

# Graphische Datenverarbeitung 1

## Digitale Bilder II

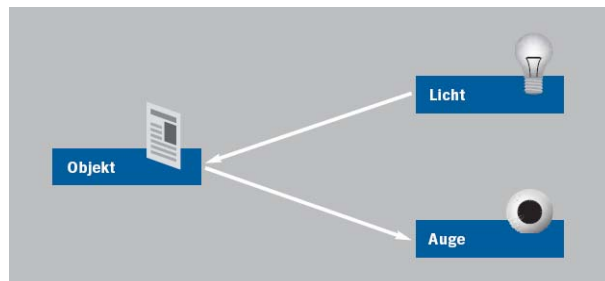
Prof. Dr. Elke Hergenröther



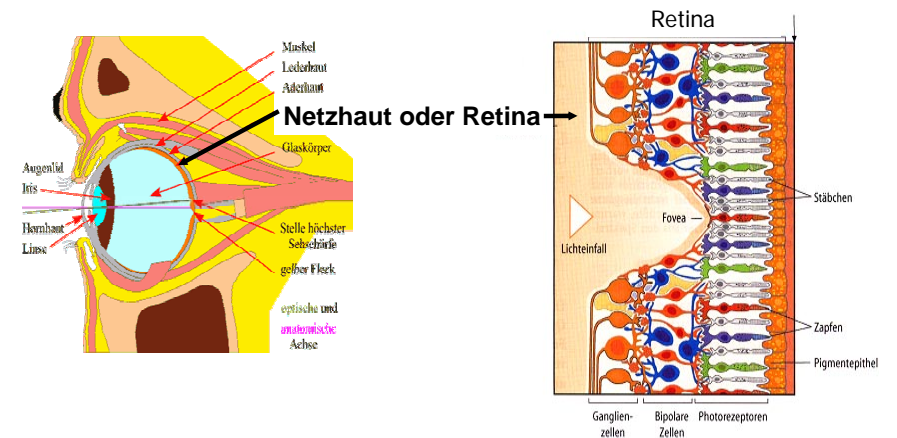
### Farbbilder

- Farbwahrnehmung
- CIE-Farbdreieck
- RGB- und CMY-Farbmodell (Hardwareorientiert)
- YUV- und HSV-Farbmodell (Wahrnehmungsorientiert)

### Wie sehen wir, was wir sehen?



### Farbwahrnehmung durch Zapfen und Stäbchen



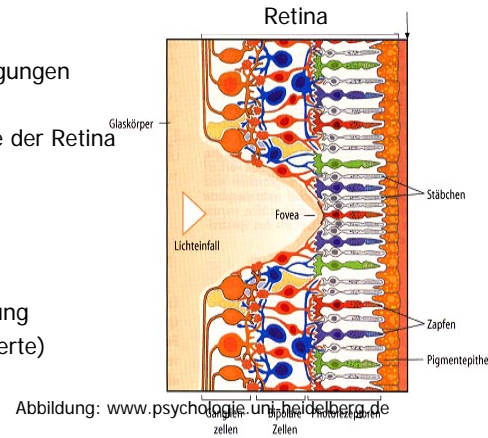
## Farbwahrnehmung durch Zapfen und Stäbchen

### Zapfen:

- Arbeiten unter Tageslichtbedingungen
- Farbsehen
- hohe Konzentration in der Mitte der Retina
- 3 Arten von Farbrezeptoren: rot, grün, blau

### Stäbchen:

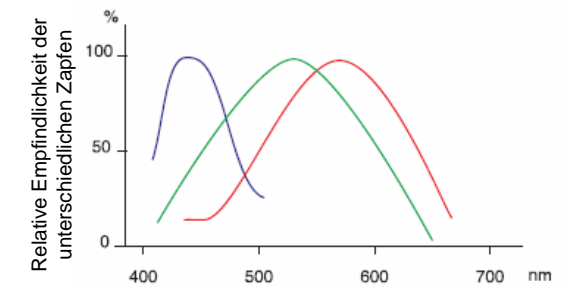
- Arbeiten bei geringer Beleuchtung
- Helligkeitsunterschiede (Grauwerte)
- Liegen am Rand der Retina



Prof. Dr. Elke Hergenröther

## Farbwahrnehmung durch Zapfen und Stäbchen

Wellenlänge des Lichtes entscheidet über die Intensität der Innervierung der Farbsensoren (Zapfen).



