

Graphische Datenverarbeitung

Digitale Bilder

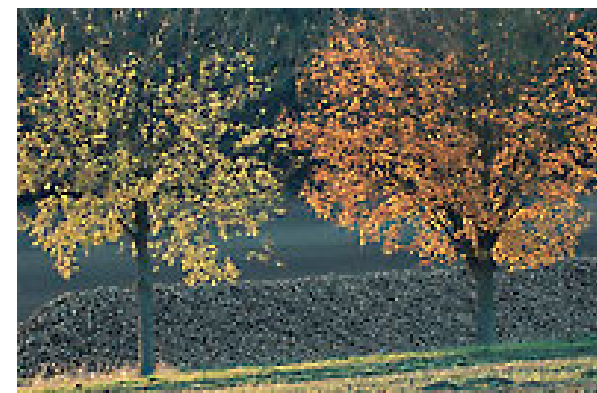
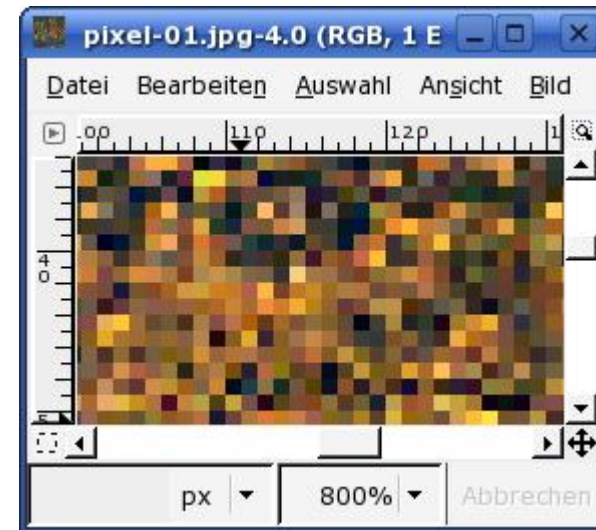
Prof. Dr. Elke Hergenröther

Aufbau eines digitalen Bildes

Pixel

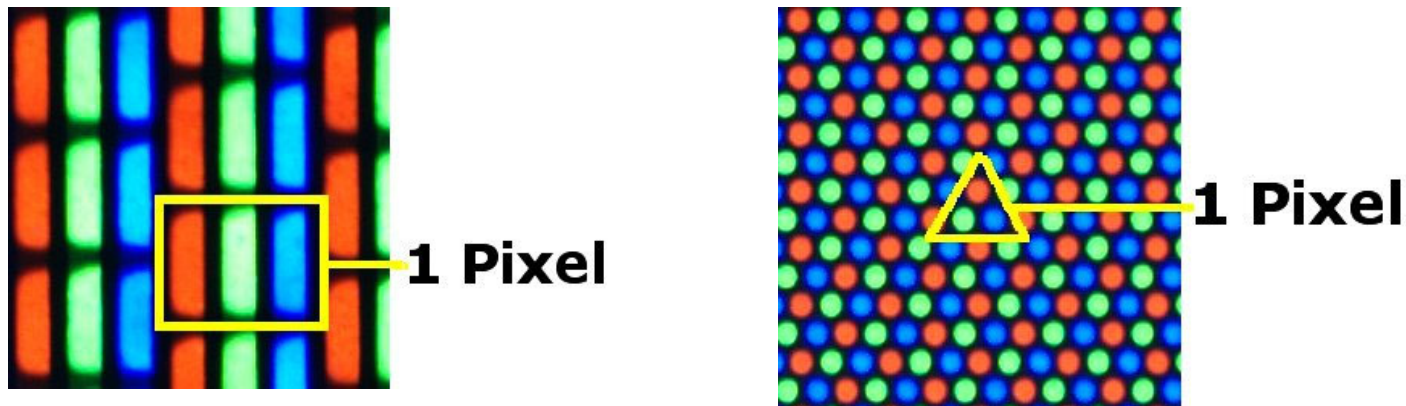
Pixel sind die Elemente des digitalen Bilds ähnlich wie Mosaiksteine bei einem Mosaik. Von links oben waagrecht nach rechts oben fügt sich Pixel an Pixel und es entsteht eine waagrechte Pixelzeile. Viele waagrechte Pixelzeilen übereinander sind das Bild.

