

Visual Computing

Digitale Bilder

Hochschule Darmstadt

Björn Frömmer

Prof. Dr. Benjamin Meyer

KAPITEL 10

Farbräume

Farbmodelle

Die Modelle richten sich an der Farbwahrnehmung des Menschen aus:

- bestehen immer aus drei Grundfarben
- Menschen besitzen drei unterschiedliche Sinneszellen zur Farbwahrnehmung
- dreidimensionaler Farbraum

Man unterscheidet zwischen

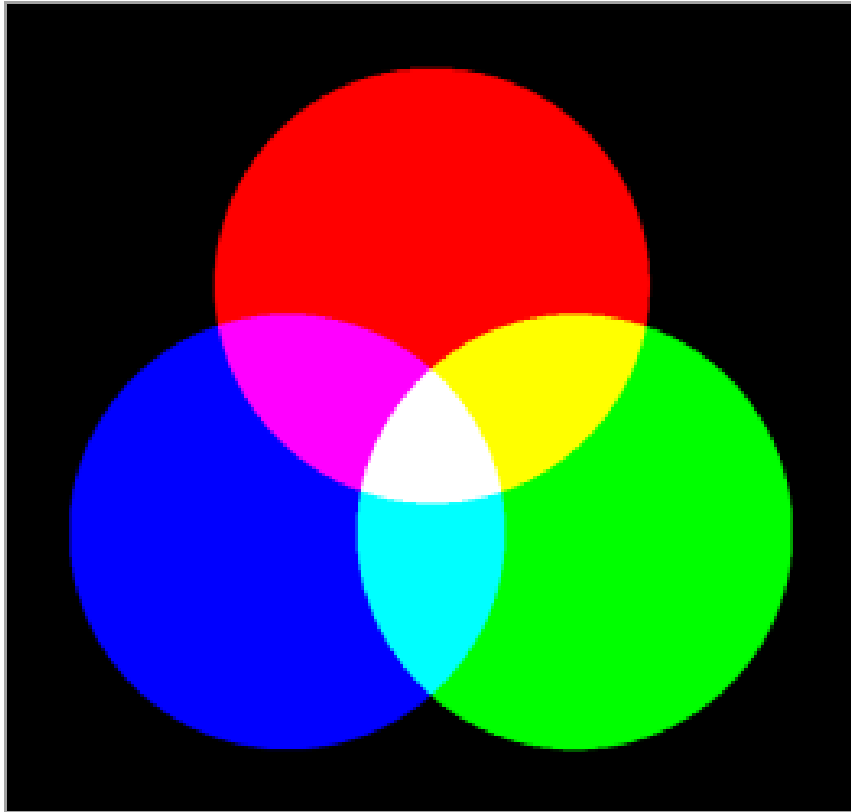
hardwareorientierten Farbmodellen:

- RGB, CMY

und **wahrnehmungsorientierten Farbmodellen:**

- HSV, YCbCr, CIE XYZ und CIELab

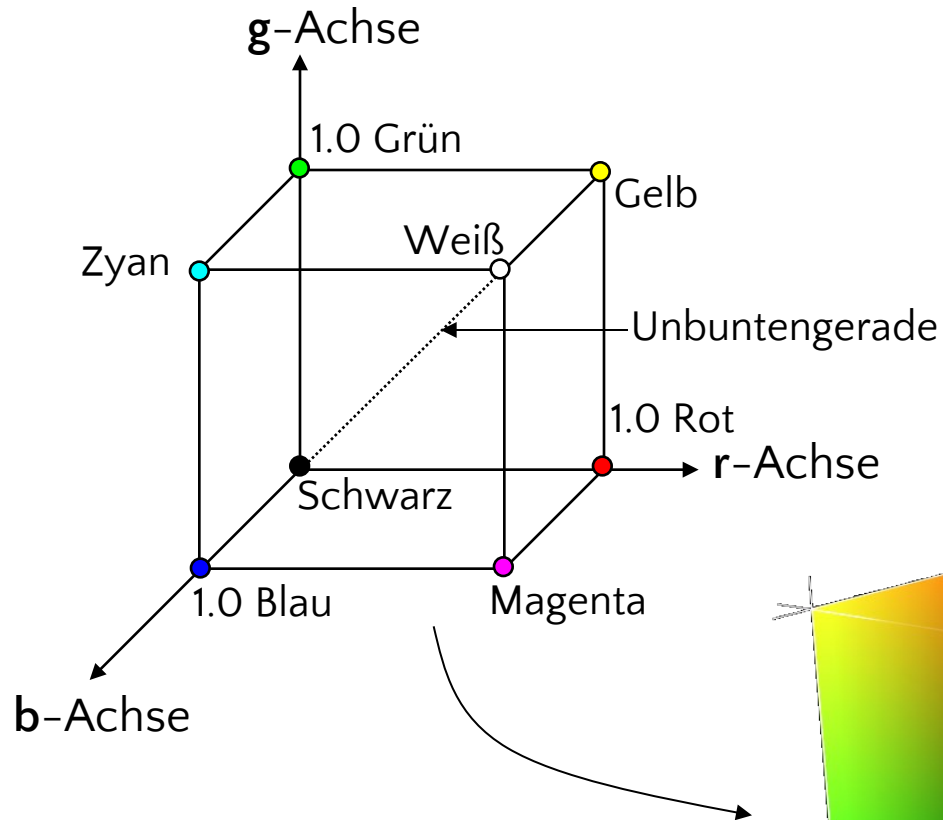
Wiederholung: RGB-Farbmodell



- **Additive Farbmischung:** Intensität (Helligkeit) nimmt zu, wenn eine weitere Lichtfarbe hinzu kommt.
- Zwei Taschenlampen beleuchten eine Fläche heller, als wenn die Fläche nur von einer angestrahlt wird. Die Mischung der Farben erfolgt additiv. Es wird heller mit jeder neu hinzukommenden Farbe.
- Auch wenn vor diesen Taschenlampen farbige Filter angebracht sind.

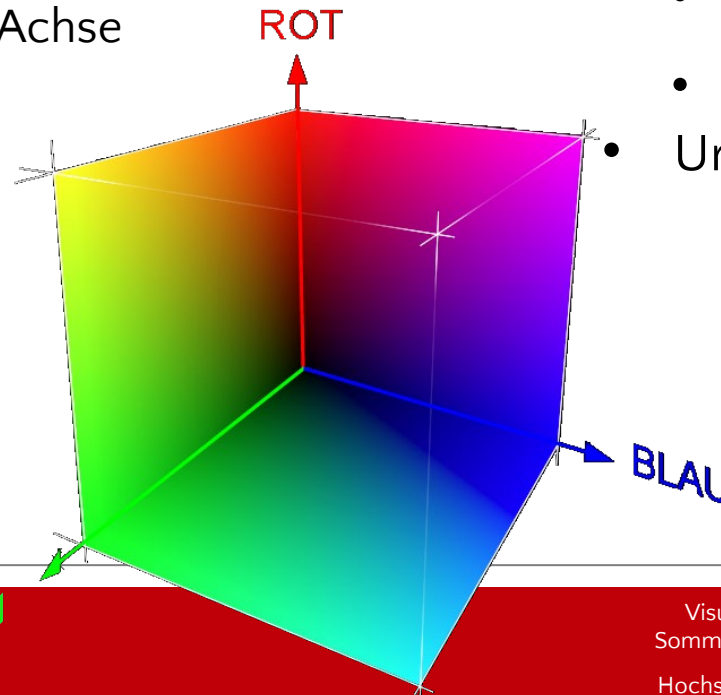
Abbildung zur Demonstration der additiven Farbmischung: In einem dunklen Raum werden ein roter, ein grüner und ein blauer Scheinwerfer auf eine weiße Fläche gerichtet.

