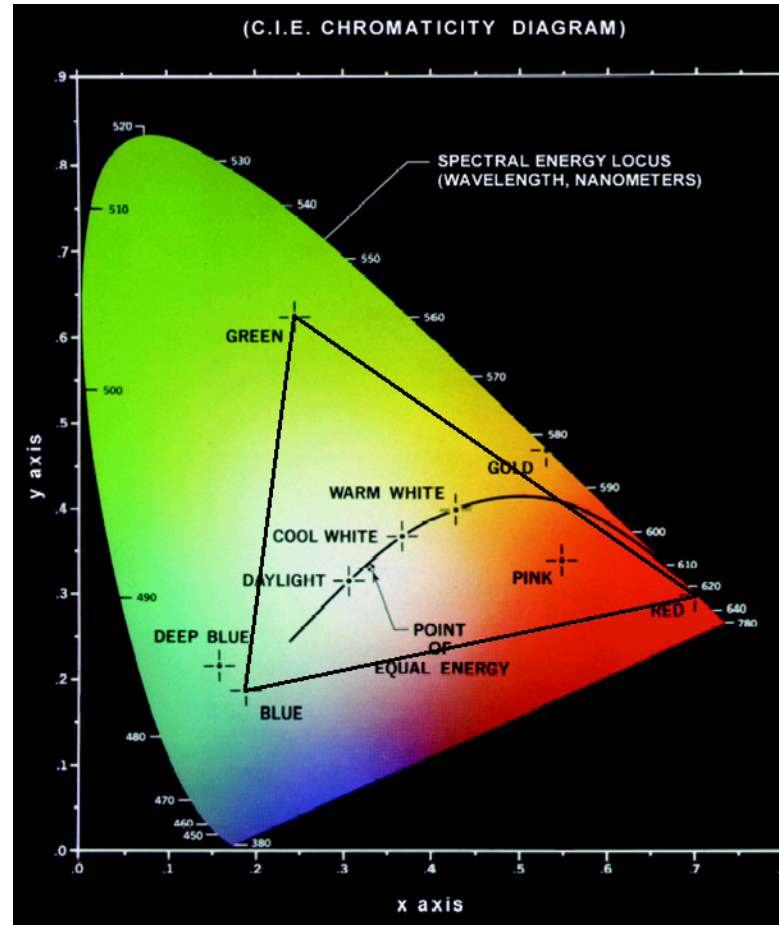


Aus Gründen der Geräteunabhängigkeit wird normiertes Koordinatensystem eingesetzt,  $R, G, B \in [0, 1]$

24-bit full-color Bild mit 8 bits pro Primärfarbe  
 $\implies$  insgesamt  $(2^8)^3 = 16,777,216$  Farben darstellbar

## Farbräume: RGB-Farbraum (2)

Der RGB Farbraum umfasst lediglich eine (relativ große) Teilmenge aller sichtbaren Farben!



# Farbräume: RGB-Farbraum (3)

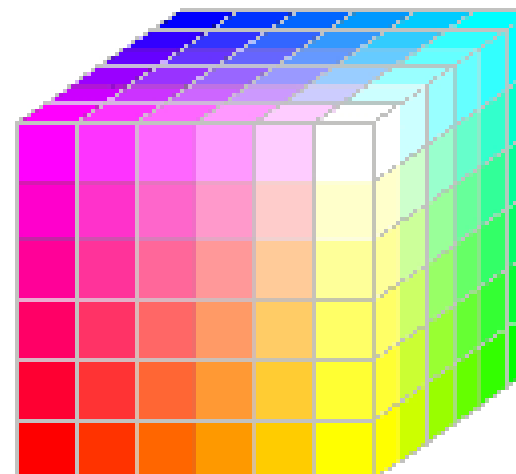
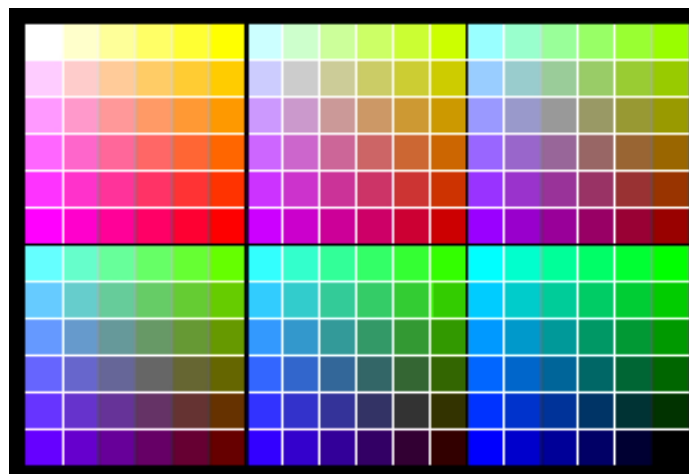
**Safe Colors:** In vielen Situationen nicht so viele Farben benötigt; einige technische Systeme beschränken sich ohnehin auf eine weit kleinere Anzahl von Farben, z.B. 256

Wichtig: Untermenge von Farben, die von möglichst vielen Systemen unterstützt werden (*safe Colors* oder *all-systems-safe Colors*); Im Zusammenhang mit Internet auch *safe Web Colors* oder *safe browser Colors* genannt

De facto Standard (insbesondere in Internet-Anwendungen): 216 Farben

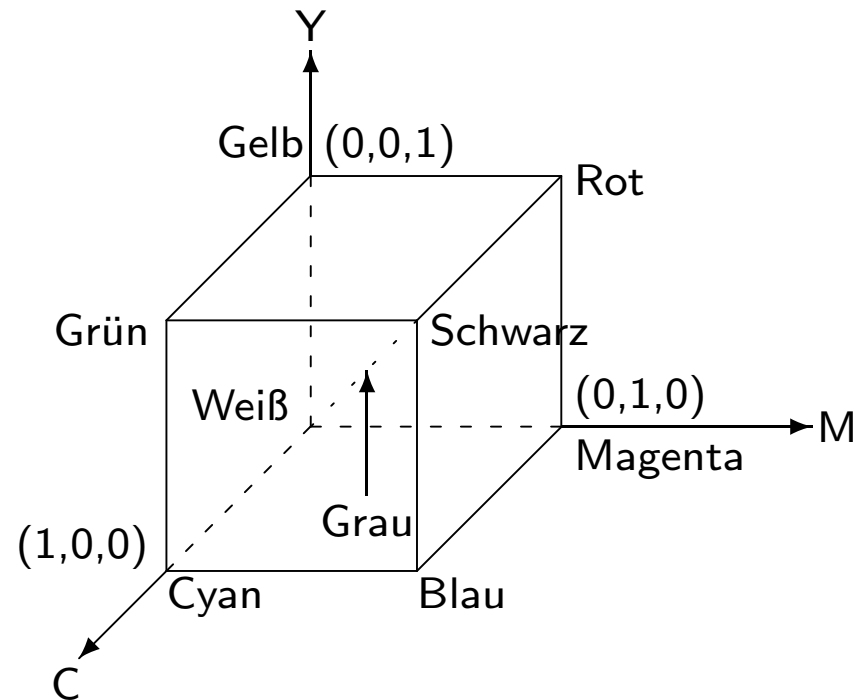
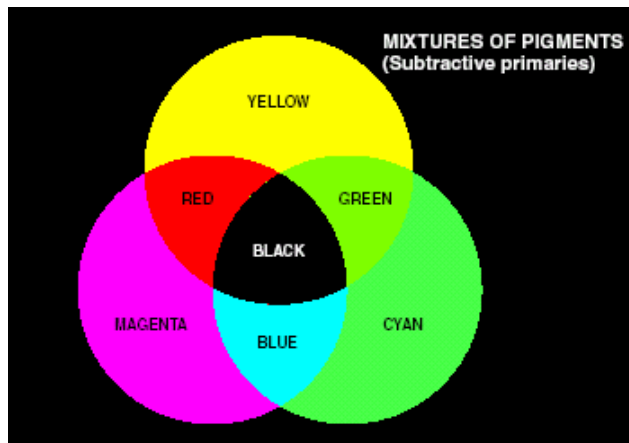
	R/G/B					
dezimal	0	51	102	153	204	255
hexadezimal	00	33	66	99	CC	FF

**Beispiel:** FF0000 (rot), 000000 (schwarz), FFFFFFFF (weiß)



# Farbräume: CMY- und CMYK-Farbraum (1)

Bei CMY werden die Farben aus den Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb in subtraktiver Farbmischung zusammengesetzt. Subtraktive Farbmischung tritt immer dann auf, wenn die einzelnen Farbquellen Licht *absorbieren*. Der CMY-Farbraum findet deshalb häufig bei Druckern Anwendung.