Elmar Baumann, 08.01.2006 (<http://www.elmar-baumann.de/fotografie/ebv/aufbau-digitales-bild-02.html>)



Geometrische Betrachtungen

Bei der geometrischen Beschreibung eines Pixels oder eines sonstigen graphischen Objekts wird die *Position*, die *Form* und die *Ausdehnung* des Objekts angegeben:



Ausschnitt aus einem Farbfernsehbildschirm und aus einem Röhrenmonitor

Aus: <http://www.elmar-baumann.de/fotografie/ebv/aufbau-digitales-bild-04.html>

Photometrische Betrachtungen

Die **photometrische Betrachtung** beziehen sich auf das Aussehen, d.h. die Darstellung eines Objekts mit Hilfe von Grautönen bzw. Farben.

1. Schwarz-Weiß- und Grauwertbilder (Intensitäten)

2. Farbbilder

RGB- und CMY-Farbmodell (Hardwareorientiert)

YUV- und HSV-Farbmodell (Wahrnehmungsorientiert)

Schwarz-Weiß- und Grauwertbilder

- Grauwert- == Halbton- == Grautonbild
- Kennzeichen: „unbunte“-Bilder
- eindimensionaler Merkmalsraum (Visualisierung)
- ...



Beispiel für ein Grauwertbild

Schwarz-Weiß- und Grauwertbilder

Grauwertmatrix mit Grauwerten $g \in [0, 255]$


	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
1	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
2	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
3	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	178
4	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	177
5	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136
6	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136



Digitales Grautonbild

Verschiedene Repräsentationen von Grautönen

- Visualisiert als Grautonstufe
- Intervall von 0 - 255
- Intervall von 0 - 1



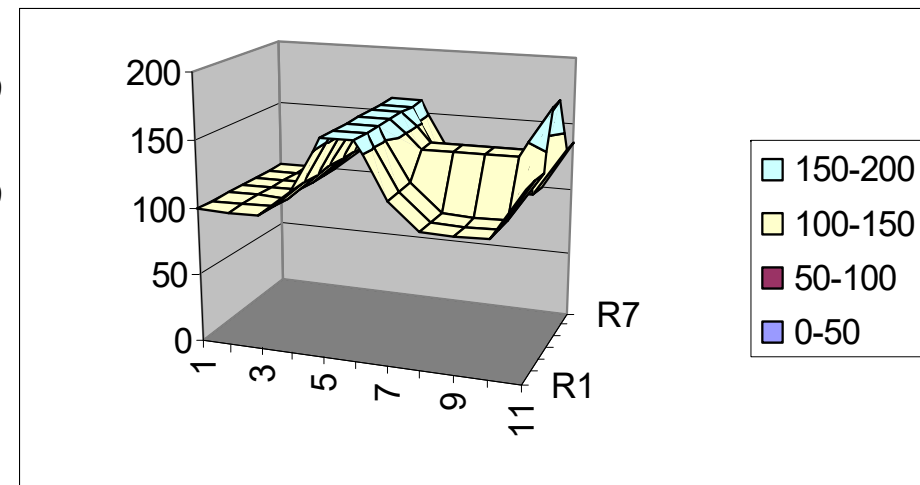
100	250	100	0
0.39	0.98	0.39	0

Verschiedene Repräsentationen von Schwarz-Weiß- und Grauwertbildern

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
1	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
2	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
3	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	178
4	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	177
5	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136
6	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136