Wiederholung: RGB-Farbmodell

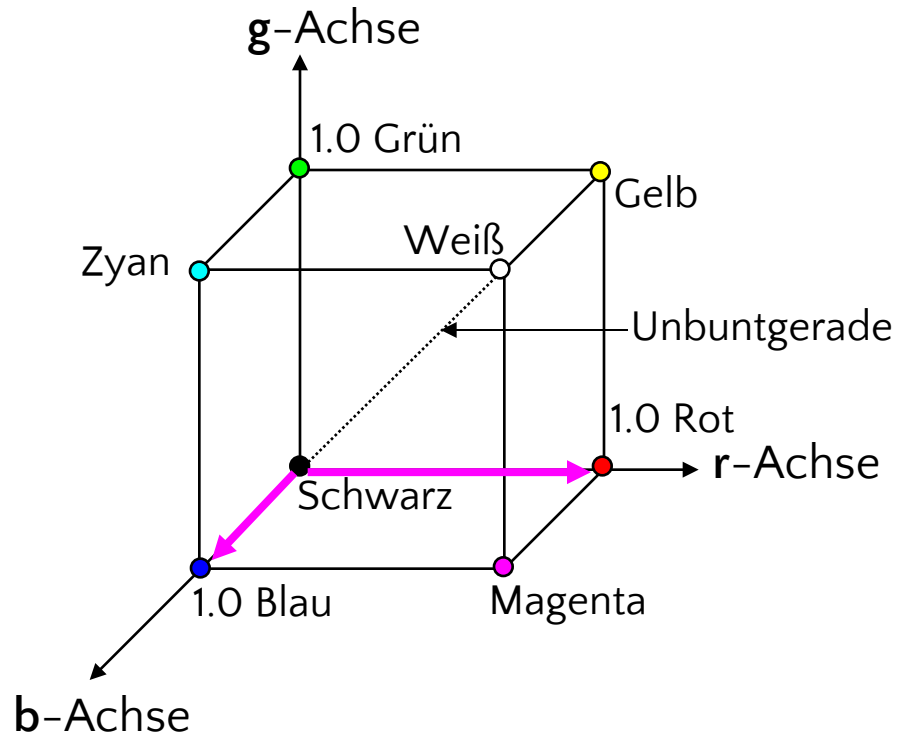


Allgemeines zu RGB:

- Koordinatenwerte müssen zwischen 0 und 1 oder zwischen 0 und 255 liegen.
- Farben werden durch einen 3D Vektor beschrieben:
 - Farbe = $[r, g, b]^t$
 - Rot = $[1, 0, 0]^t$
- Ursprung: Schwarz $[0, 0, 0]^t$



Wiederholung: RGB-Farbmodell

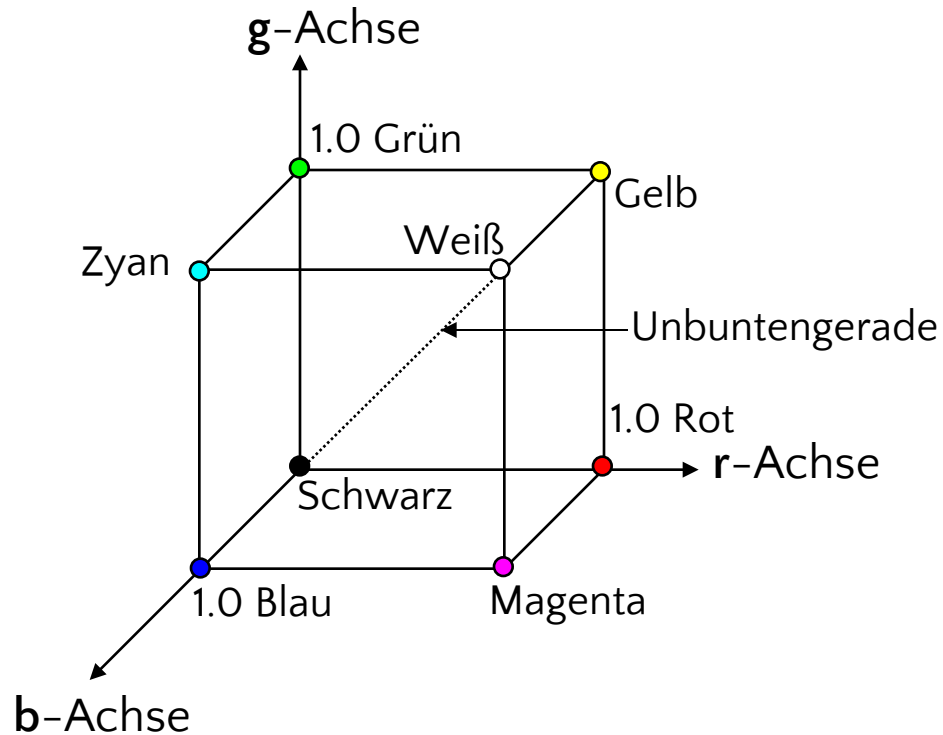


Die Zusammensetzung einer Farbe im RGB-Raum erfolgt durch additive Farbmischung:

$$\begin{aligned}\text{Magenta} &= \text{Rot} + \text{Blau} \\ &= [1,0,0]^t + [0,0,1]^t \\ &= [1,0,1]^t\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Weiß} &= \text{Rot} + \text{Grün} + \text{Blau} \\ &= [1,0,0]^t + [0,1,0]^t + [0,0,1]^t \\ &= [1,1,1]^t\end{aligned}$$

Wiederholung: RGB-Farbmodell



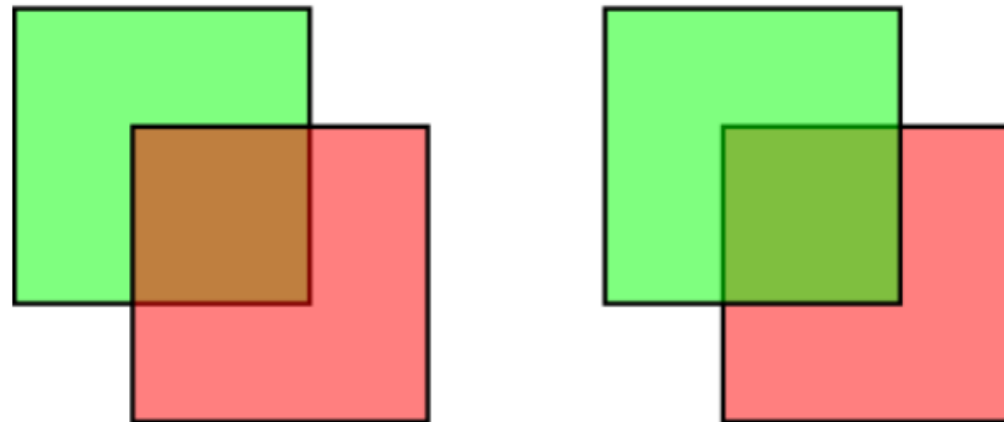
Eigenschaften des RGB-Farbmodells

- Aussehen der Farbe wird in erster Linie durch die größte(n) Komponente(n) bestimmt.
- Wenn alle Farbkomponenten den gleichen Wert haben, handelt es sich um einen Grauton (Unbuntergerade)
- Helligkeitsunterschiede bei der Wahrnehmung von Farbtönen werden nicht berücksichtigt.

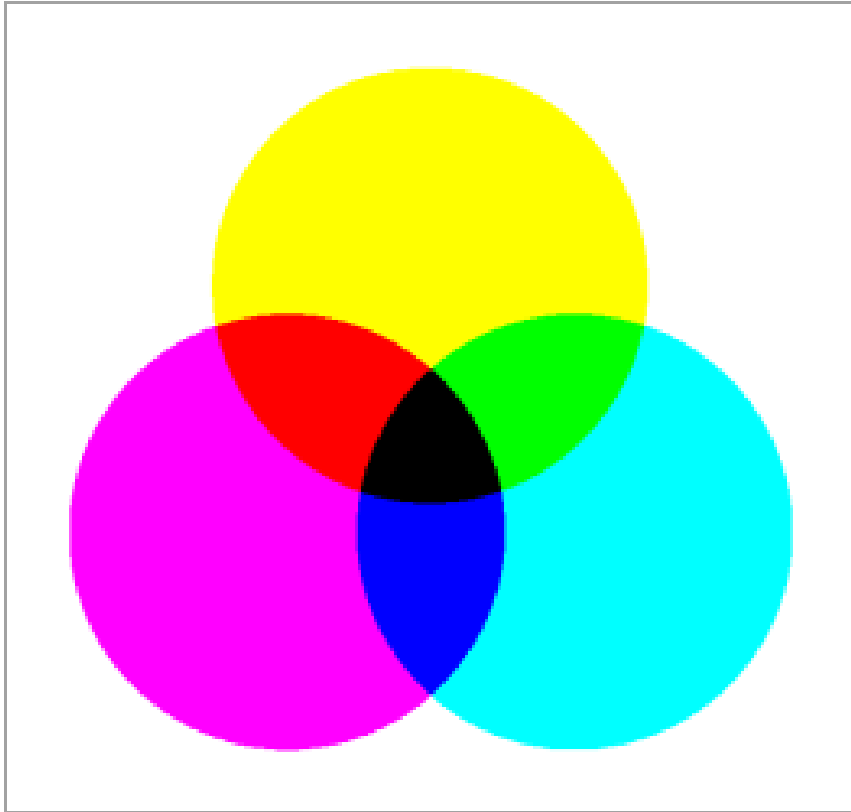
RGBA-Farbmodell: Erweiterung des RGB-Farbsystems

Sample Length:	8								8								8								8							
Channel Membership:	Alpha								Red								Green								Blue							
Bit Number:	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Beispiel für die Darstellung transparenter Farben in OpenGL:
 Links: Rote Farbfläche oben Rechts: Grüne Farbfläche oben