Prof. Dr. Elke Hergenröther

## Wie sehen wir, was wir sehen

- Reflektiertes Licht löst in unseren Sehzellen einen Reiz aus
- Zapfen sind verantwortlich für die Farbunterscheidung
- Farbige Licht wird von elektromagnetischen Wellen übertragen
- Die Wellenlänge entscheidet über die Art der Farbempfindung

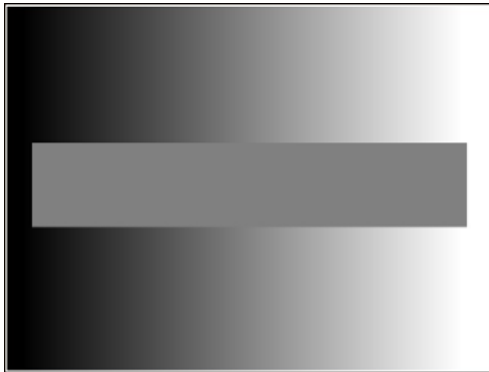
Prof. Dr. Elke Hergenröther

## Farbwahrnehmung

- Wie sehen wir, was wir sehen?
- Farbwahrnehmung ist subjektiv.

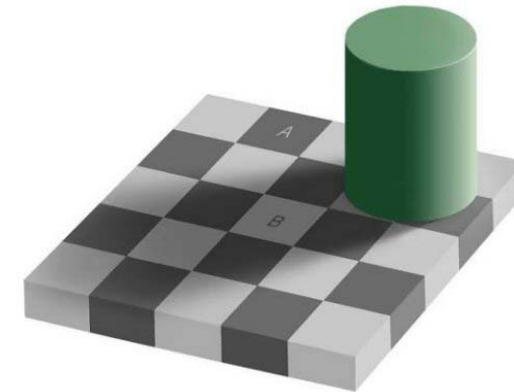
Prof. Dr. Elke Hergenröther

### Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung



Prof. Dr. Elke Hergenröther

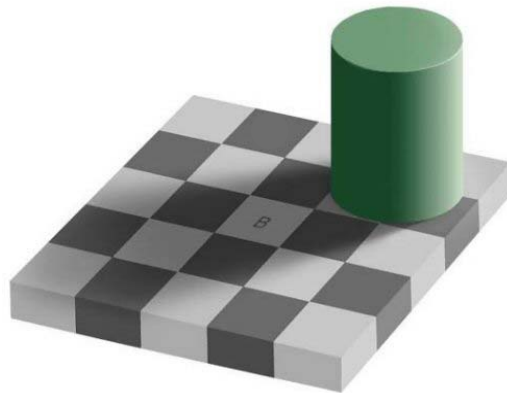
### Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung



Das Quadrat *B* rechts im Bild liegt im Schatten. Dem Muster folgend muss es ein *weißes* Quadrat sein, viel heller als das *dunkle* Quadrat *A*. Absolut betrachtet sind beide Quadrate jedoch gleich hell. (Wikipedia)

Prof. Dr. Elke Hergenröther

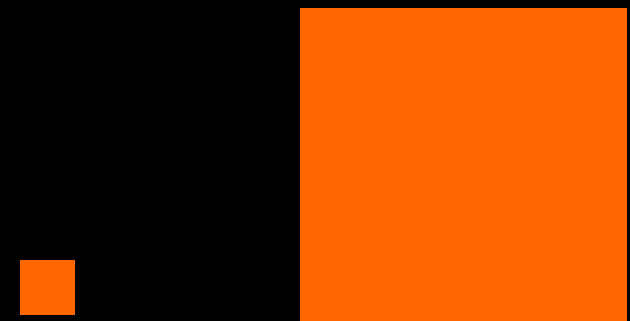
### Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung



Das Quadrat *B* rechts im Bild liegt im Schatten. Dem Muster folgend muss es ein *weißes* Quadrat sein, viel heller als das *dunkle* Quadrat *A*. Absolut betrachtet sind beide Quadrate jedoch gleich hell. (Wikipedia)