**Beispiel:** Mischung von Magenta und Gelb ergibt Rot  
Magenta absorbiert Grün, Gelb absorbiert Blau  $\implies$  Absorption von Grün und Blau ergibt Rot

## Farbräume: CMY- und CMYK-Farbraum (2)

RGB- und CMY-Farbraum lassen sich leicht ineinander überführen:

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

entsprechend

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

## Farbräume: CMY- und CMYK-Farbraum (2)

RGB- und CMY-Farbraum lassen sich leicht ineinander überführen:

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

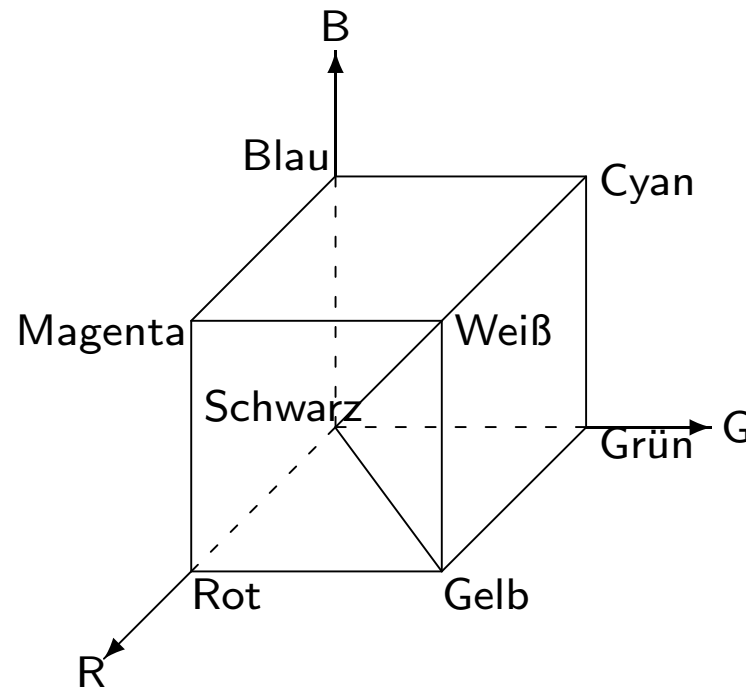
entsprechend

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

Beim CMYK-Farbraum kommt die Grundfarbe Schwarz dazu (wegen besserer Darstellung als Farbmischung und niedrigerer Kosten; “four-color printing”)

# Farbräume: HSI-Farbraum (1)

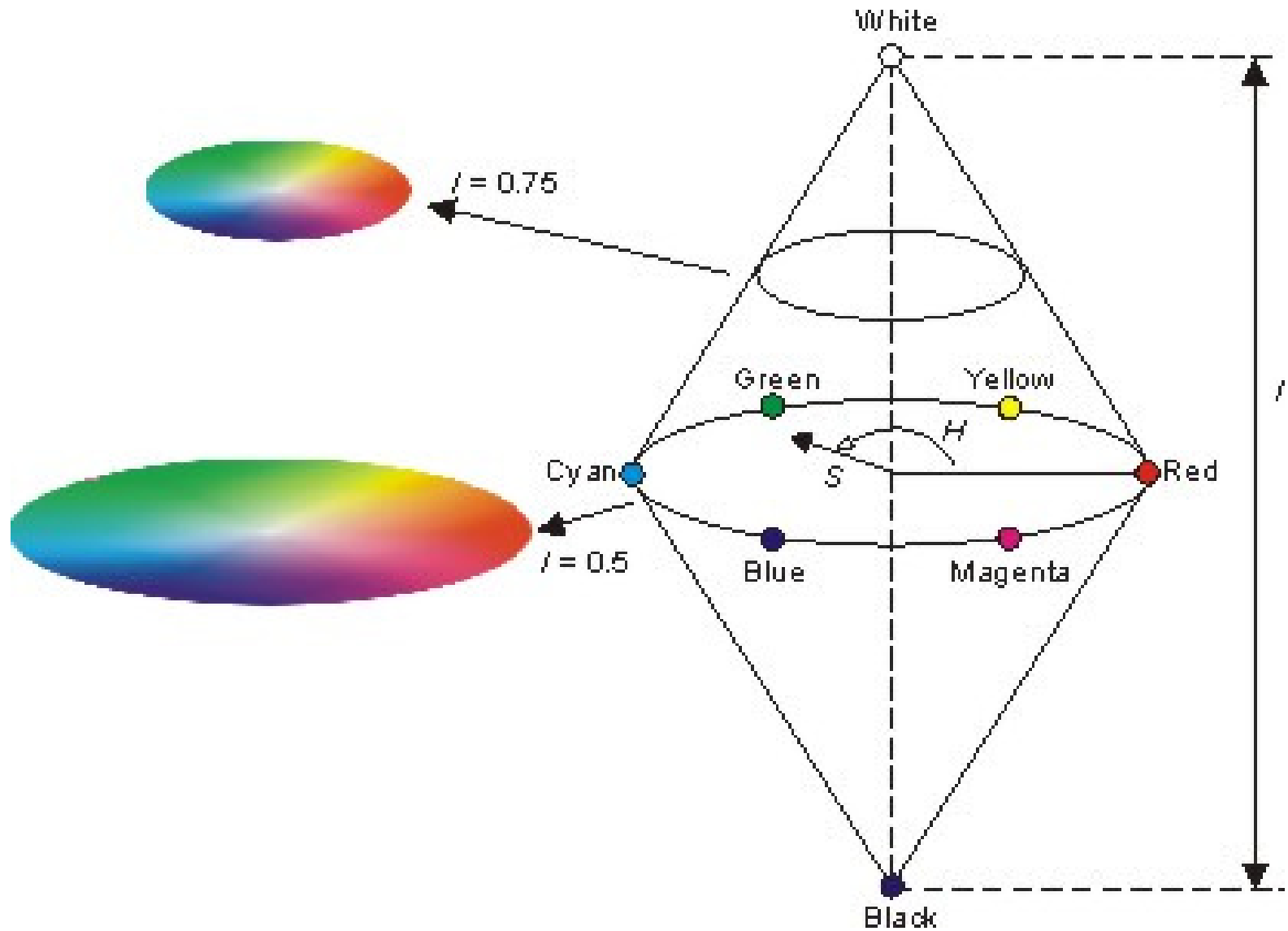
Benutzerfreundlichere Methode der Farbbeschreibung:  
Im Gegensatz zu RGB die drei Parameter nicht aus zu mischenden Primärfarben, sondern aus intuitiven Größen *Hue (Farbton)*, *Saturation (Sättigung)*, und *Intensity (Intensität)*



Alle Farben auf der Ebene Schwarz/Weiß/Gelb haben denselben Farbton Gelb, aber unterschiedliche Sättigung und Intensität

Allgemein: Durch Rotation dieser Ebene um die Achse Schwarz/Weiß erhält man verschiedene Farbtöne

# Farbräume: HSI-Farbraum (2)



$$H \in [0^\circ, 360^\circ], \quad S, I \in [0, 1]$$



## Farbräume: HSI-Farbraum (3)

Transformation RGB  $\rightarrow$  HSI:

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{falls } B \leq G \\ 360^\circ - \theta, & \text{falls } B > G \end{cases}$$

$$\theta = \begin{cases} 0^\circ, & \text{falls } R = G = B \\ \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \cos^{-1} \frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}}, & \text{sonst} \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{falls } R = B = G = 0 \\ 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B), & \text{sonst} \end{cases}$$

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$$

$R, G, B \in [0, 1]$  angenommen  $\implies H \in [0^\circ, 360^\circ], S, I \in [0, 1]$

## Farbräume: HSI-Farbraum (4)

Transformation HSI  $\rightarrow$  RGB:

$$H' = H \bmod 120^\circ$$

$$X = I(1 - S)$$

$$Y = I \left[ 1 + \frac{S \cos H'}{\cos(60^\circ - H')} \right]$$

Fall 1: RG-Sektor ( $0^\circ \leq H < 120^\circ$ )

$$B = X; \quad R = Y; \quad G = 3I - (R + B)$$

Fall 2: GB-Sektor ( $120^\circ \leq H < 240^\circ$ )