3D-Grauwertgebirge



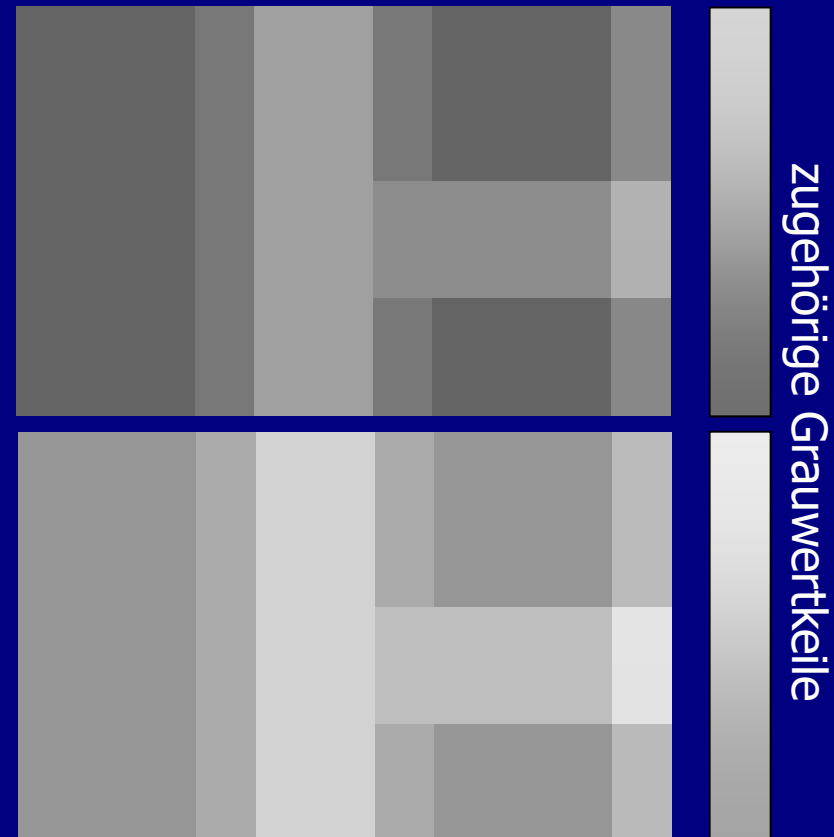
Schwarz-Weiß- und Grauwertbilder

Helligkeit / Intensität

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
1	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
2	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	137
3	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	178
4	100	100	100	120	160	160	140	140	140	140	177
5	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136
6	100	100	100	120	160	160	120	100	100	100	136

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	150	150	150	170	210	210	170	150	150	150	187
1	150	150	150	170	210	210	170	150	150	150	187
2	150	150	150	170	210	210	170	150	150	150	187
3	150	150	150	170	210	210	190	190	190	190	228
4	150	150	150	170	210	210	190	190	190	190	227
5	150	150	150	170	210	210	170	150	150	150	186
6	150	150	150	170	210	210	170	150	150	150	186