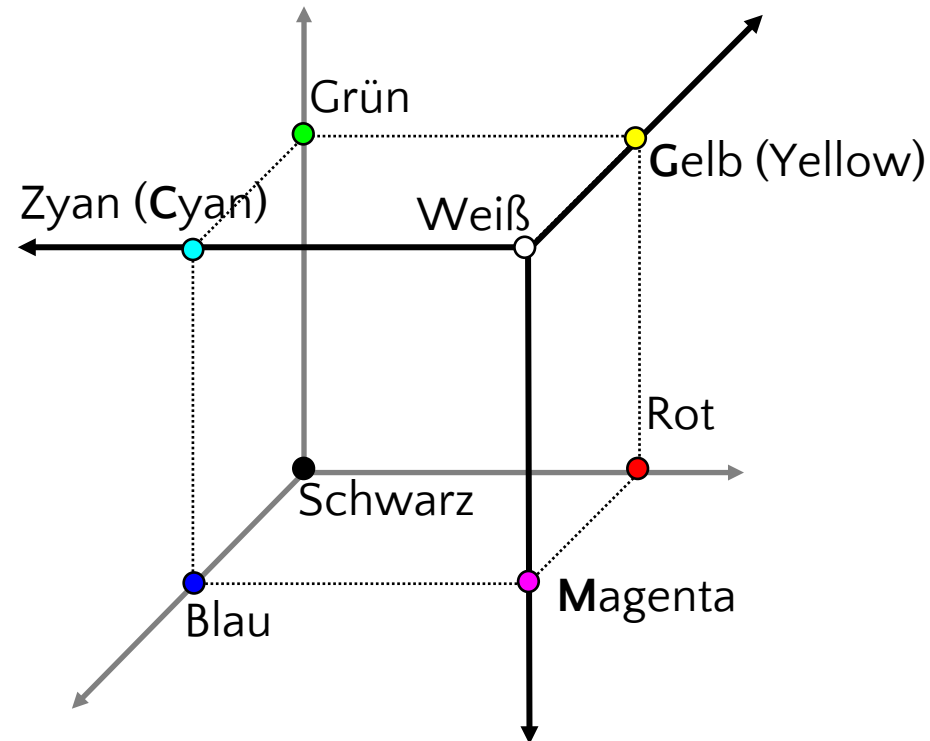
CMY-Farbmodell



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

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

Zusammenhang zwischen RGB- und CMY-Farbmodell



In der Abbildung ist das RGB-Farbmodell und das (negierte) CMY-Farbmodell dargestellt.

CMYK-Farbmodell: Erweiterung des CMY-Farbmodells

- CMY liefert beim Druck oft unzureichende Ergebnisse, da die Mischung aus C-, M- und Y-Farbpigmenten nicht schwarz aussieht.
- Daher wird beim CMYK-Modell schwarz als 4. Komponente hinzugefügt.
 - Schwarzanteil mit der Bezeichnung **Key** oder **Key Colour**.
(Key bezieht sich dabei auf die für den Druck eingesetzte schwarze Schlüsselplatte, an der die anderen drei Farbtöne ausgerichtet werden.)
- Reines Schwarz = $(1,1,1)^t_{\text{CMY}} = (0,0,0,1)^t_{\text{CMYK}}$



CMYK-Farbmodell: Erweiterung des CMY-Farbmodells

Links: mit der Erweiterung zu CMYK

Rechts: ohne zusätzlichen K-Kanal



Der zusätzliche Farbkanal K, wird genutzt, um Kontraste zu erhöhen

Bild aus: <https://www.wikiwand.com/de/Farbraum>

1. Farbmodelle

Hardwareorientierte Farbmodelle:

- RGB, RGBA
- CMY, CMYK

Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle:

- HSV, YCbCr
- CIE XYZ und CIELab

Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

- Hardwareorientierte Farbmodelle eignen sich nicht zur Modellierung von Farben.
- Wir beurteilen Farben nach Farbigkeit (Chrominanz) und Helligkeit (Intensität)
- **Das HSV-Farbmodell hat das Ziel, die menschliche Farbwahrnehmung abzubilden.** Dabei wird zwischen den folgenden Farbeigenschaften unterschieden:
 - **Farbton** (Teil der Chrominanz)
 - **Sättigung** (Teil der Chrominanz, der den „Weiß-Anteil“ der Farbe beschreibt: Rosa hat eine geringe Sättigung, Signalrot hat eine hohe Sättigung)
 - **Helligkeit**
- **Das YCbCr-Farbmodell** (europäisches PAL-System) wurde für die Fernsehtechnik entwickelt. Ziel war aus Farbbildern schnell vernünftige Grauwertbilder zu erzeugen.

YCbCr Farbmodell

YCbCr-Farbsystem teilt die Farbinformation ein in:

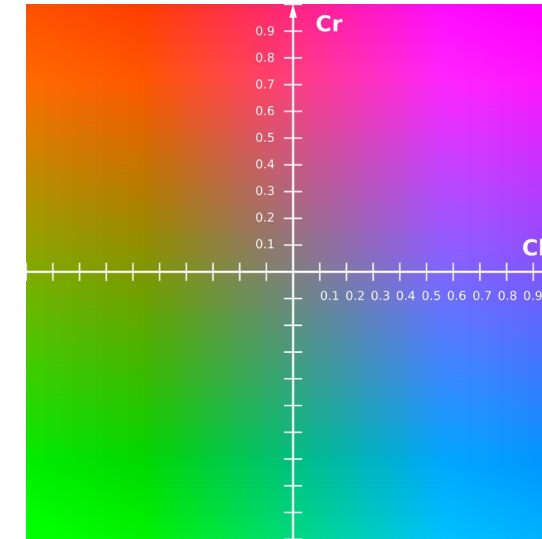
- Grundhelligkeit Y
- Farbkomponente Cb (*Blue-Yellow Chrominance*)
- Farbkomponente Cr (*Red-Green Chrominance*)

Das YCbCr-Farbmodell wird verwendet in:

- JPEG-Komprimierung (Bilddatenformat)
- MPEG-Komprimierung (Videodatenfor

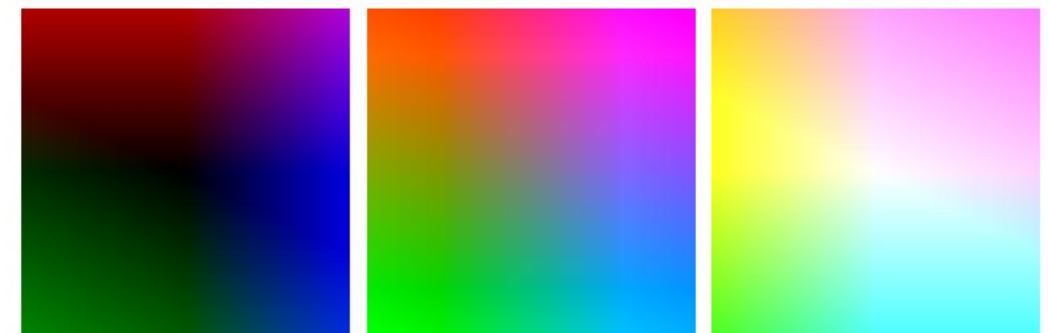
Bilder und Inhalte aus:

<https://de.wikipedia.org/wiki/YCbCr-Farbmodell>



CbCr-Fläche des YCbCr-Farbmodells im RGB-Farbraum auf einer Helligkeitsebene von $Y = 0,5$

CbCr-Flächen bei unterschiedlichem Y-Wert



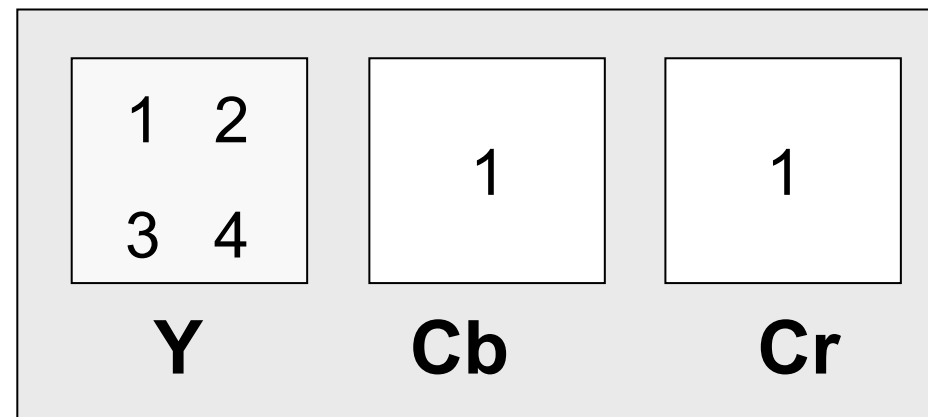
Y=0

Y=0,5

Y=1

YCbCr Farbmodell

Das Auge kann geringe Helligkeitsunterschiede besser erkennen als kleine Farbton- und Farbsättigungsunterschiede. Daher wird den Helligkeitswerten (Y), im Vergleich zu den Farbwerten (Cb und Cr), doppelt soviel Speicherplatz zur Verfügung gestellt:



- Codierung: 4:1:1-Farbraum im YCbCr-Modell
- Komprimierungsrate: 50% (6 statt 12 Werte für 4 Pixel)
- wird im JPEG- und MPEG-Kompressionsverfahren eingesetzt

YCbCr Farbmodell

Die Matrixberechnung dient nur zur Information und ist nicht klausurrelevant!!!