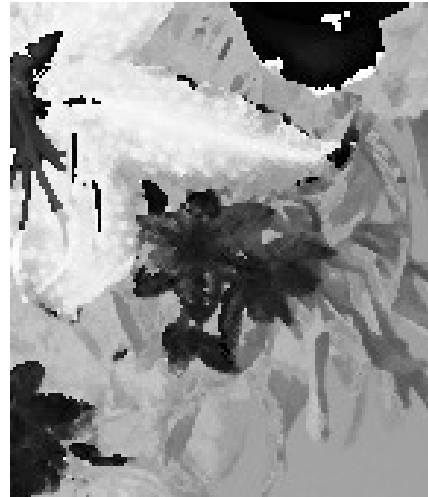
$$R = X; \quad G = Y; \quad B = 3I - (R + G)$$

Fall 3: BR-Sektor ( $240^\circ \leq H \leq 360^\circ$ )

$$G = X; \quad B = Y; \quad R = 3I - (G + B)$$

# Farbräume: HSI-Farbraum (5)

## Beispiel:



H



S



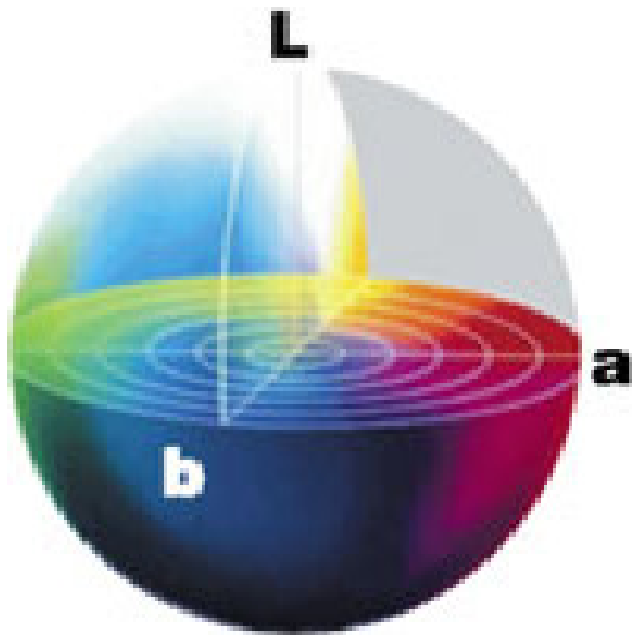
I

Wichtig: zyklische Natur der Farbtöne  
HSI gehört zur Klasse der Farbton-  
basierten Farbräume. Weitere Beispi-  
le: HLS (Hue, Lightness, Saturation)  
und HSV (Hue, Saturation, Value)  
⇒ Trennung der eigentlichen Farbin-  
formation von Helligkeitsinformation

# Farbräume: Perzeptuelle Farbräume

Keiner der bisher vorgestellten Farbräume erfüllt die Anforderung, dass Farben, die im Farbraum die gleiche Helligkeit haben, auch subjektiv als gleich hell eingestuft werden. Ebenso entsprechen geometrische Farbabstände in den Farbräumen nicht den perzeptiv empfundenen Abständen. Es gibt Farbräume (z.B.  $L^*a^*b$  Farbraum), die dieser Anforderung gerecht werden.

**CIE-lab Farbraum:** Farbe durch L, a und b angegeben. L: Helligkeitskomponente (luminance, entsprechend dem Grauwert); a und b: rot-grün- bzw. blau-gelb-Anteil der Farbe



CIE Lab-Farbraum schließt alle Farben ein, die das menschliche Auge wahrnehmen kann (mehr als RGB!)

Besonders geeignet zur Darstellung von Farbdifferenzen, da geometrische Abstände darin annähernd den empfindungsmäßigen Farbunterschieden entsprechen

# Farbbasierte Visualisierung (1)

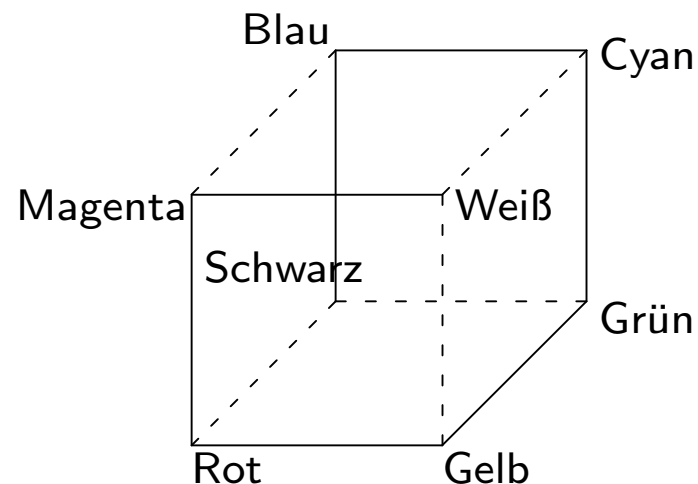
Farbe als Mittel zur Visualisierung  $\implies$  Bildinhalte besser sichtbar machen

## **Pseudokolorierung:**

Grauwertbild in Farbe dargestellt  $\implies$  Pseudofarben und Pseudokolorierung

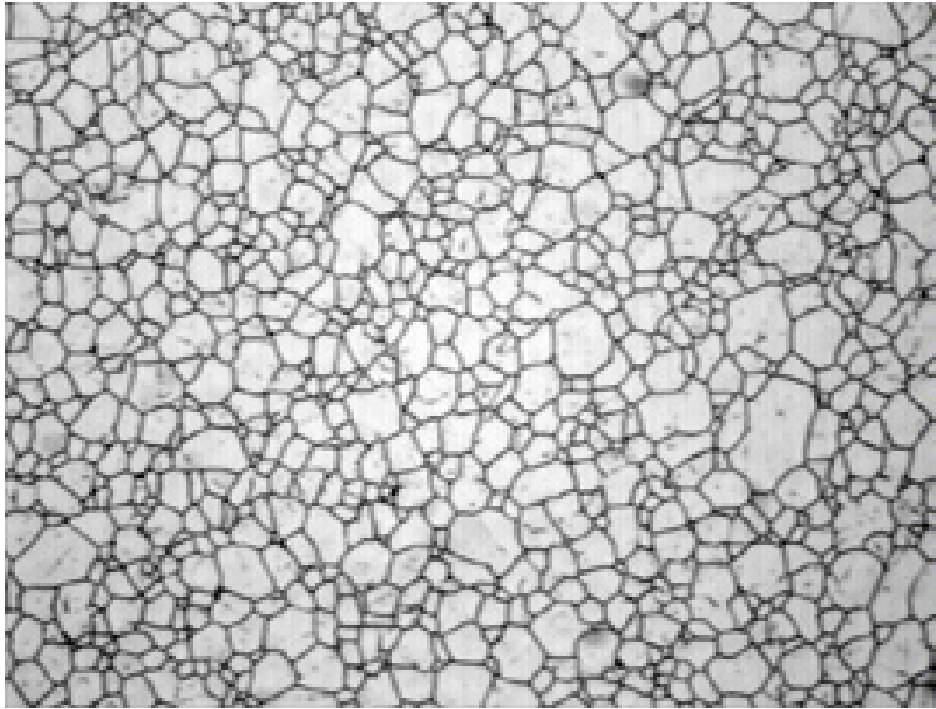
Hintergrund: Bei der Wahrnehmung durch das menschliche Auge stehen einer fast unbegrenzten Farbauflösung nur ca. 50 gleichzeitig unterscheidbare Graustufen gegenüber

Einfache Pseudokolorierung in RGB durch Substitution des direkten Wegs von Schwarz nach Weiß mit einem Weg über die Würfelkanten, z.B. über Blau, Cyan, Grün, Gelb, Rot, und Magenta