Prof. Dr. Elke Hergenröther

### Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Räumliche Ausdehnung



Prof. Dr. Elke Hergenröther

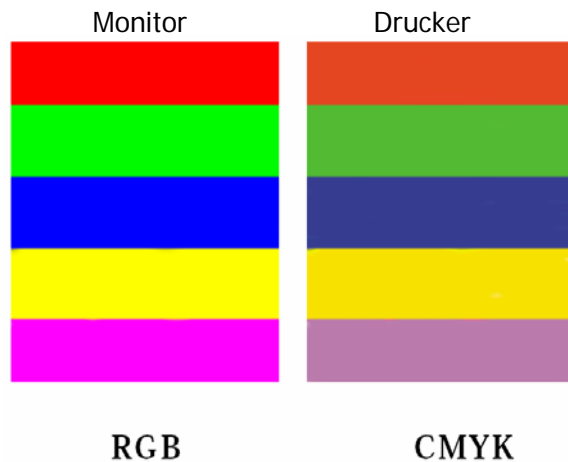
## Einflussfaktoren der subjektiven Farbwahrnehmung

- Farbliche Umgebung
- Räumliche Ausdehnung
- Spektrale Farbempfindlichkeit
- Mentale Verfassung
- Lichtquelle

## Farbwahrnehmung

- Wie sehen wir, was wir sehen?
- Farbwahrnehmung ist subjektiv.
- Farbproduktion ist von der Hardware abhängig.

## Farbproduktion ist von der Hardware abhängig



## Farbproduktion ist von der Hardware abhängig



Fazit: Farbmanagement (Color Management) ist notwendig!

## Colorimetrische (od. kalibrierte) Farbräume

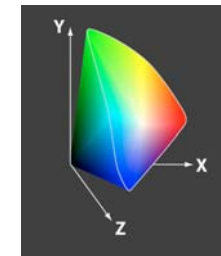
- Farben werden in einer Geräteunabhängigen Form beschrieben (Wahrnehmungsbasiert).
- Farbdarstellungen werden dadurch korrekt reproduzierbar.
- Anwendung:
  - Bilddatenbanken
  - Druckindustrie
  - Filmindustrie
  - Bildverarbeitung
  - Visualisierung bspw. virtueller Prototypen

## CIE Normfarbtafel

- CIE (Commision Internationale d'Eclairage)
- 1931 standardisiertes Farbsystem CIE XYZ
- Grundlage praktisch aller colorimetrischen Farbräume



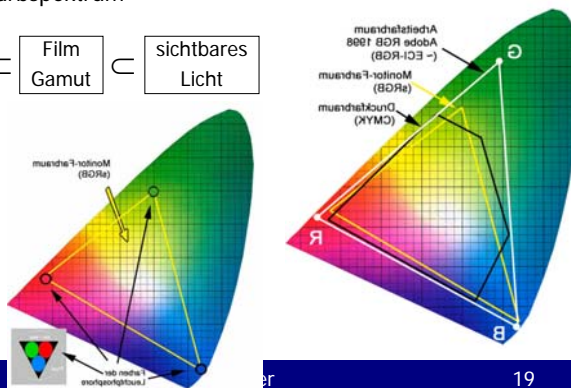
CIE xyY Farbdiaagramm



CIE XYZ Farbraum

## CIE xy Farbdiaagramm

- Entspricht am besten der Farbwahrnehmung des Menschen
- Wenn die drei Punkte für Rot, Grün und Blau im CIE-Farbdreieck festgelegt sind, kann man alle Farben in dem durch die Eckpunkte festgelegten Dreieck mischen.
- **Gamut:** Darstellbares Farbspektrum



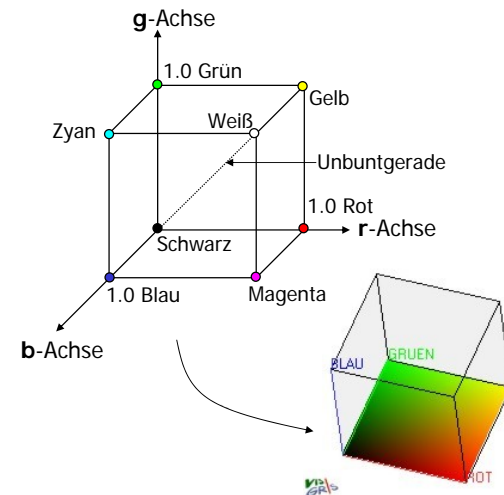
## Farbmodelle

- Die Modelle richten sich an der Farbwahrnehmung des Menschen aus:
  - bestehen immer aus drei Grundfarben,
  - da, Menschen drei unterschiedliche Sinneszellen zur Farbwahrnehmung besitzen
  - > dreidimensionaler Farbraum
- Klassifizierung aller wahrnehmbaren Farben (CIE)