- Zur Umrechnung von Farbmodellen werden Umrechnungsmatrizen benutzt.
- Liegen die R'G'B'-Daten bereits digital als $R'_d G'_d B'_d$ im Wertebereich $\{0, 1, \dots, 255\}$ vor, wird zur Umrechnung vom RGB-Farbmodell ins YCbCr-Farbmodell die folgende Matrix genutzt:

$$\begin{bmatrix} Y' \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,168736 & -0,331264 & 0,5 \\ 0,5 & -0,418688 & -0,081312 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R'_d \\ G'_d \\ B'_d \end{bmatrix}$$

Wichtig zu wissen ist:

- Die Helligkeit Y eines Pixels setzt sich zu ca. 30% aus R-, zu ca. 60% aus G- und zu ca. 10% aus B-Farbinformation zusammen. Das entspricht der menschlichen Wahrnehmung, die das YCbCr-Farbmodell abbildet.

YCbCr Farbmodell

- Original Farbbild oben (gelb eingerahmt) Aufspaltung dieses Bildes in die Komponenten Y, Cb und Cr darunter.
- Die Unschärfe in den Farbkomponenten Cb und Cr macht anschaulich, warum die Farbinformation in der Auflösung reduziert werden kann (downsampling) ohne den Bildeindruck wesentlich zu verschlechtern (siehe Originalbild).
- Personen mit einer Rot-Grün-Sehschwäche sehen die Cr-Farbkomponente im letzten Teilbild nur eingeschränkt
- Die Zerlegung der Farbinformation beruht auf der Gegenfarbtheorie von Hering zur Verarbeitung von Farbinformation im Auge und Gehirn. Diese besagt, das Blau nie gelbliche Nuancen (und umgekehrt) und rot nie grünlich oder türkise-Nuancen (und umgekehrt) aufweist (Folie 15).

Bild und Text aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/YCbCr-Farbmodell>



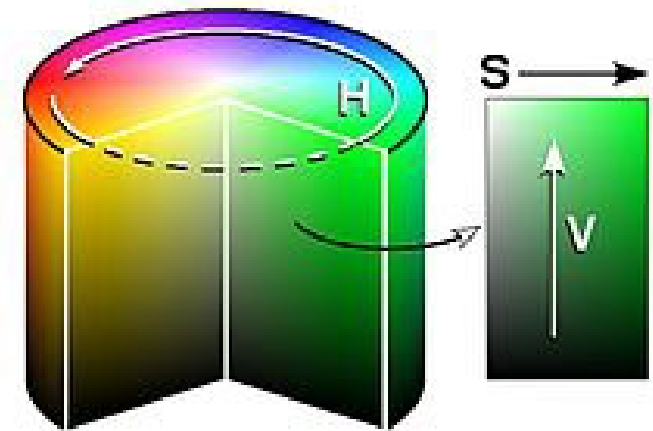
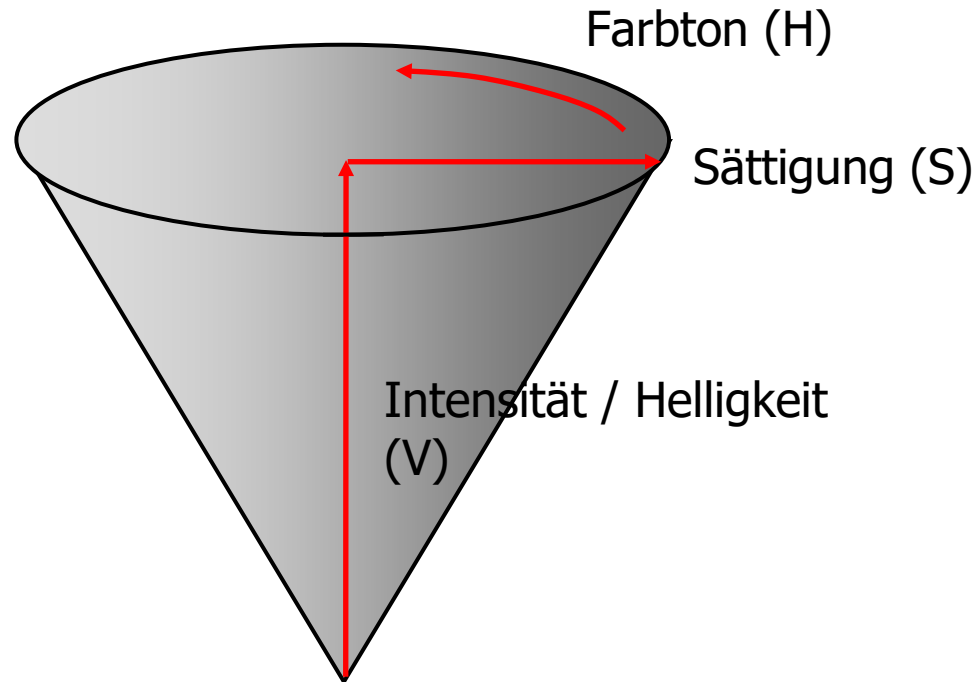
Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

- Hardwareorientierte Farbmodelle eignen sich nicht zur Modellierung von Farben.
- Wir beurteilen Farben nach Farbigkeit (Chrominanz) und Helligkeit (Intensität)
- **Das HSV-Farbmodell hat das Ziel, die menschliche Farbwahrnehmung abzubilden.** Dabei wird zwischen den folgenden Farbeigenschaften unterschieden:
 - **Farbton** (Teil der Chrominanz)
 - **Sättigung** (Teil der Chrominanz, der den „Weiß-Anteil“ der Farbe beschreibt: Rosa hat eine geringe Sättigung, Signalrot hat eine hohe Sättigung)
 - **Helligkeit**
- **Das YCbCr-Farbmodell** (europäisches PAL-System) wurde für die Fernsehtechnik entwickelt. Ziel war aus Farbbildern schnell vernünftige Grauwertbilder zu erzeugen.

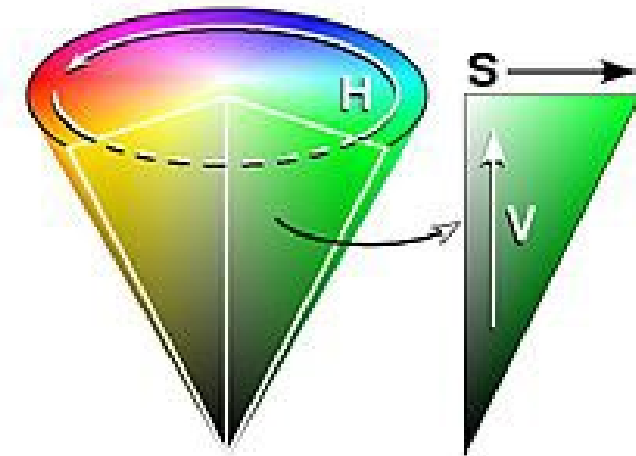
HSV Farbmodell

HSV-Farbsystem teilt die Farbinformation ein in:

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



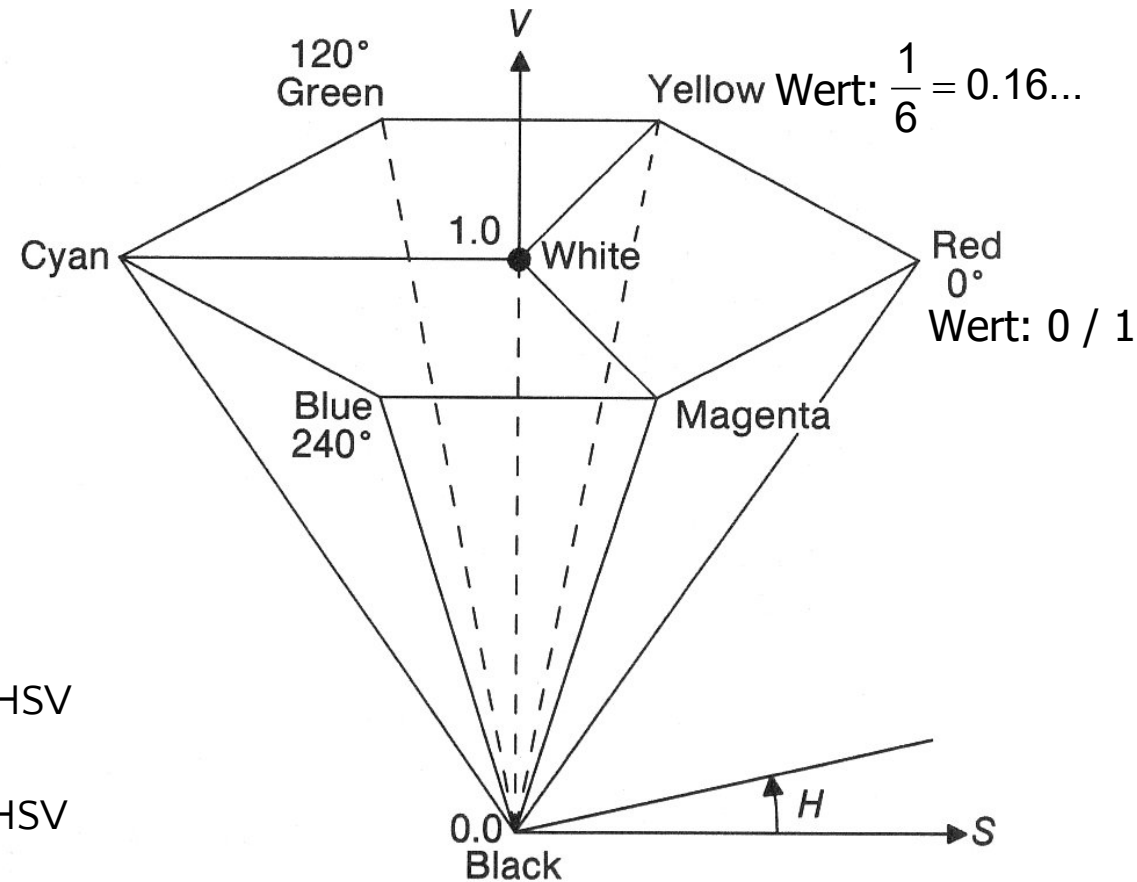
HSV-Farbmodell als Zylinder



HSV-Farbmodell als Kegel

HSV Farbmodell

Schematische Darstellung:

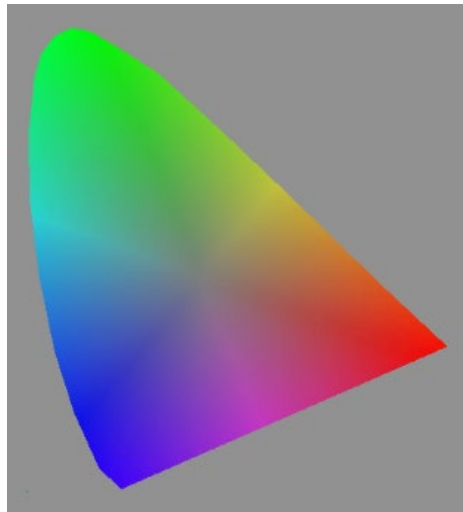


Ausgezeichnete Farben:

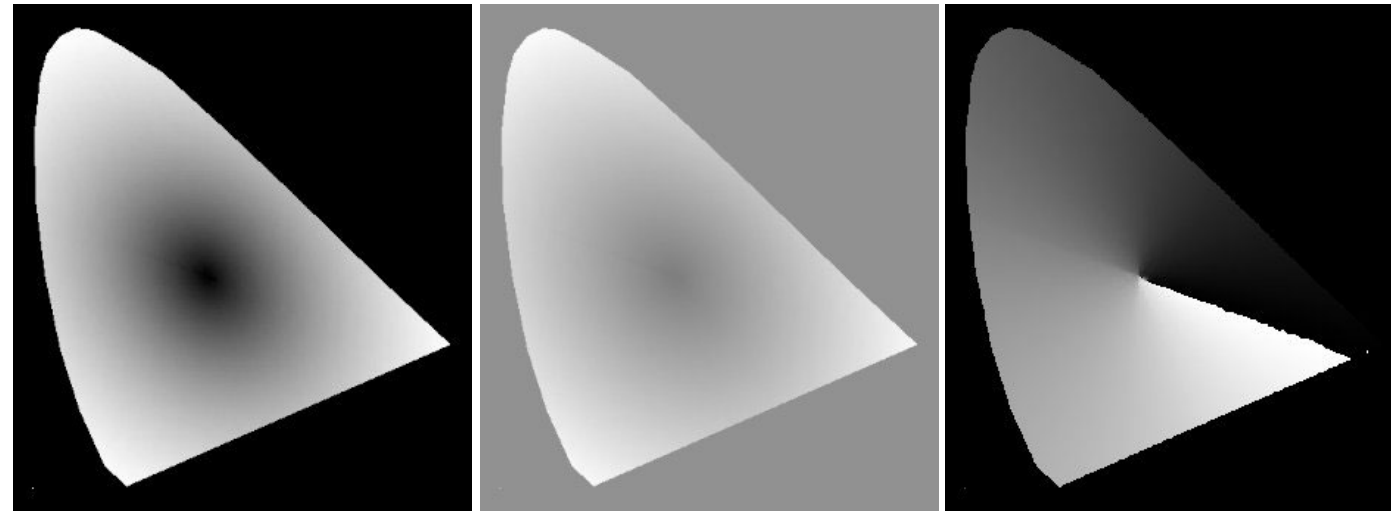
- Schwarz = $[egal, egal, 0]_{HSV}^t$
- Rot = $[1,1,1]_{HSV}^t$ und $[0,1,1]_{HSV}^t$
- Weiß = $[egal, 0, 1]_{HSV}^t$

HSV Farbmodell

Zerlegung eines Farbbildes in seine HSV-Kanäle



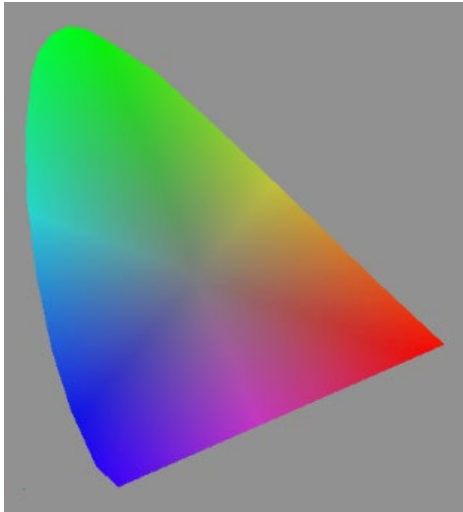
Farbbild



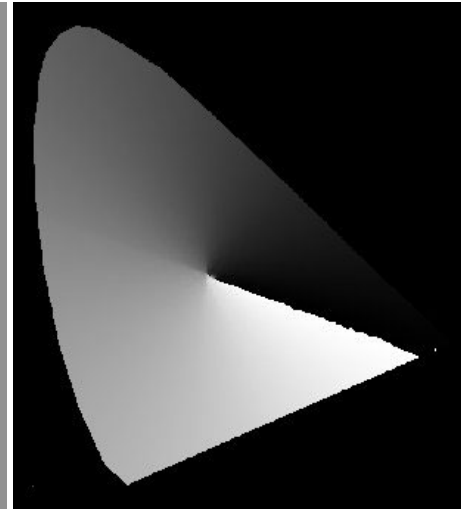
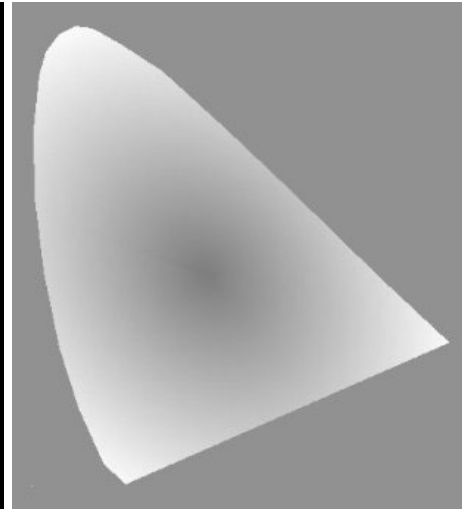
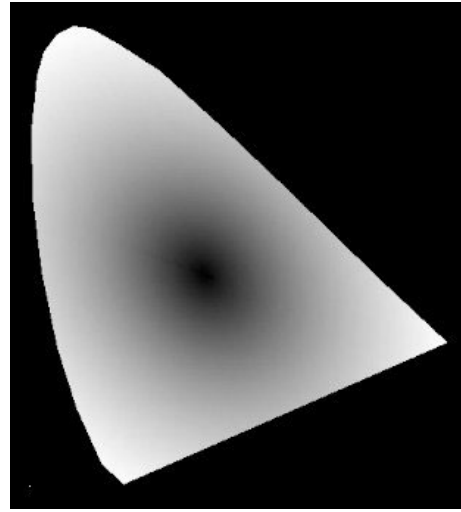
Zerlegung des Farbbildes in die Kanäle des HSV-Modells:
Geben Sie an, welches Grauwertbild welchen Kanal abbildet.