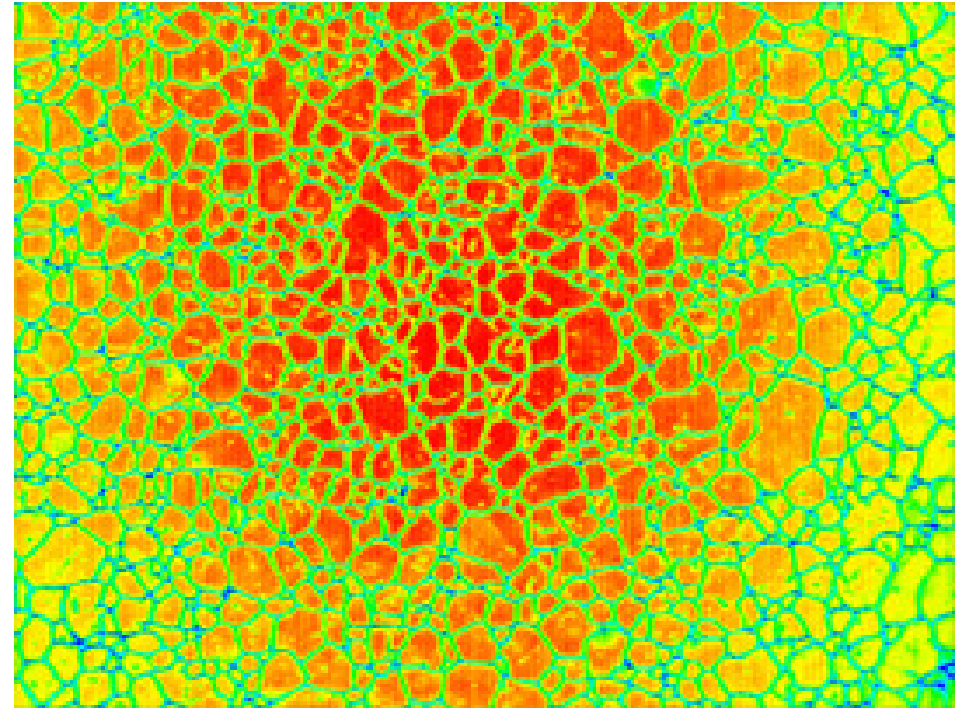


## Farbbasierte Visualisierung (2)

### Beispiel: Pseudokolorierung



Grauwertbild



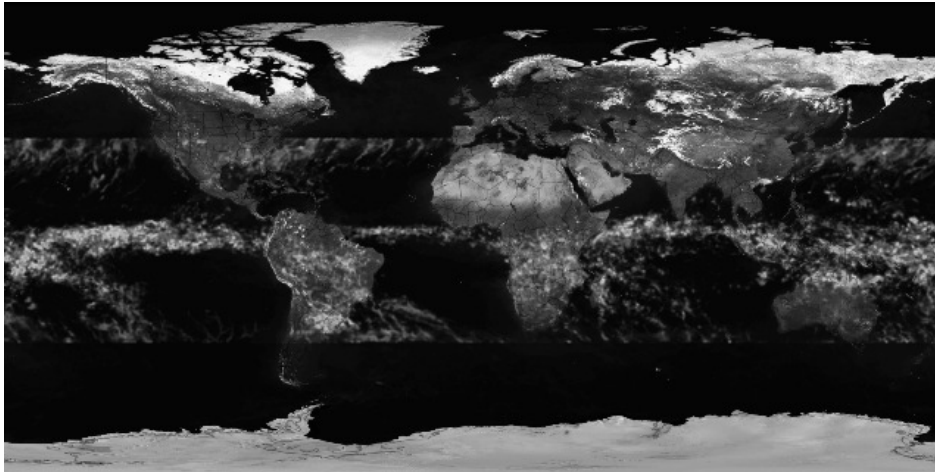
Pseudokolorierung

Nachteil: Empfundene Helligkeit der Farben entlang der RGB-Würfelkanten schwankt ständig

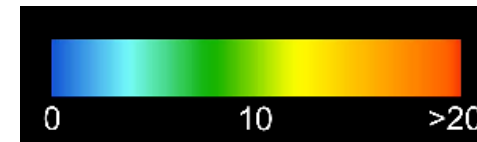
Verbesserte Algorithmen zur Pseudokolorierung mit konstanter bzw. monoton steigender Helligkeit bekannt

# Farbbasierte Visualisierung (3)

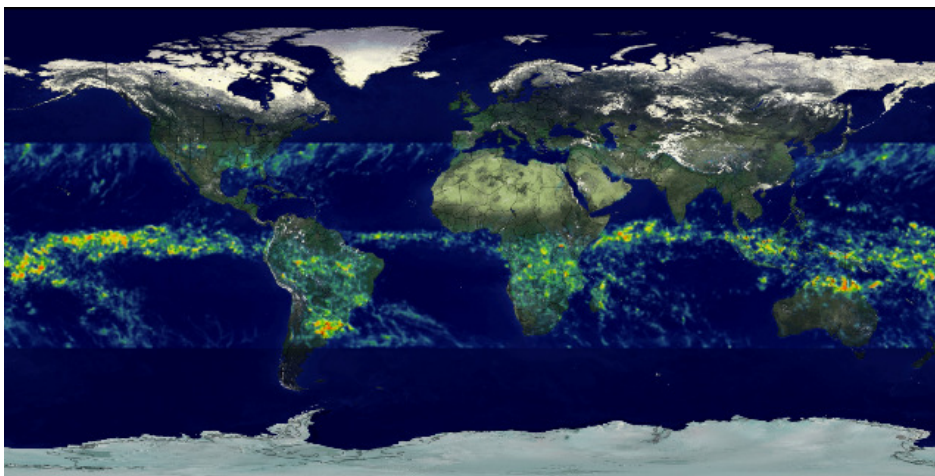
**Beispiel:** Messung der Regenmenge mit Hilfe von TRMM-Satellit (Tropical Rainfall Measuring Mission)



Monatliche Regenmenge (der mittlere Bereich)



Pseudofarben



Pseudokolorierung



Ausschnitt: Südamerika

# Farbbasierte Visualisierung (4)

**Falschfarbendarstellung:** Farbbild durch andere Farbzusordnungen verändern

Lineare Falschfarbendarstellung als Matrix geschrieben; einfache Vertauschung der Farbkanäle:

$$\begin{bmatrix} R^* \\ G^* \\ B^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



# Farbbasierte Visualisierung (4)

**Falschfarbendarstellung:** Farbbild durch andere Farbzusordnungen verändern

Lineare Falschfarbendarstellung als Matrix geschrieben; einfache Vertauschung der Farbkanäle:

$$\begin{bmatrix} R^* \\ G^* \\ B^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Verbesserung der Diagnostik in der Medizin:

Zur Kontrastverstärkung endoskopischer Videobilder des mittleren Kehlkopfes wurde z.B. kanalweise Invertierung der Farben vorgeschlagen:

$$\begin{bmatrix} R^* \\ G^* \\ B^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Motivation: gleiche geometrische Abstände werden, je nach Lage in RGB, physiologisch als unterschiedliche Farbdistanzen empfunden. Das Farbhistogramm der Videobilder des Kehlkopfes bildet starke Konzentration im Rotbereich (physiologisch sehr schlecht aufgelöst). Mit der Invertierung wird dieser Bereich auf Cyan abgebildet (physiologisch größere Farbdistanzen empfunden)