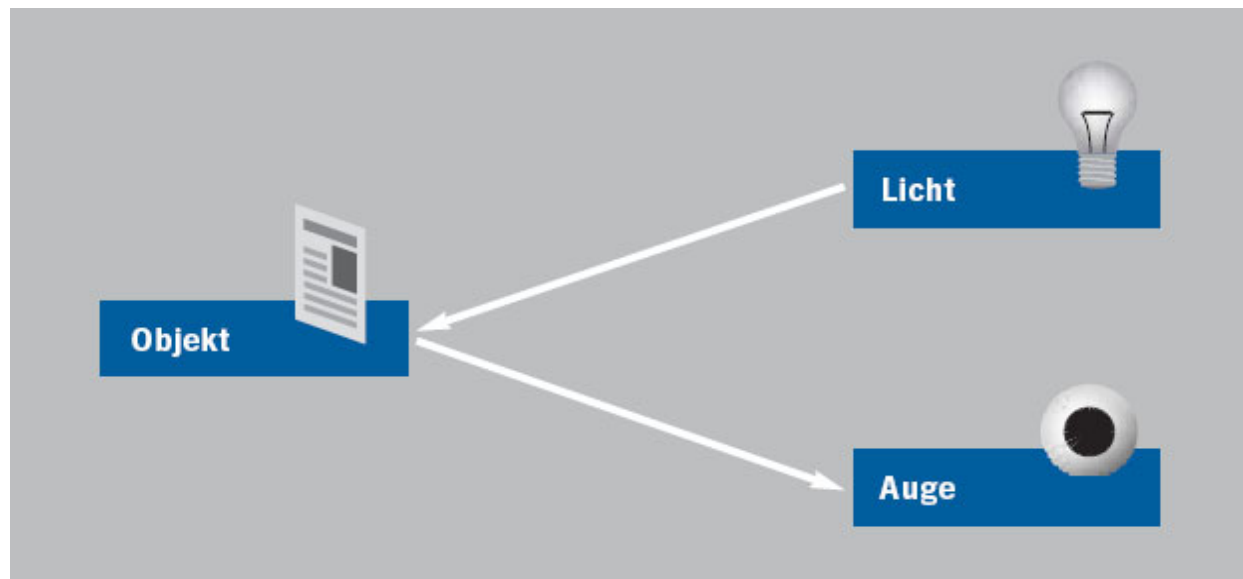
zu allen Grauwerte: +50 addiert



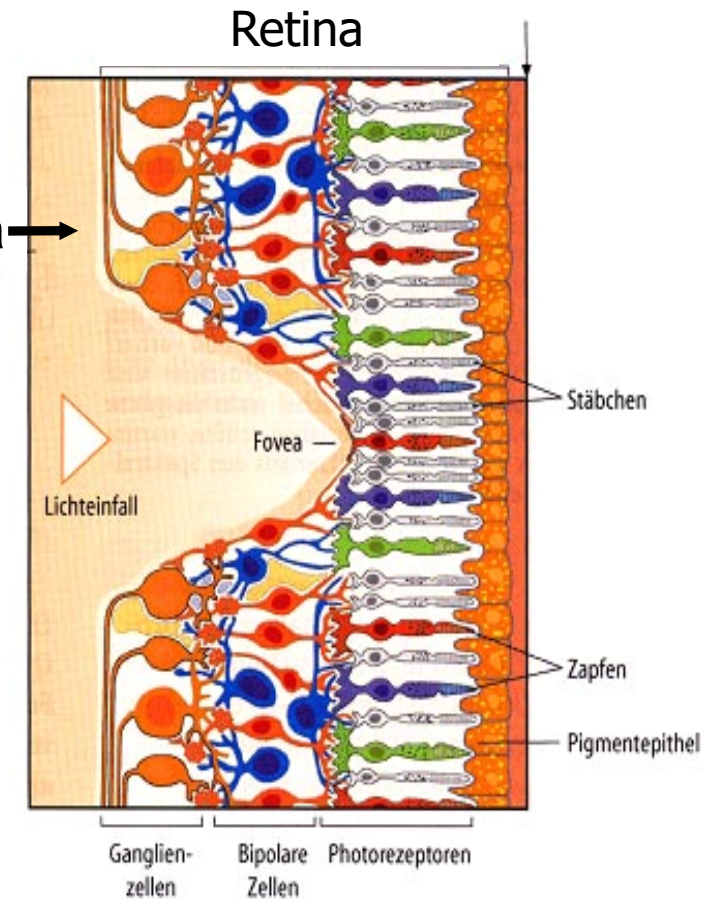
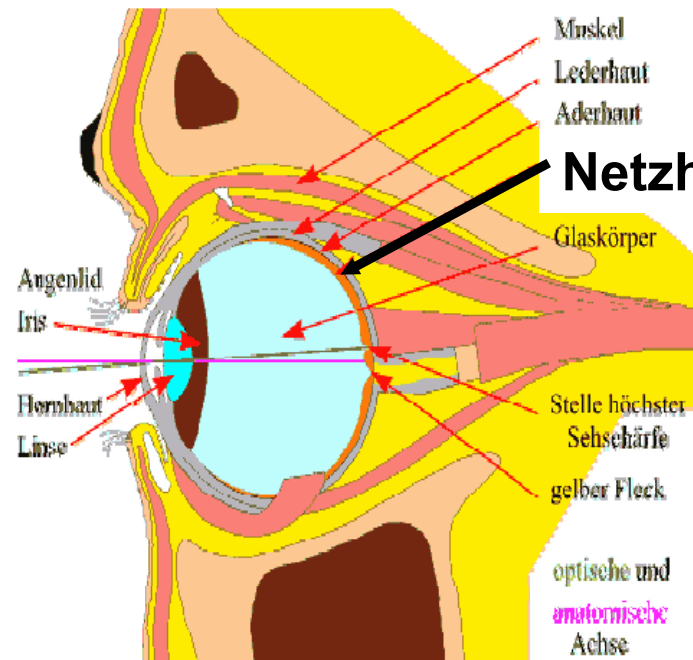
Farbbilder