HSV Farbmodell

Zerlegung eines Farbbildes in seine HSV-Kanäle



Farbbild



Zerlegung des Farbbildes in die Kanäle des HSV-Modells:

Sättigung (S):

Weil Hintergrund
Im Farbbild grau
ist, also unge-
sättigt = schwarz

Helligkeit (V):

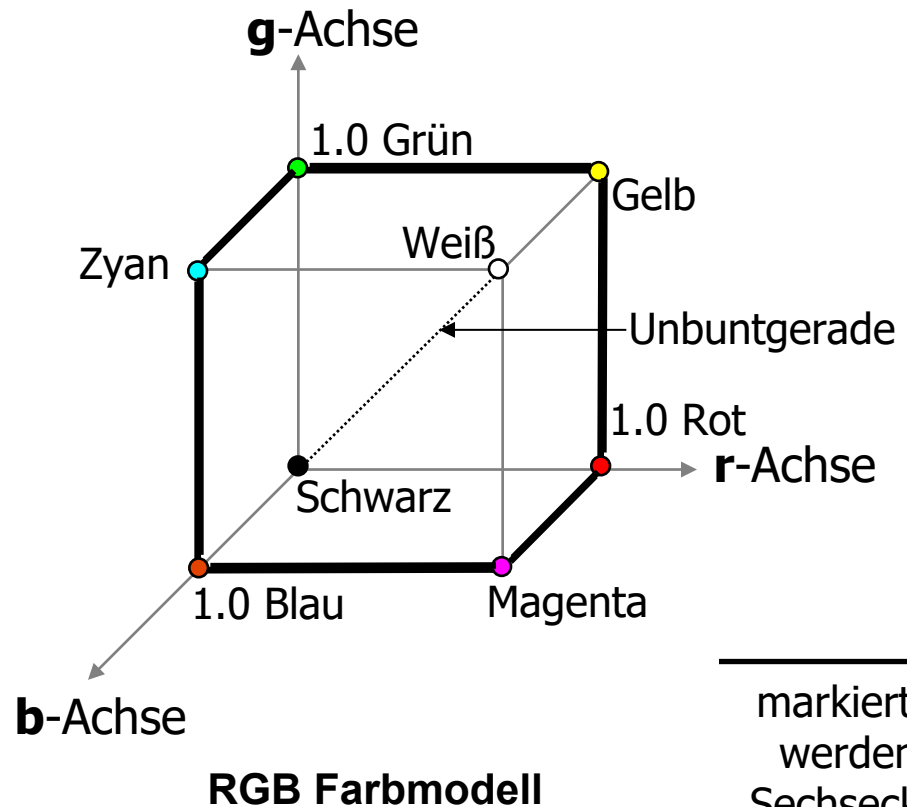
sieht aus wie das
Farbbild ohne Farbe

Farbe (H):

im Rotbereich sieht
man den Übergang
0 zu 360 Grad

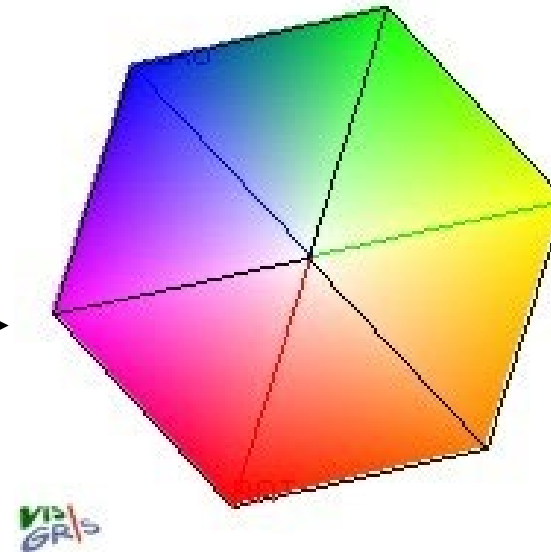
HSV Farbmodell

Zusammenhang zwischen dem RGB- und HSV-Farbmodell:



Hue = Farbton
Saturation = Sättigung
Value = Intensität

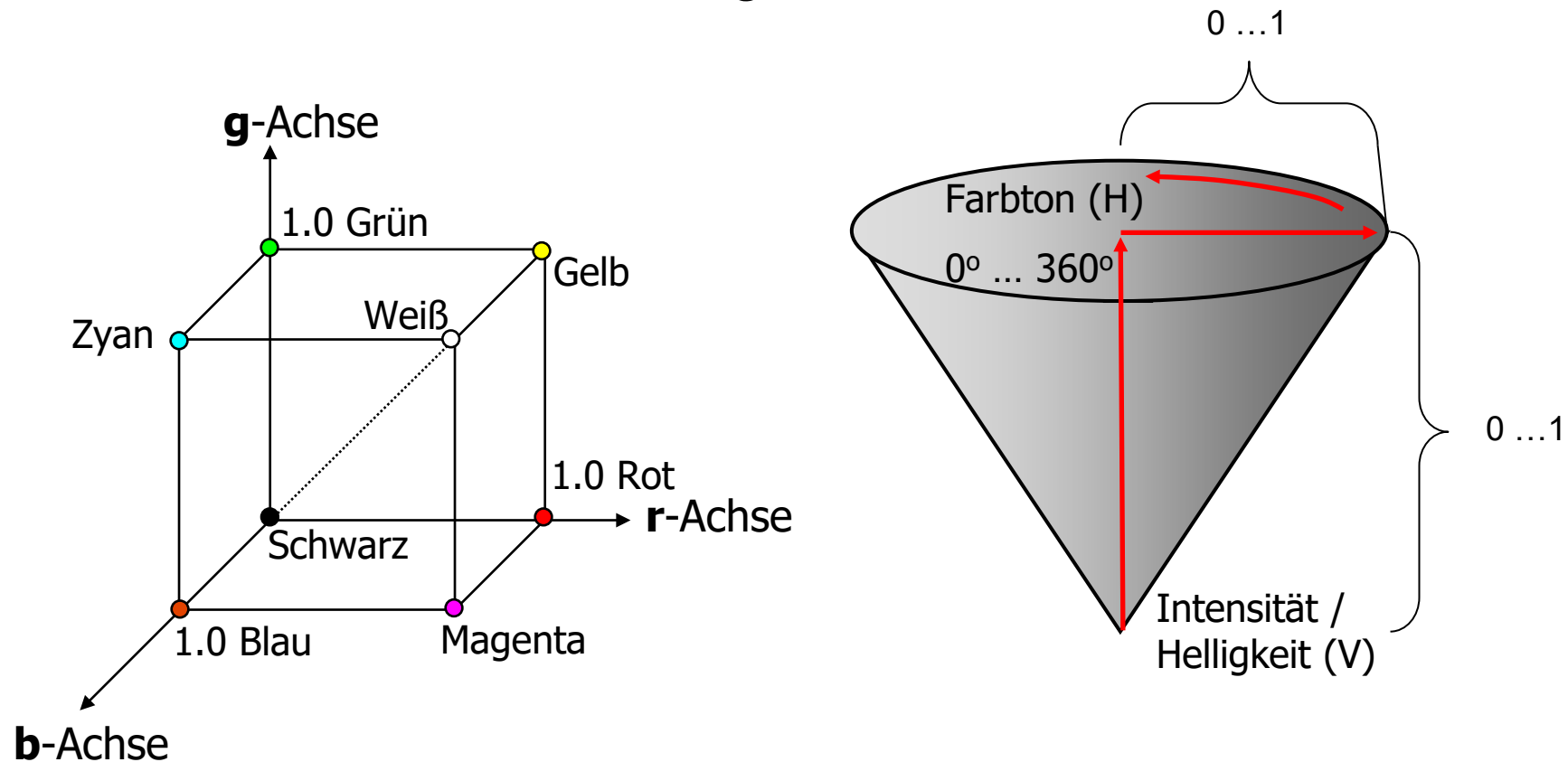
markierte Flächen
werden auf das
Sechseck projiziert



HSV Farbmodell

Zusammenhang zwischen dem RGB- und HSV-Farbmodell:

Helligkeit (Value / Intensität): $V = \max(r, g, b)$



HSV Farbmodell

Zusammenhang zwischen dem RGB- und HSV-Farbmodell

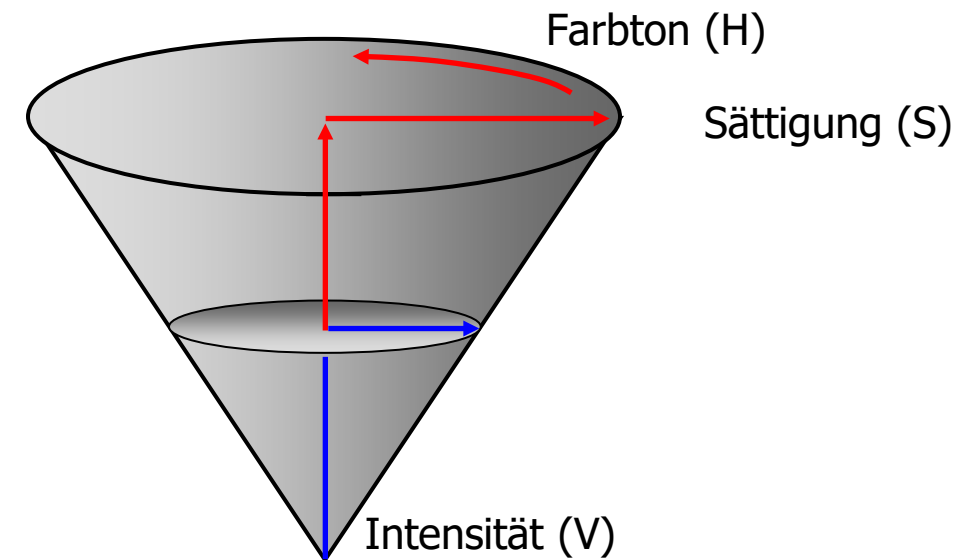
Helligkeit (Value / Intensität): $V = \max(r, g, b)$

Minimale Sättigung:

- $r = g = b$
- Die Farbe hat die **Sättigung 0**, wenn $\min(r, g, b) = \max(r, g, b)$, weil es Grauwerte sind.