## Hardwareorientierte Farbmodelle

- RGB-Farbmodell
- CMY-Farbmodell

## RGB-Farbmodell

**Allgemeines:**

- 3D Farbraum
- Koordinatenwerte müssen zwischen 0 und 1 liegen.
- Farbe auf der Oberfläche des Würfels oder im Inneren
- Beschreibung der Farbe durch einen 3D Vektor:
  - Farbe =  $[r, g, b]^t$
  - Rot =  $[1, 0, 0]^t$
- Ursprung: Schwarz  $[0, 0, 0]^t$
- geringste Helligkeit :  $[0, 0, 0]^t_{\text{RGB}}$

## RGB-Farbmodell

- **Additive Farbmischung:** Intensität (Helligkeit) nimmt zu, wenn eine weitere Lichtfarbe hinzu kommt.
- Zwei Taschenlampe beleuchten eine Fläche heller, als wenn die Fläche nur von einer angestrahlt wird.
- Auch wenn vor diesen Taschenlampen farbige Filter angebracht sind.

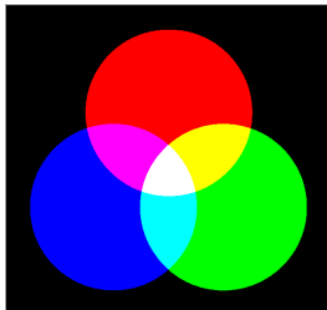
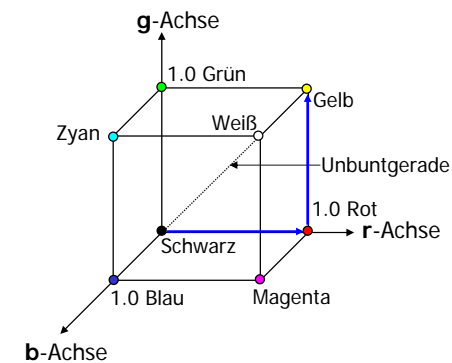


Abbildung zur Demonstration der additiven Farbmischung: In einem dunklen Raum werden ein roter, ein grüner und ein blauer Scheinwerfer auf eine weiße Fläche gerichtet.

## RGB-Farbmodell

**Zusammensetzung einer Farbe**

- additive Farbmischung
- Gelb = Rot + Grün  

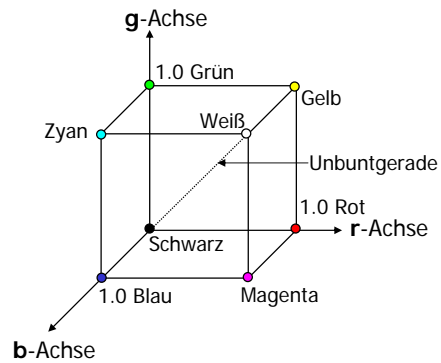
$$= [1,0,0]^t + [0,1,0]^t$$

$$= [1,1,0]^t$$
- Weiß = Rot + Grün + Blau  

$$= [1,0,0]^t + [0,1,0]^t + [0,0,1]^t$$

$$= [1,1,1]^t$$

## RGB-Farbmodell



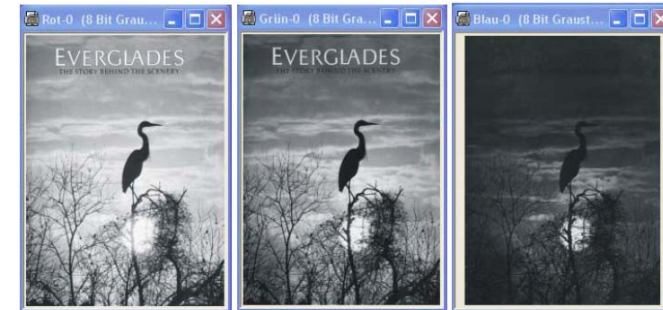
### Eigenschaften des RGB-Modells

- Aussehen der Farbe wird in erster Linie durch die größte Komponente(n) bestimmt.
- Wenn alle Farbkomponenten den gleichen Wert haben, handelt es sich um einen Grauton (Unbuntgerade)
- Wird **nicht** im Modell berücksichtigt: Helligkeitsunterschiede bei blauen und grünen Farbtönen – siehe Farbwahrnehmung.