- 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

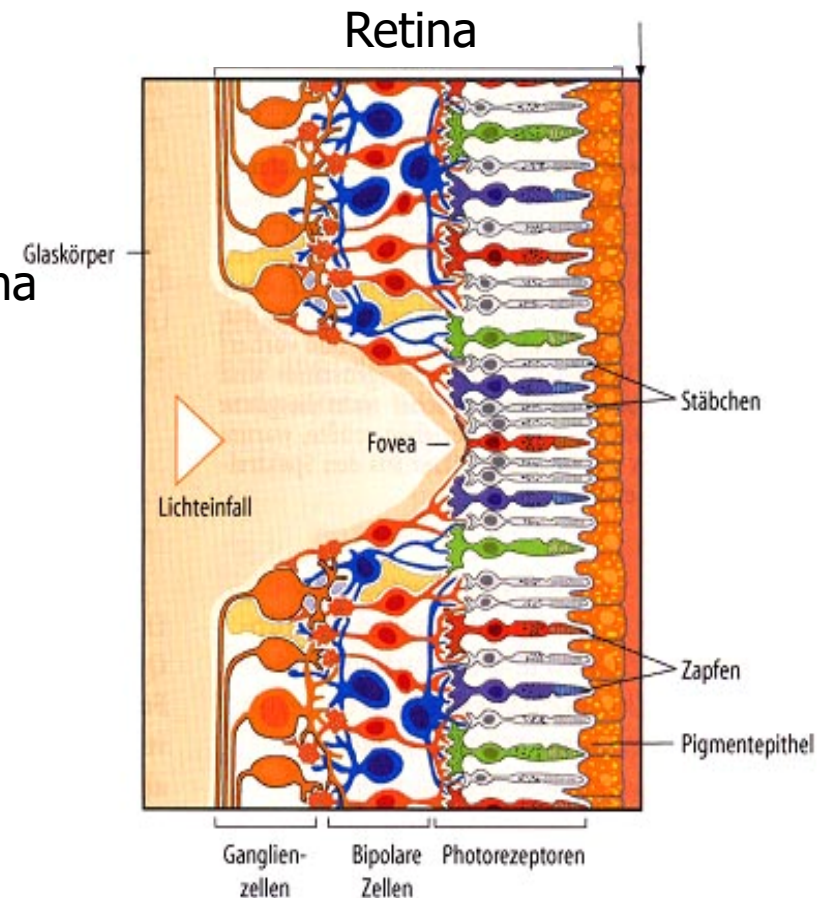
Zapfen:

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

Stäbchen:

- Arbeiten bei geringer Beleuchtung
- **Nur** Helligkeitsunterschiede (Grauwerte)

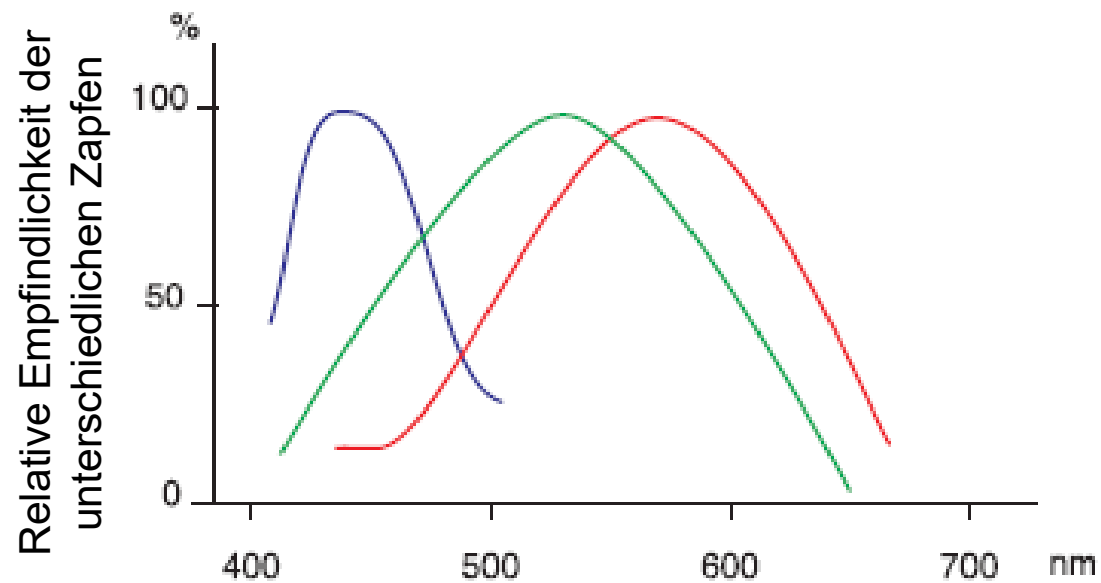
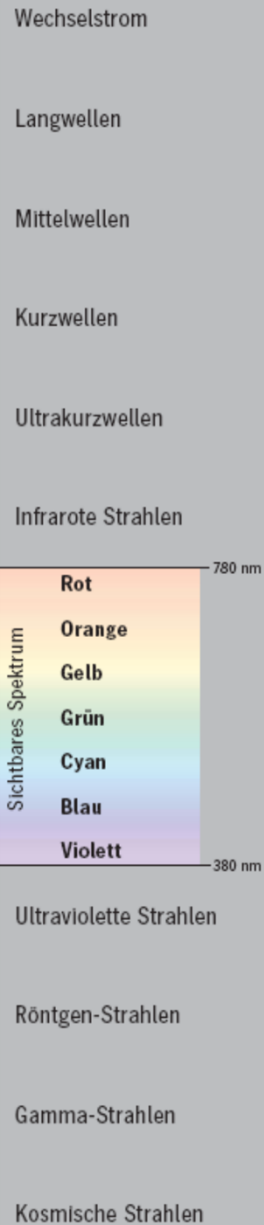
Abbildung: www.psychologie.uni-heidelberg.de