Maximale Sättigung:

- kein „Weißanteil“ vorhanden.
- Die Farbe hat die **Sättigung 1**, wenn $\min(r, g, b) = 0$.



HSV Farbmodell

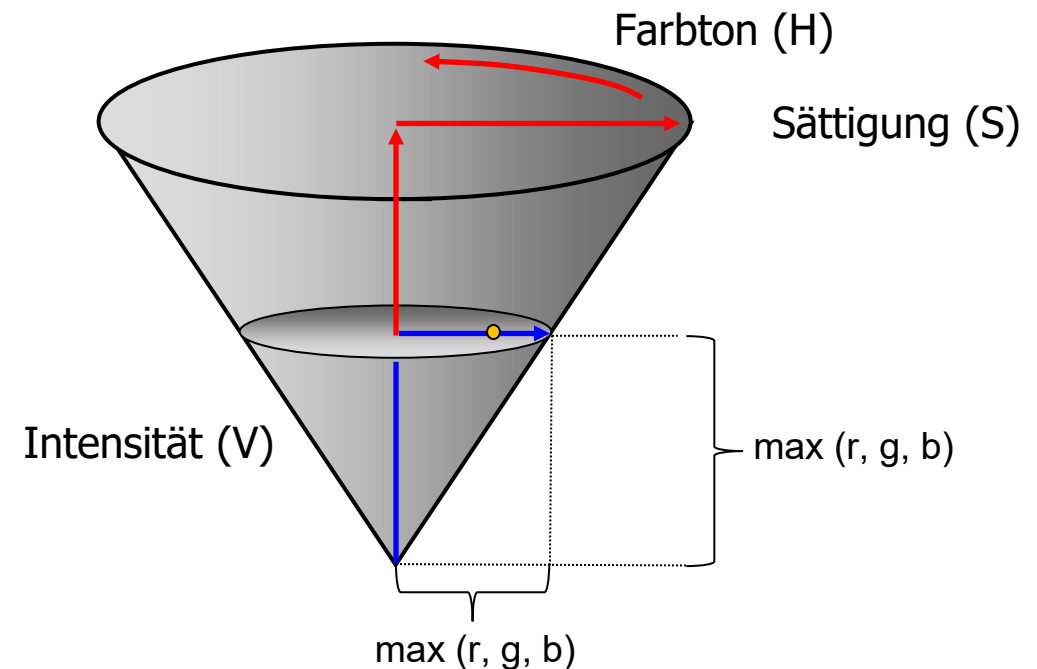
Zusammenhang zwischen dem RGB- und HSV-Farbmodell

H = Farbwinkel auf dem Farbkreis (0° für Rot, 120° für Grün, 240° für Blau)

$$S = \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{\max(r, g, b)}$$
$$= 1 - \frac{\min(r, g, b)}{\max(r, g, b)}$$

mit : $r, g, b \in [0, \dots, 1]$

$$V = \max(r, g, b)$$



Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

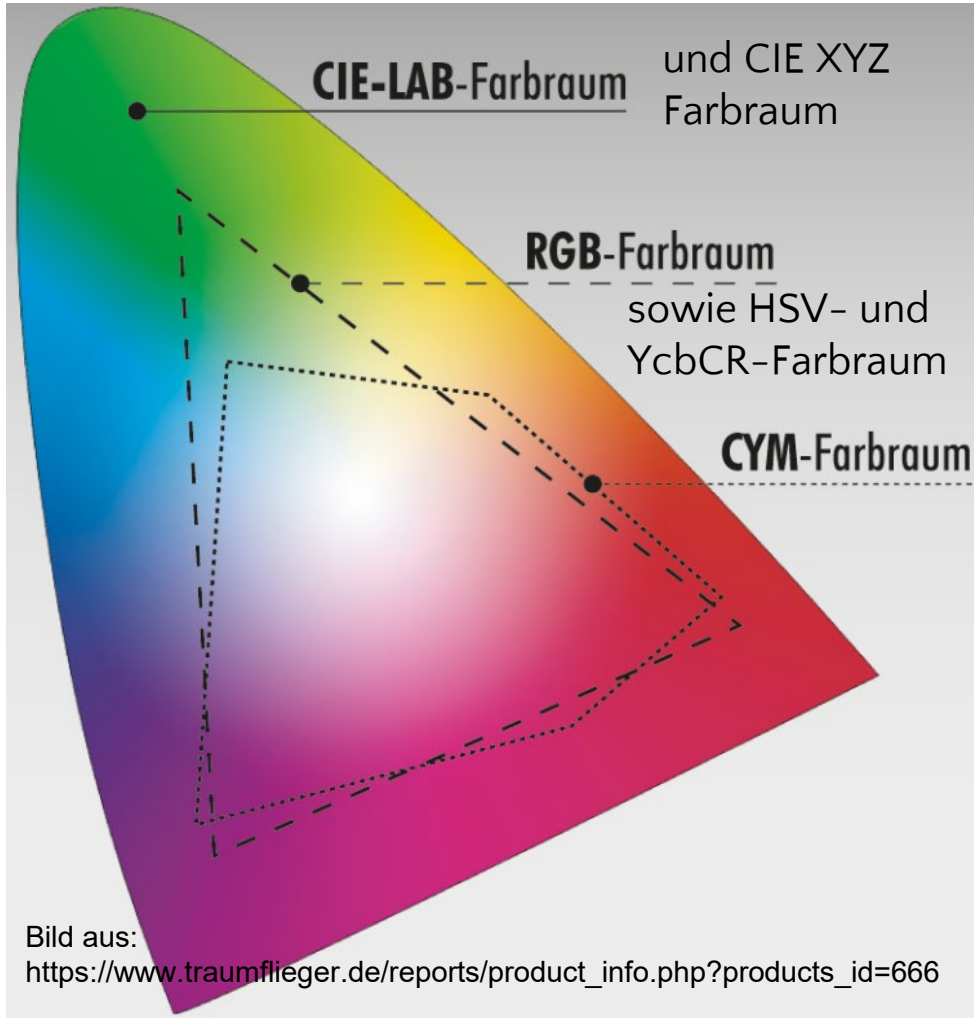
Vorteile wahrnehmungsorientierter Farbmodelle gegenüber hardwareorientierter Farbmordelle:

- entsprechen der menschlichen Wahrnehmung
- Komprimierungsmöglichkeit, indem man weglässt, was der Mensch nicht sieht
- Keine Umrechnung bei der Ausgabe auf Schwarz-Weiß-Geräten
- Algorithmen zur Bildverarbeitung und -bearbeitung erfordern weniger Berechnungsaufwand (Bsp. Aufhellung, Kontrastverbesserung wird nur im Helligkeitskanal durchgeführt)

CIE – ganz spezielle wahrnehmungsorientierte Farbräume

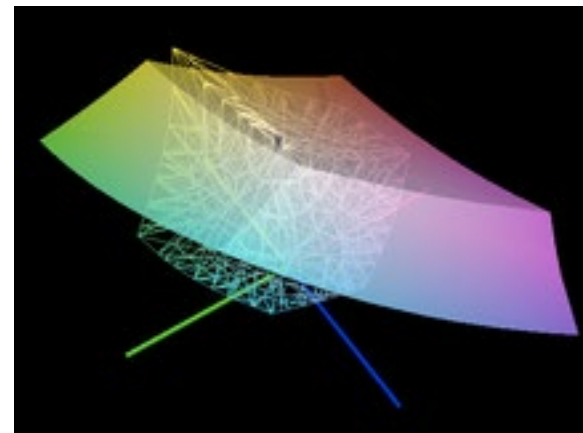
- Das YCbCr- und das HSV-Farbmodell codieren die Farben unter Berücksichtigung der menschlichen Wahrnehmung. Aber in beiden Farbsystemen werden immer nur die Farben erfasst, die von Ausgabegeräten, also Displays oder Beamer, dargestellt werden können.
- Der Mensch kann aber viel mehr Farben sehen, als heute Ausgabegeräte reproduzieren können.
- **Das CIE XYZ- und CIELab-Farbsystem sind Standards, die alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben erfassen. Also auch die, die nicht von Beamer, Display oder Drucker ausgegeben werden können.**
- Alle Verfahren/Algorithmen, für die die visuelle Wahrnehmung des Menschen von Bedeutung ist, basieren auf diesen CIE-Farbräumen.

CIE – ganz spezielle wahrnehmungsorientierte Farbräume



Farbgamut:

Ein Farbgamut ist eine Untermenge des Farbraumes, der von einem Gerät (bspw. Monitor, Beamer) dargestellt werden kann, beziehungsweise erfasst werden kann (Scanner, Kamera).