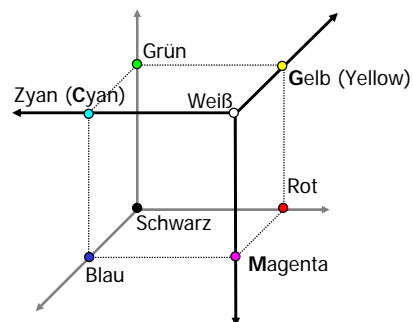
## Übung: RGB-Farbmodell

Bild wurde in einen Rot-, einen Grün- und einen Blaukanal zerlegt.

- Welche Farbe hat „EVERGLADES“?
- Welche Farben haben der Himmel, die Sonne und der Vogel?



## Zusammenhang zwischen RGB- und CMY-Farbmodell



## CMY-Farbmodell

- **Subtraktive Farbmischung:** Intensität (Helligkeit) nimmt ab, wenn eine weitere Lichtfarbe hinzu kommt.

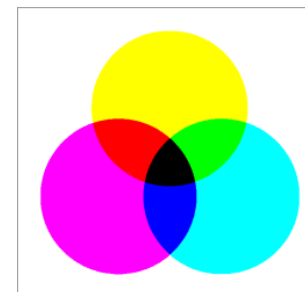
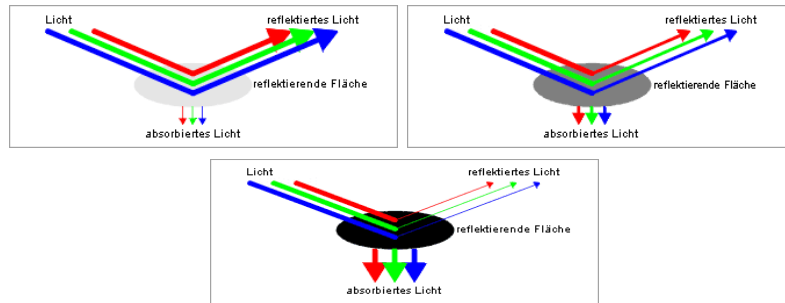


Abbildung zur Demonstration der subtraktiven Farbmischung: Durch auftragen von verschiedenen Farben auf einem weißen Blatt Papier werden verschiedenen Frequenzbereiche herausgefiltert

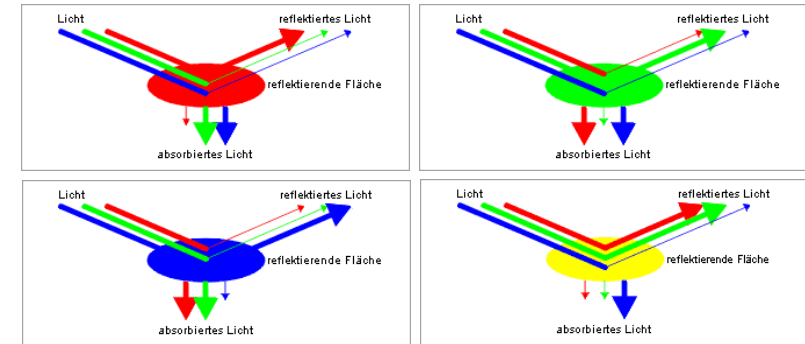
## CMY-Farbmodell: Subtraktive Farbmischung

- stark reflektierende Gegenstände erscheinen hell
- schwach reflektierende Gegenstände erscheinen dunkel
- weiß, schwarz und graue Oberflächen reflektieren den gesamten Spektralbereich gleichmäßig

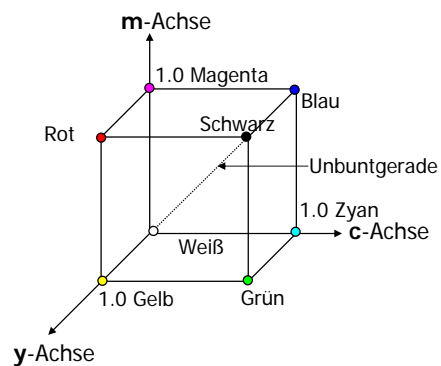


## CMY-Farbmodell: Subtraktive Farbmischung

- Farbige Oberflächen **absorbieren** ein Teil des Spektrums und **reflektieren** den Rest.