Farbwahrnehmung durch Zapfen und Stäbchen

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

Elektromagnetisches Spektrum

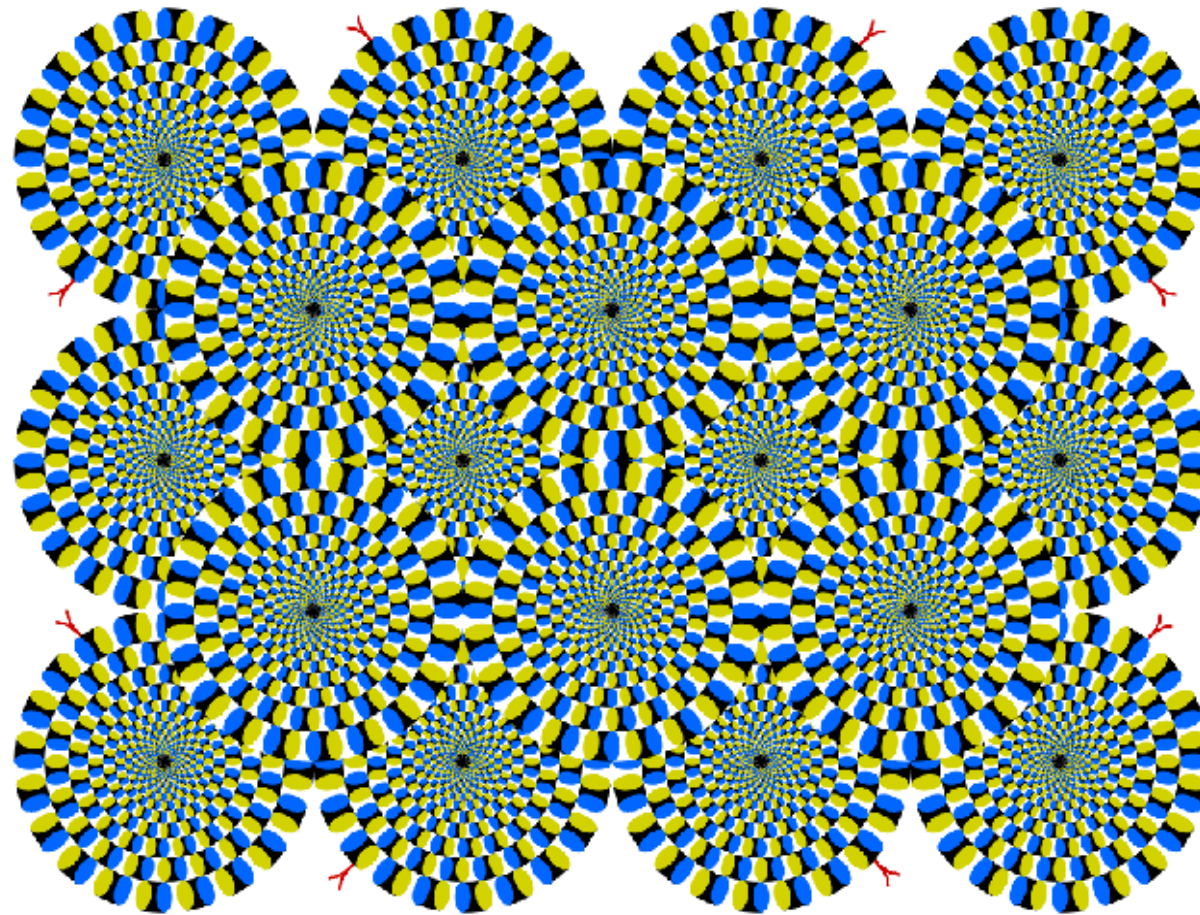


Farbwahrnehmung

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

Optische Bewegungstäuschung

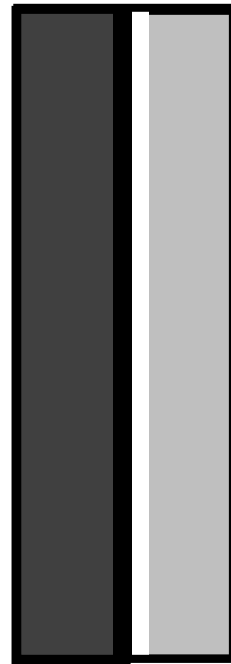
(von: <http://www.michaelbach.de>)



Erklärungsmöglichkeit: Biologische Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung



Testbild



Stark überzeichnet
dargestellte Wahrnehmung

Gleichbleibende Reize von Flächen werden gedämpft und Kontraste überzeichnet werden. Dies geschieht durch die (laterale) Hemmung benachbarter Zapfen auf der Netzhaut. Dadurch werden Kanten „herausgefiltert“.