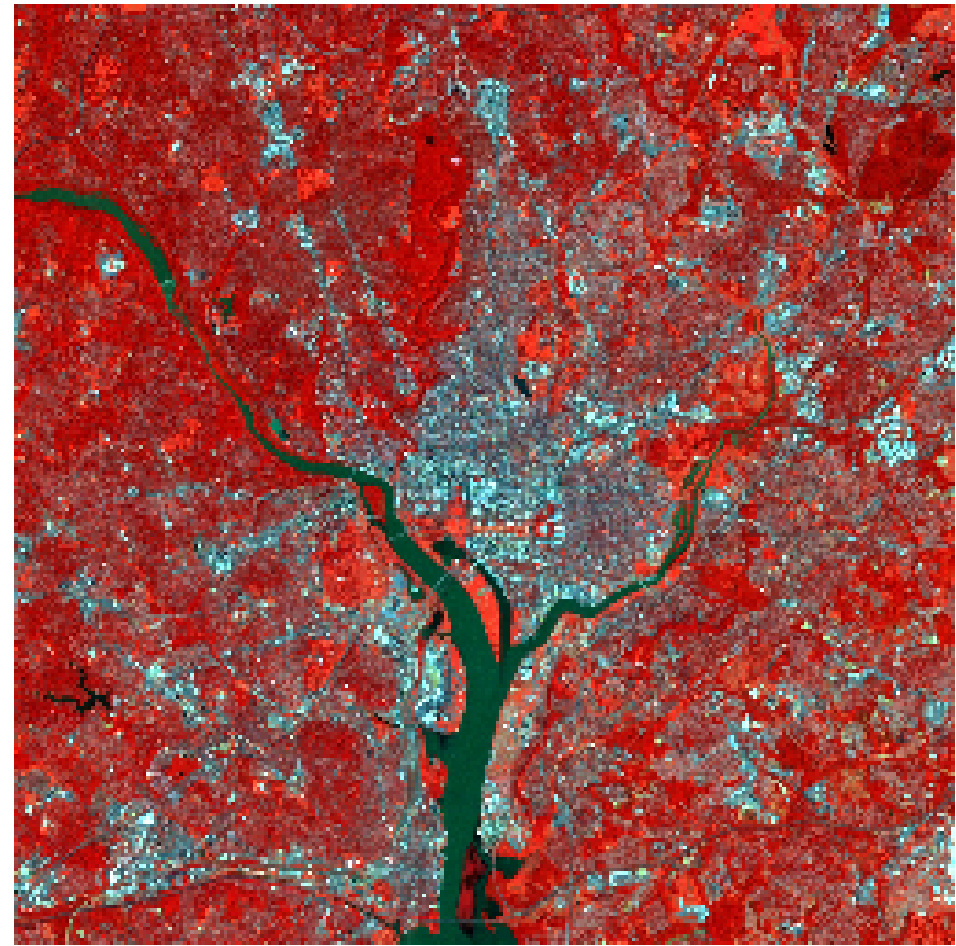
# Darstellung von multispektralen Bildern (1)

Verschiedene Bilder (derselben Szene) als Farbkanäle zusammengesetzt als ein einziges Farbbild visualisiert

**Beispiel:**



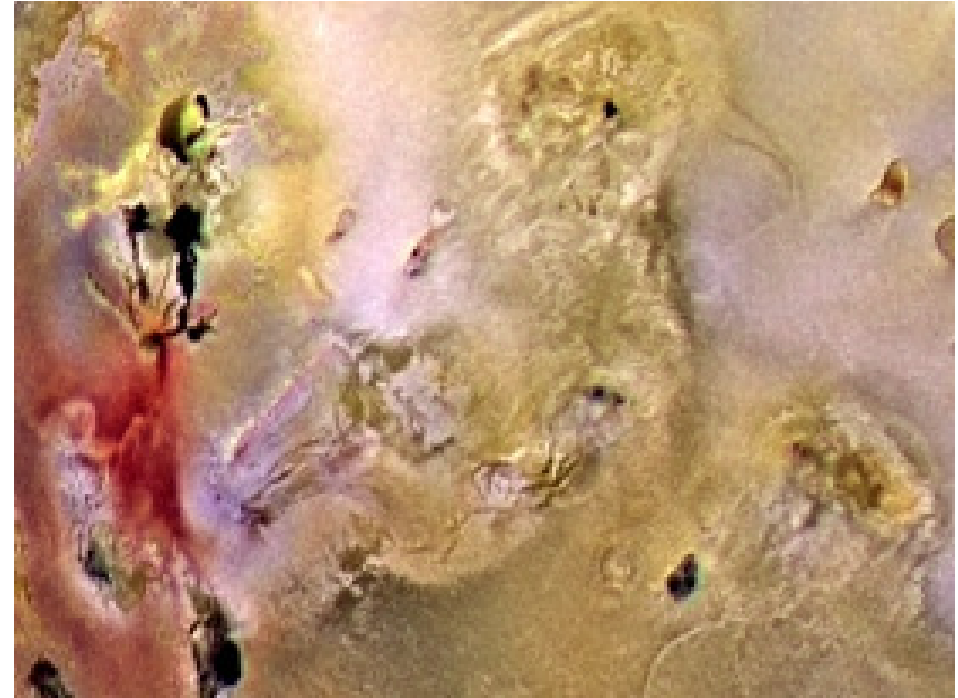
Rot/Grün/Blau



Infrarot/Grün/Blau

## Darstellung von multispektralen Bildern (2)

**Beispiel:** Jupiter Moon Io / Galileo Raumsonde, drei Bilder, z.T. im unsichtbaren Bereich (vulkanisch aktivster Körper des Sonnensystems)



# Verarbeitung von Farbbildern (1)

**Ansatz 1:** Separate Anwendung von Bildverarbeitungsoperatoren an einzelnen Kanälen eines Farbbildes (i.A. eines multispektralen Bildes)



Kontrastverstärkung



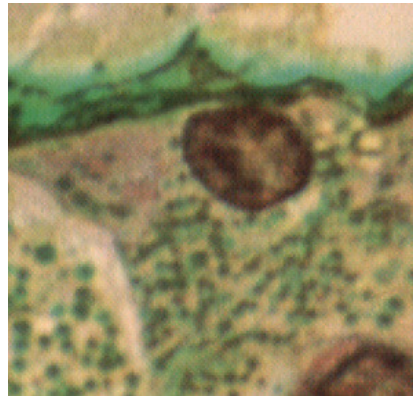
exponentiell,  $\gamma > 1$



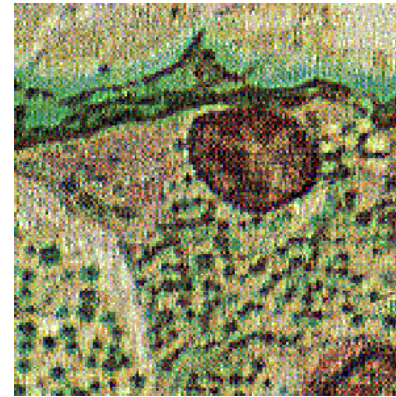
exponentiell,  $\gamma < 1$

## Verarbeitung von Farbbildern (2)

Problematisch ist die getrennte Betrachtung der Farbkanäle dann, wenn die Transformationen der Farbkanäle eine Verschiebung der Farbtöne bewirken (typisch für viele Operatoren)



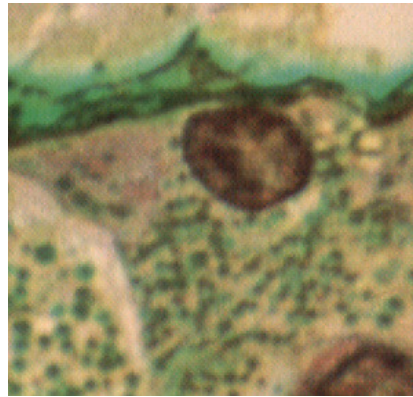
Original



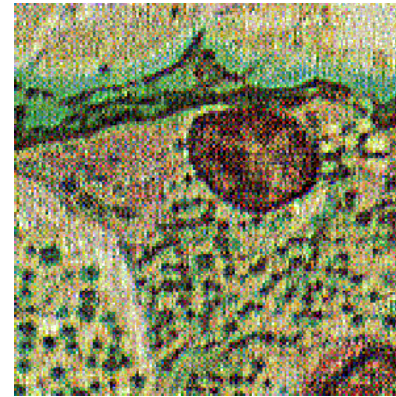
Bildverschärfung RGB

## Verarbeitung von Farbbildern (2)

Problematisch ist die getrennte Betrachtung der Farbkanäle dann, wenn die Transformationen der Farbkanäle eine Verschiebung der Farbtöne bewirken (typisch für viele Operatoren)