## CMY-Farbmodell



### Allgemeines:

- Ursprung: Weiß  $[0, 0, 0]^t$
- höchste Helligkeit :  $[0, 0, 0]^t_{CMY}$
- Umrechnung zwischen RGB- und CMY-Farbmodell:

$$\begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad \text{bzw.} \quad \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c \\ m \\ y \end{bmatrix}$$

- Beschreibung der Farbe durch einen 3D Vektor:
  - Farbe =  $[c, m, y]^t$
  - Rot =  $[0, 1, 1]^t$

## RGB(A)-Farbmodell

- RGB-Farbmodell wird um einen Alpha-Kanal erweitert
- RGB-Farbtupel wird um Alphawert (zwischen 0 und 1) erweitert.

## CMYK-Farbmodell

- Schwarz =  $(1,1,1)_{CMY}^t$
- In der Praxis oft unzureichend, da diese Farbe nicht wirklich schwarz aussieht.
- Daher wird beim CMYK-Modell schwarz (Black) als 4. Komponente hinzugefügt

## Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

- YUV- bzw. YIQ-Farbmodell
- HSV-Farbmodell

Gemeinsamkeiten:

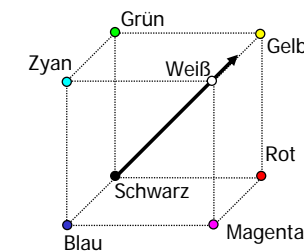
- eine Komponente für Intensität
- zwei Komponenten für Chrominanz

## YUV- bzw. YIQ-Farbmodell

- RGB- und CMY-Farbmodelle sind Hardwareorientiert
- Wunschfarbe herstellen ist schwierig
- Aus Farbbildern (Farbfernsehen) vernünftige Grauwertbilder (Schwarz-Weiß-Fernsehen) zu erzeugen ist ebenfalls schwierig.
- Für die Fernsehtechnik wurde ein Farbmodell gesucht, mit dem man auch vernünftige Grauwertbilder erzeugen kann.
- **Lösung:**
  - **YUV** (europäisches PAL-System)
  - **YIQ** (NTSC-System der USA)

## YUV- bzw. YIQ-Farbmodell

- Eine Achse verläuft entlang der Unbuntgeraden (farblos)



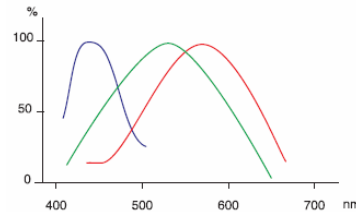
- Zwei weitere Achsen für die Chrominanz (Farbinformation) nötig um den gesamten 3D-Farbraum abdecken zu können!

## YUV-Farbmodell

- Jede Farbe wird durch das Tripel YUV beschrieben
  - Y: Intensität (Helligkeit, Luminanz)
  - U: } zwei intensitätslose Farben
  - V: }
- Umrechnung von RGB nach YUV:  

$$Y = \frac{1}{3}r + \frac{1}{3}g + \frac{1}{3}b$$
- Umrechnung basierend auf unserer Farbwahrnehmung:  

$$Y = 0.3 \cdot r + 0.59 \cdot g + 0.11 \cdot b$$
- Helligkeitsunterschiede der verschiedenen Farbtöne werden berücksichtigt



## Umrechnung: RGB nach YUV

$$y = 0.3 \cdot r + 0.59 \cdot g + 0.11 \cdot b$$

$$u = b - y = 1.0 \cdot b - (0.3 \cdot r + 0.59 \cdot g + 0.11 \cdot b)$$

$$u = -0.3 \cdot r - 0.59 \cdot g + 0.89 \cdot b$$

$$v = r - y = 1.0 \cdot r - (0.3 \cdot r + 0.59 \cdot g + 0.11 \cdot b)$$

$$v = 0.7 \cdot r - 0.59 \cdot g - 0.11 \cdot b$$

$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.59 & 0.11 \\ -0.3 & -0.59 & 0.89 \\ 0.7 & -0.59 & -0.11 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

## Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

- YUV- bzw. YIQ-Farbmodell
- HSV-Farbmodell

Gemeinsamkeiten:

- eine Komponente für Intensität
- zwei Komponenten für Chrominanz
  - Farbsättigung } HSV-Farbmodell
  - Farbton }