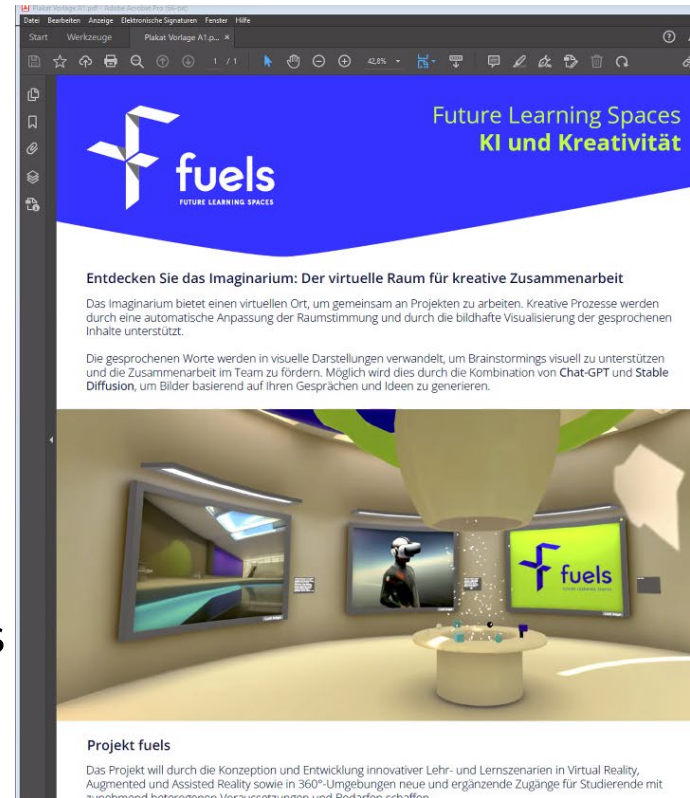


Bildschirm- und Druckmaschinen-Gamut (Wireframe-Darstellung) im dreidimensionalen CIE-Farbraum

Bild aus:
<https://www.wikiwand.com/de/Farbraum>

CIE – ganz spezielle wahrnehmungsorientierte Farbräume

- Kein Drucker kann alle wahrnehmbaren Farben drucken.
- Der Farbbereich, den Geräte wie Drucker, Displays, Beamer oder Scanner verarbeiten können, wird Farbgamut genannt. Bei Druckern hängt er auch vom verwendeten Papier ab.
- Die Software, die dafür sorgt, dass die Bildschirmfarben möglichst äquivalent gedruckt werden heißt Farbmanagement-system.



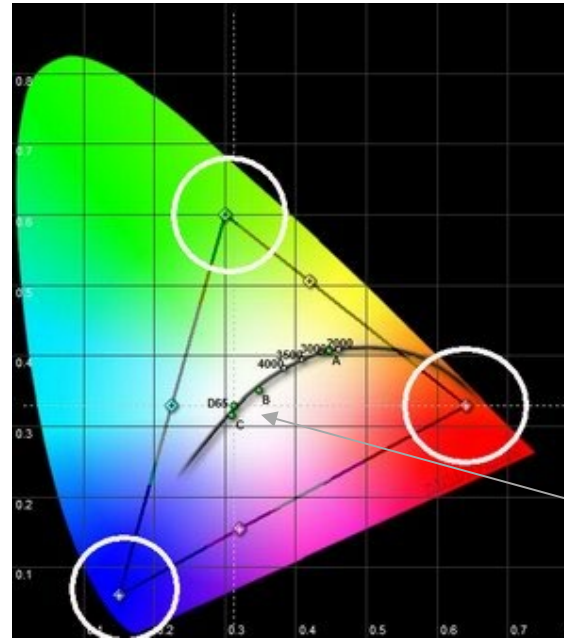
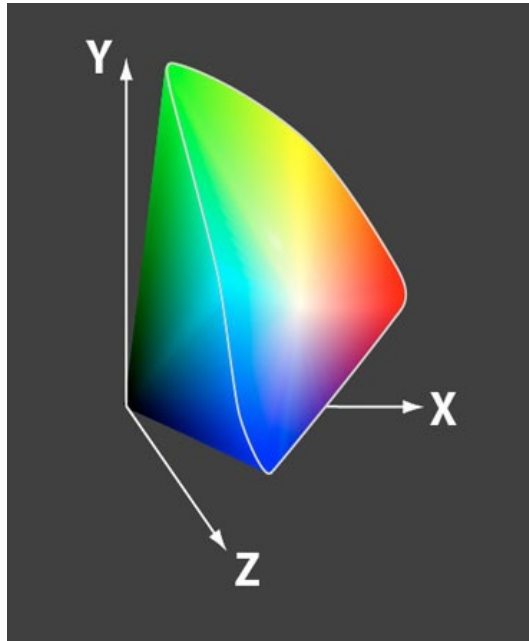
Entwurf eines Posters am Bildschirm



Fotographie des gedruckten Posters: einige der Bildschirmfarben sind nur in einem Spezialdruckverfahren darstellbar.

CIE XYZ: wahrnehmungsorientierter Farbraum

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



Das CIE XYZ-Farbmodell bildet alle Farben ab, die der Mensch wahrnehmen kann.

Wenn drei Punkte für Rot, Grün und Blau im CIE-Farbdreieck (rechts) festgelegt sind, kann man alle Farben in dem aufgespannten Dreieck durch das Mischen der Eckpunktfarben erzeugen.

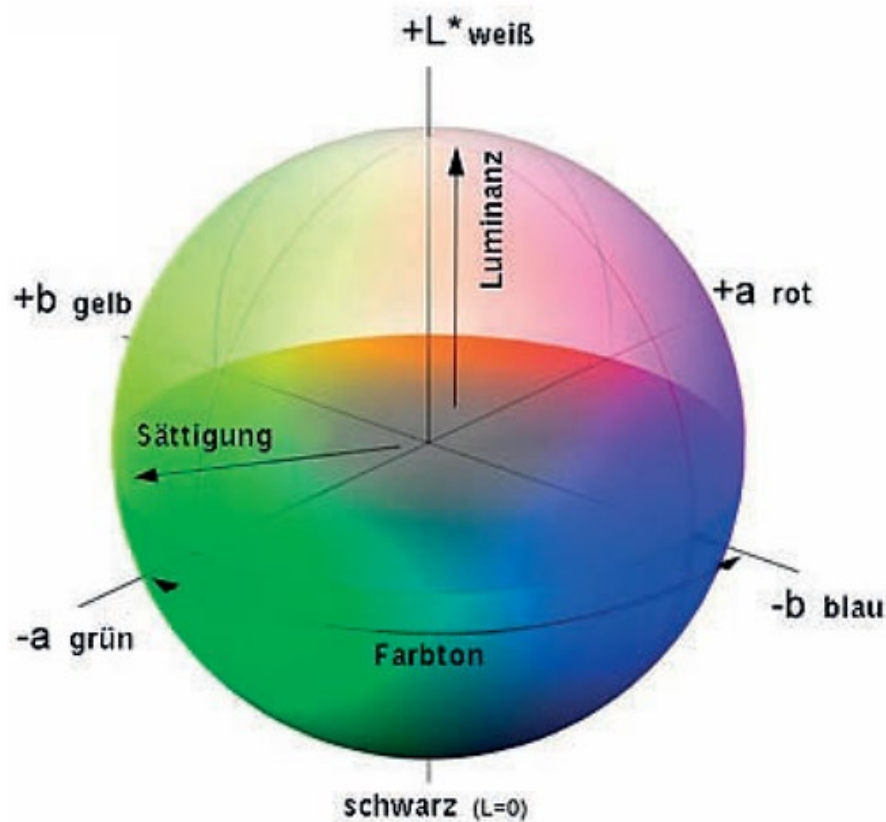
Unterschiedliche weiße Farbtöne

Bild rechts aus:
http://www.cine4home.de/knowhow/Neue_Farbmessverfahren/Farbraum_Messungen.htm

Links: CIE XYZ Farbsystem

Rechts: CIE xyY Farbdigramm, ein 2D-Ausschnitt aus dem CIE XYZ Farbsystem

CIELab: wahrnehmungsorientierter Farbraum



CIELab-Farbsystem teilt die Farbinformation ein in:

- L^* = Helligkeit (0 = Schwarz, 100 = Weiß)
- a^* = Rot – Grün (-128 = Grün, +127 = Rot)
- b^* = Gelb – Blau (-128 = Blau, +127 = Gelb)
- Der CIELab-Farbraum ist ein geräteneutraler Farbraum.
- Er wird bspw. in Farbmanagementsystemen, Photoshop, etc. als „Übersetzer“ zwischen den unterschiedlichen Farbräumen genutzt.
- **Vorteil des CIELab-Farbraums:** Je geringer der geometrische Abstand zwischen zwei Farbpunkten ist, desto ähnlicher sind sich die Farben. Dieses Verhältnis von Länge zur Wahrnehmung ist im CIELab (im Gegensatz zum CIE XYZ-Raum) linear.

Bild aus: <https://mediencommunity.de/system/files/lab.pdf>

Übungsaufgabe zu den Farbmodellen

Das RGB-Bild „Kloster Blaubeuren“ ist in die einzelnen Kanäle des **HSV**-Systems zerlegt worden. Ordnen Sie den Bildern den jeweils entsprechenden Kanal zu und begründen Sie Ihre Zuordnung:



Begründung der Zuordnung:



Begründung der Zuordnung



Begründung der Zuordnung