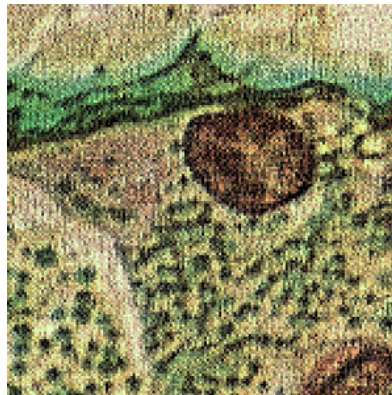


Original



Bildverschärfung RGB

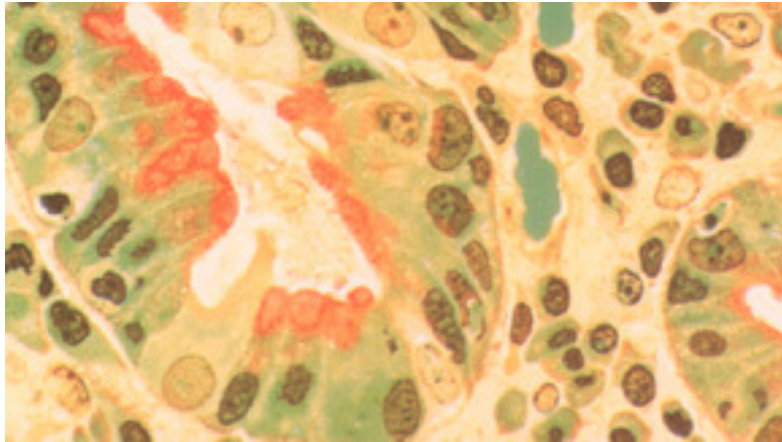
**Ansatz 2:** Anwendung eines geeigneten Farbraums, z.B. HSI, die Farbinformation von Intensität trennt; dann einer der Kanäle weiter verarbeitet