## HSV-Farbmodell

- Hue** = Farbton
- Saturation** = Sättigung
- Value** = Intensität

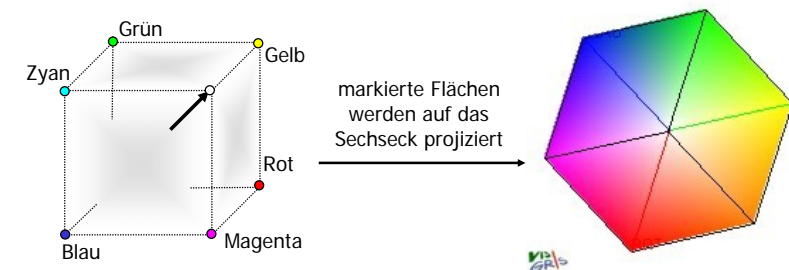
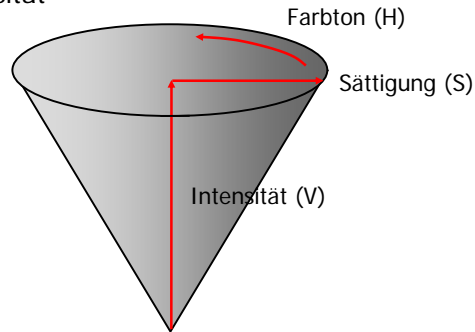


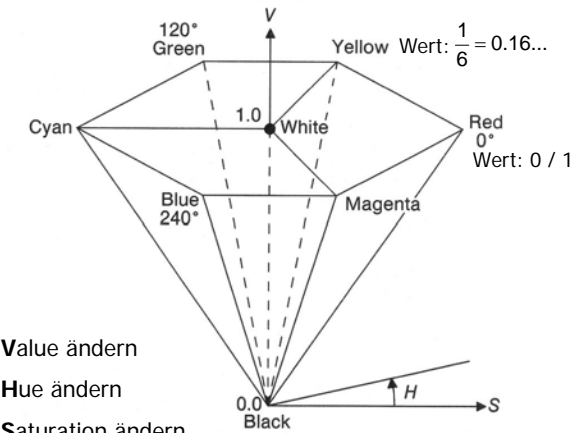
Abbildung beschreibt, die Erzeugung des Farbtons (ausgehend von RGB)

## HSV-Farbmodell: Hexakegel

- **Hue** = Farbton
- **Saturation** = Sättigung
- **Value** = Intensität



## HSV-Farbmodell: Hexakegel



## Was passiert?

Schwarz =  $[0,0,0]_{HSV}^t$  : Value ändern

Rot =  $[1,1,1]_{HSV}^t$  : Hue ändern

Rot =  $[1,1,1]_{HSV}^t$  : Saturation ändern

## HSV-Farbmodell: Hexakegel

## RGB-Farbwerte ins HSV-Modell eintragen:

1. alle drei Farbwerte sind **gleich groß**:

$[r,g,b]_{RGB}^t$  mit  $r=g=b$ :  $[0,0,r]_{HSV}^t = [0,0,g]_{HSV}^t = [0,0,b]_{HSV}^t$

2. zwei der drei Farbwerte sind gleich, der 3. ist **größer**:

$[r,g,b]_{RGB}^t$  mit  $r=g$  und  $b > r$ :

H: b bestimmt den Farbton

$$V = b$$

S: r bzw. g bestimmen den Grauwert

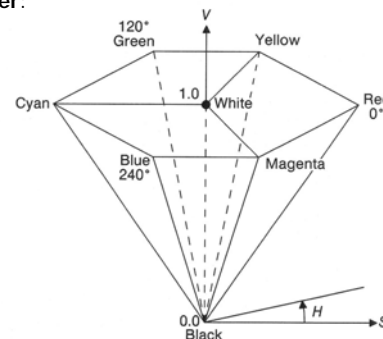
3. zwei der drei Farbwerte sind gleich, der 3. ist **kleiner**:

$[r,g,b]_{RGB}^t$  mit  $r=g$  und  $b < r$ :

H: r&g bestimmen den Farbton

$$V = r = g$$

S: b bestimmt den Grauwert



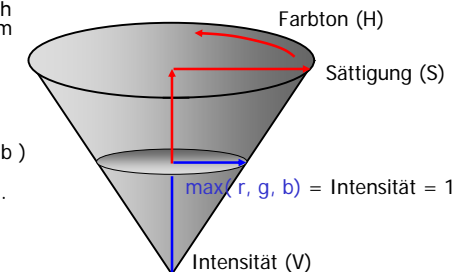
## HSV-Farbmodell: Hexakegel

## RGB-Farbwerte ins HSV-Modell eintragen:

Berechnen der Sättigung (S):