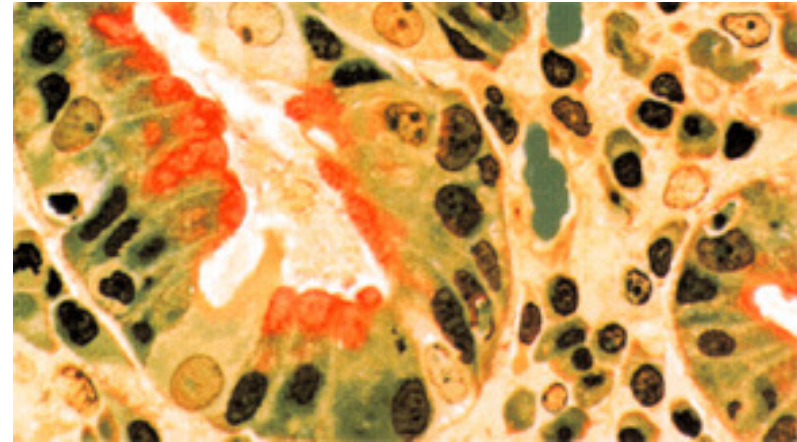
Bildverschärfung HSI – S

# Verarbeitung von Farbbildern (3)

## Beispiel: Histogrammausgleich



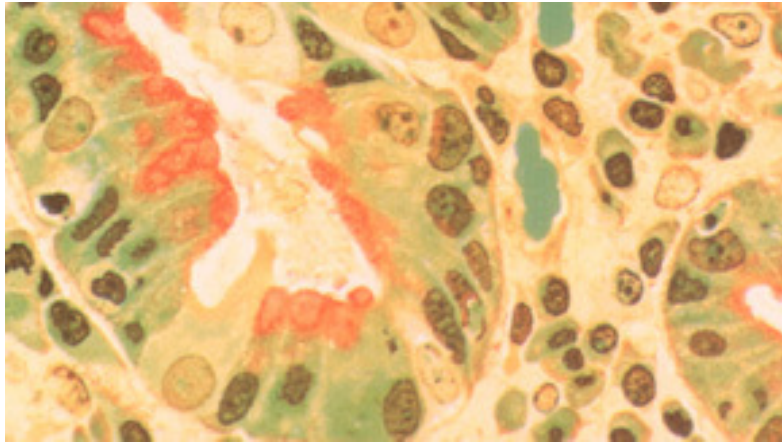
Original



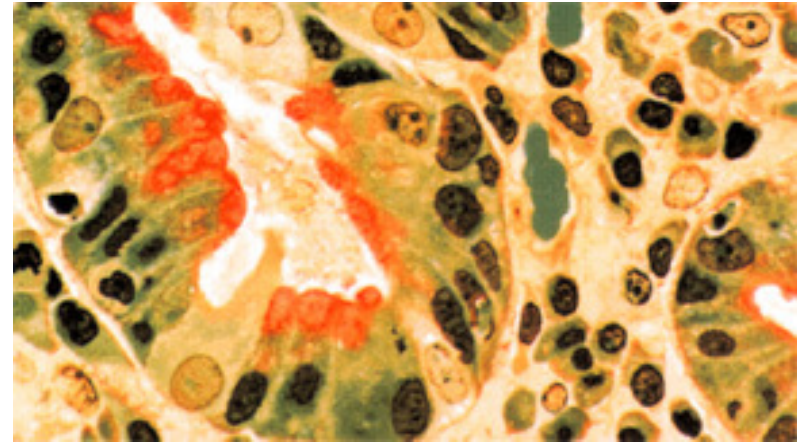
Histogrammausgleich HSI - I

# Verarbeitung von Farbbildern (3)

## Beispiel: Histogrammausgleich



Original

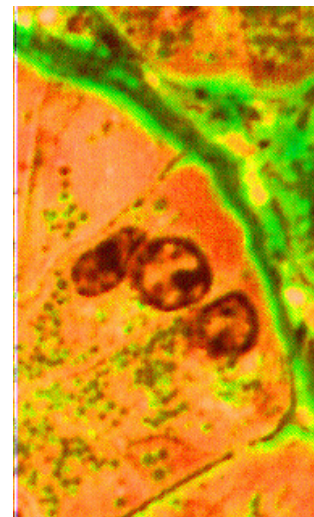


Histogrammausgleich HSI – I

## Beispiel: Hervorhebung der Farbtöne



Original

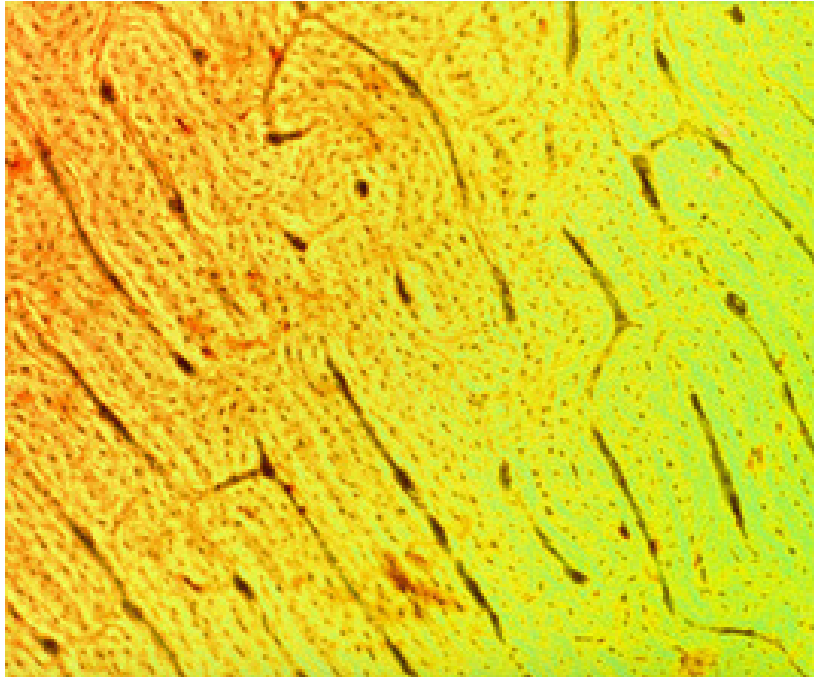


HSI – S

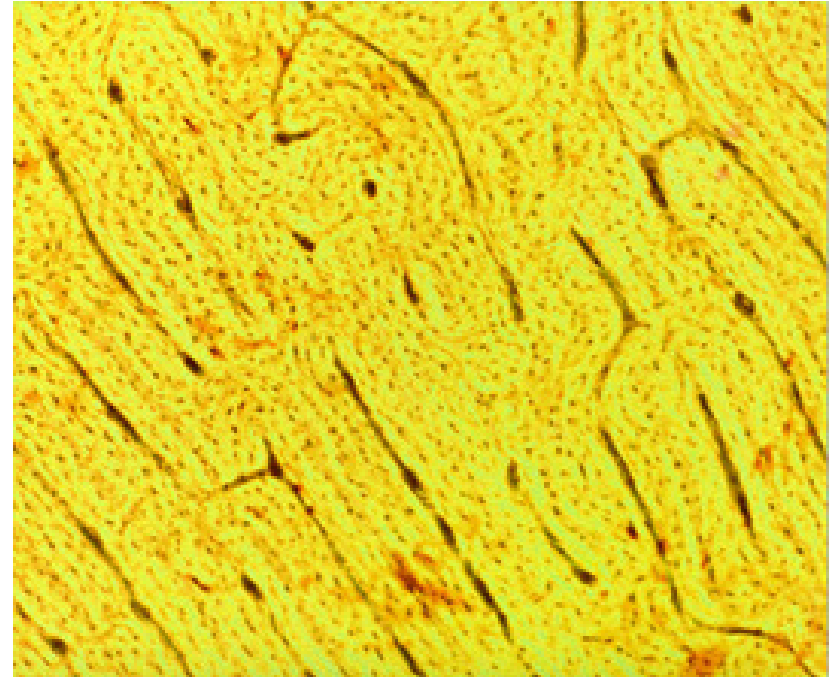


## Verarbeitung von Farbbildern (4)

**Beispiel:** Korrektur von uneinheitlichem Hintergrund (vgl. Kapitel Bildverbesserung)



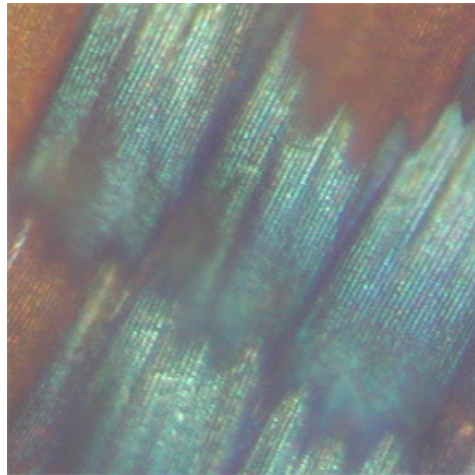
Original



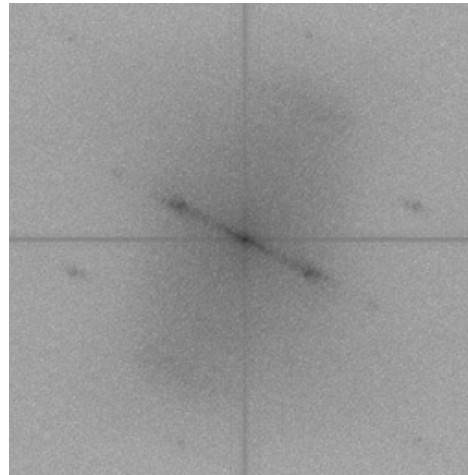
Nach Korrektur HSI – H

# Verarbeitung von Farbbildern (5)

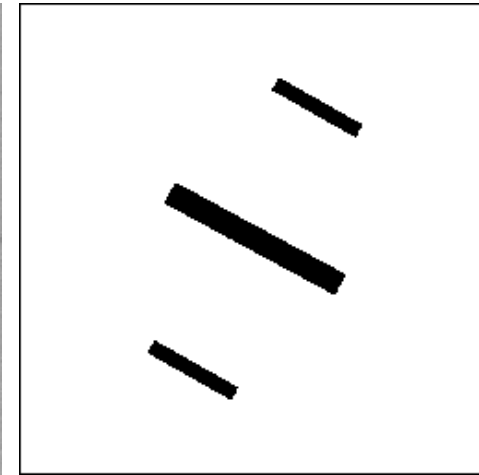
**Beispiel:** Fourier-Transformation zur Erhaltung periodischer Information (HSI – I)



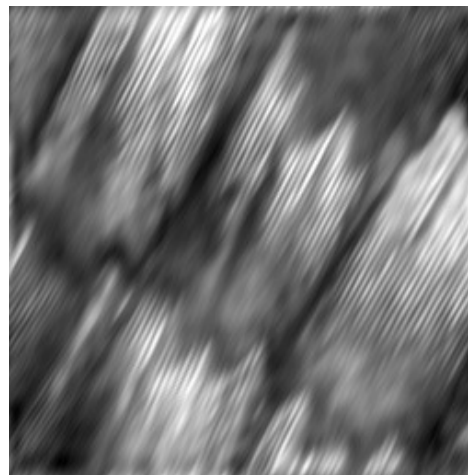
Original



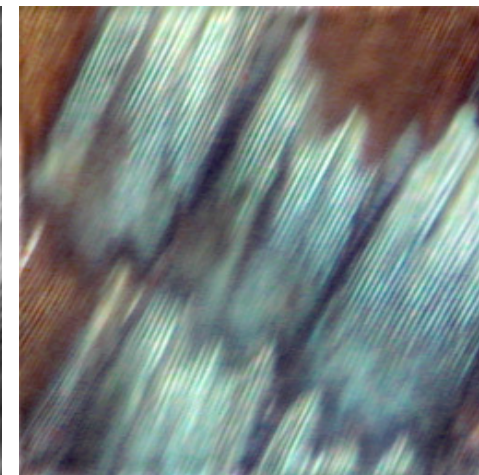
Amplitudenspektrum (I)



Notch-Filter



Inverse FT (I)



Ergebnis

Achtung: umgekehrte Darstellung des Amplitudenspektrums und des Notch-Filters

# Vektorfilterung (1)

Filter für Grauwertbilder komponentenweise in Domäne der Farbbilder bzw. multispektralen Bilder zu übertragen nicht immer realisierbar, z.B. Medianfilter  
⇒ spezielle Operatoren auf Vektoren entwickeln

$x_1, x_2, \dots, x_n$ : Vektoren im  $k$ -dimensionalen Raum  
Mögliche Lösung für Median: Ordne alle  $x_i$  nach

$$d_i = \sum_{j=1}^n d(x_i, x_j)$$

wobei  $d(x_i, x_j)$ : Distanz von  $x_i$  und  $x_j$  ist. Wähle denjenigen Vektor mit dem kleinsten  $d_i$  unter allen als Median.

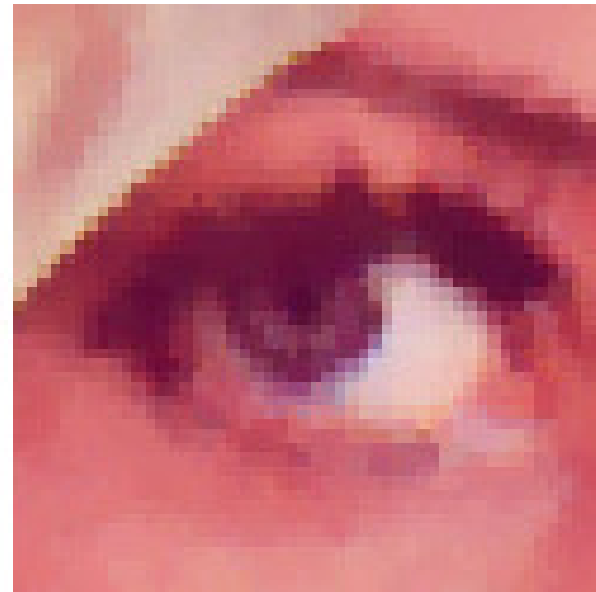
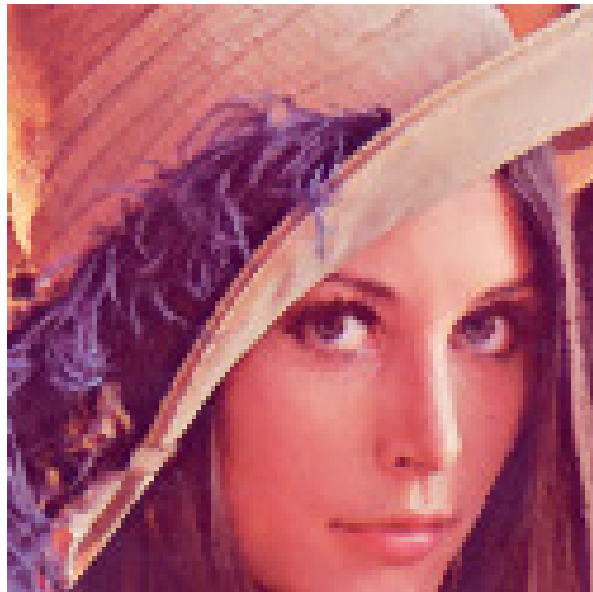
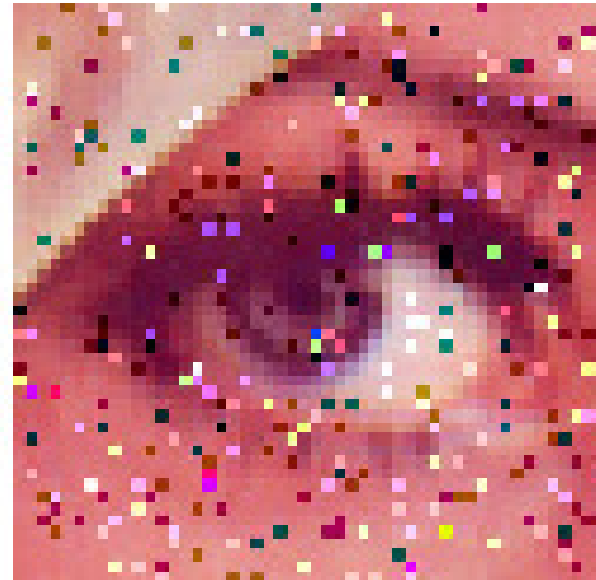
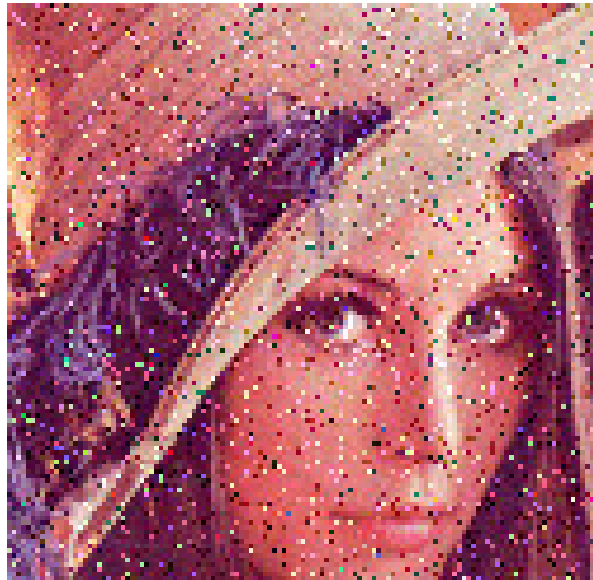
Distanzfunktion:

- Euklidische Distanz, oder generell Minkowski-Metrik
- Winkelfunktion:  $d(x_i, x_j) = \cos^{-1} \frac{x_i \cdot x_j}{\|x_i\| \cdot \|x_j\|}$

Viele weitere Varianten und ihre approximativen Versionen (zur Reduktion des Rechenaufwandes) bekannt

# Vektorfilterung (2)

Beispiel:

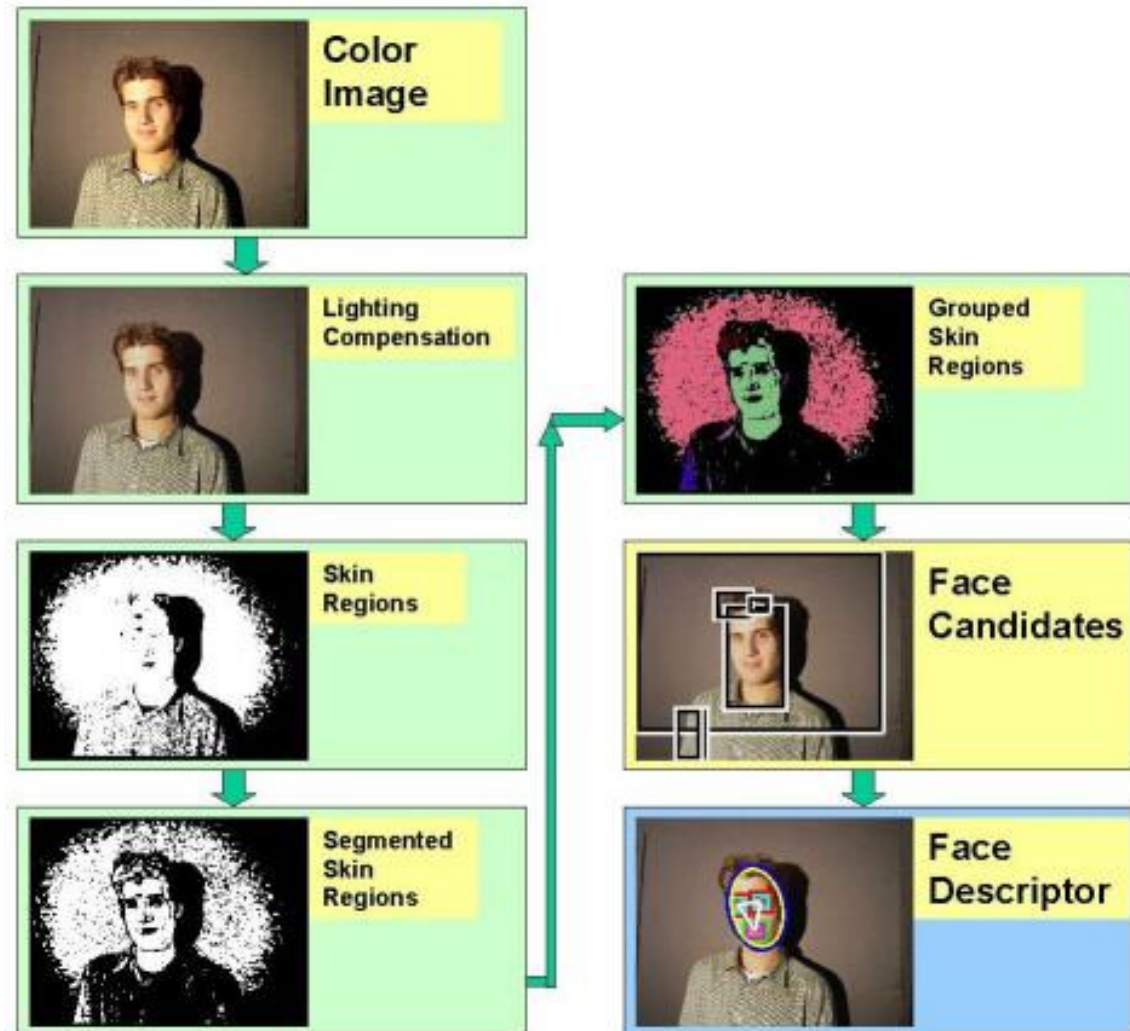


# Anwendung: Lokalisierung von Gesichtern (1)

Bildpunkte von Haut (z.B. Gesicht): Trennung vom Rest in *geeignetem Farbraum*

Zahlreiche Verfahren bekannt zur Detektion von Gesichtern (Klassifikation der Bildpunkte in Klassen Haut/Nichthaut durch Clustering im Farbraum)

R.-L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, and A.K. Jain. Face detection in color images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 5, pp. 696-706, 2002.





## Anwendung: Filterung pornografischer Bilder (1)

---

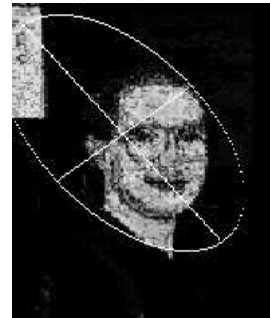
Noch sehr wenige Arbeiten bekannt. Das Verfahren aus: H. Zheng, M. Daoudi, and B. Jedyak. Blocking adult images based on statistical skin detection. *Electronische Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 4(2): 1–14, 2004.

Es besteht aus:

- Detektion von Bildpunkten der Haut
- Berechnung der optimalen Ellipsenrepräsentation für alle Hautpunkte (Global Fit Ellipse, GFE)
- Berechnung der optimalen Ellipsenrepräsentation für die größte Region von Hautpunkten (Local Fit Ellipse, LFE)
- Es werden neun Merkmale mithilfe von Verteilungen von Hautpunkten und Form von GFE und LFE berechnet
- Klassifikation mit einem neuronalen Netz, das eine Ausgabe aus  $[0,1]$  liefert

# Anwendung: Filterung pornografischer Bilder (2)

GFE und LFE:



Ergebnisse:



0.9327



0.9417



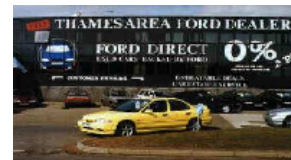
0.9165



0.9417



0.0015



0.0000



0.0000



0.0001



0.1118



0.0152



0.0000



0.0000