1. Intensität (V) berechnen =>  $\max(r, g, b)$
2. Je nach Intensität die Farbe befindet sich die Farbe auf einer bestimmten Ebene im Hexakegel.
3. Maximale Sättigung auf der Ebene = 1, tatsächliche Länge entspricht aber der Intensität.
4. Der Grauwertanteil der Farbe  $\min(r, g, b)$  wird von der aktuellen Sättigung abgezogen:  $\max(r, g, b) - \min(r, g, b)$ .
5. Und relativ zur Länge 1 umgerechnet.

$$\text{Also: } \frac{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)}{\max(r,g,b)}$$



## Beispiel: Von RGB nach HSV

Gegeben:  $[0.9, 0.6, 0.3]_{\text{RGB}}^t$

- Welchen Farbton hat die Farbe?
- Welche Intensität hat die Farbe?
- Welche Sättigung?

## Vorteile der Wahrnehmungsorientierten Modelle

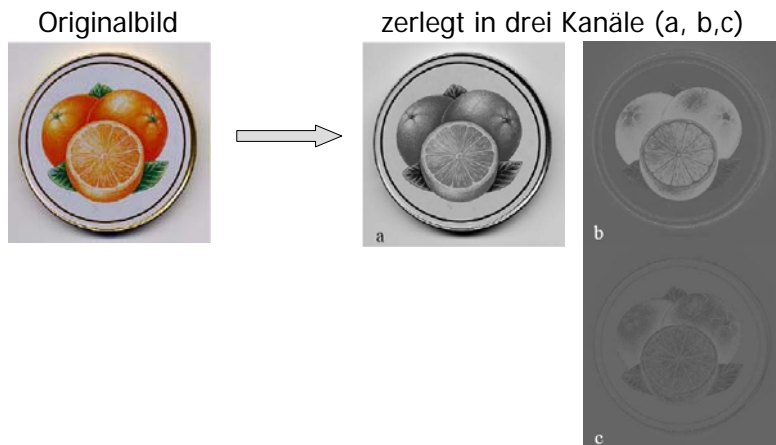
### Wahrnehmungsorientierte Modelle

- Farbmodelle, die auf einer Intensitäts und Chrominazzerlegung beruhen (YUV bzw. YIQ und HSV).

### Vorteile:

- entsprechen der menschlichen Wahrnehmung
- Komprimierungsmöglichkeit (Kapitel 7)
- Keine Umrechnung bei der Ausgabe auf Schwarz-Weiß-Geräten
- Algorithmen zur Bildverarbeitung und -bearbeitung erfordern weniger Berechnungsaufwand (Bsp. Aufhellung, Kontrastverbesserung)

## Um welches Farbmodell handelt es sich?



## Rechnerinterne Repräsentation von Farbbildern

- True-Color Farbauflösung:
- Auflösung des menschlichen Sehsystems wird fast erreicht
- 3 Byte (24 Bit) Speicherplatz pro Farbwert
- D.h. pro Farbkanal 1 Byte = 8 Bit = 256 Werte
- D.h. eine Auflösung von  $256 \times 256 \times 256 > 16$  Mio. Farben
- Farben werden auf eine endliche Anzahl Farbwerte abgebildet: **Quantisierung**  
(Begriff der BV für Diskretisierung)

## Komprimierung durch LUT

- LUT = Look Up Table (Farbtabelle)
- Ausgewählte Farben (Bsp. True Color) können Speicherplatzsparend abgelegt werden
- Beispiel: Milka-Verpackung (Benötigt nur noch **2 Bit/Pixel**)

Index	r	g	b
0	0	0	0
1	145	50	152
2	255	255	255

LUT für Milka

## Beispiel für die Verwendung einer LUT bei einem Grauwertbild

	0	1	2	3	4	...	Index	r	g	b
0	253	255	255	253	255	...	0	0	0	0
1	255	255	255	0	160	...	1	1	1	1
2	255	254	255	1	159	...	...	...	...	...
3	252	255	255	0	161	...	254	254	254	254
4	...	...	...	...	...	...	255	255	255	255

Grauwertbild (24 Bit) LUT (8 Bit)

**Pseudofarbbild:** Grauwerten „echte“ Farbwerte zuordnen

**Falsch-Farbbild:** Farben werden verändert oder vertauscht

## Experimente zum Thema Farbmodelle

- <http://olli.informatik.uni-oldenburg.de/Grafiti3/grafiti/flow12/page5.html>
- GIMP (Praktikum)