Free examination.

1



Estimate material circumstances of the family

2



Give the ages of the people.

3



Surmise what the family had been doing before the arrival of the unexpected visitor.

4



Remember the clothes worn by the people.

5



Remember positions of people and objects in the room.

6



Estimate how long the visitor had been away from the family.

7

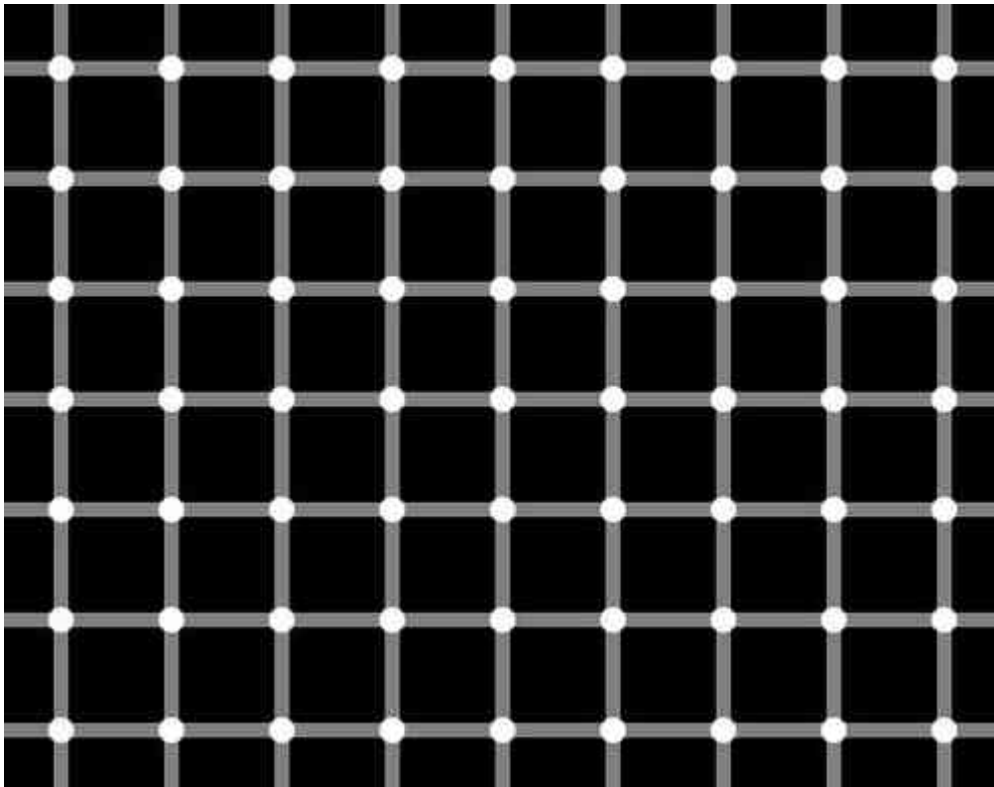
3 min. recordings of the same subject

Eigentlich sehen wir nur in einem sehr kleinen Bereich – rund um die optische Achse scharf.

Größere Bereiche tasten wir mit Hilfe von „Augenbewegungen“ den Sakaden ab.

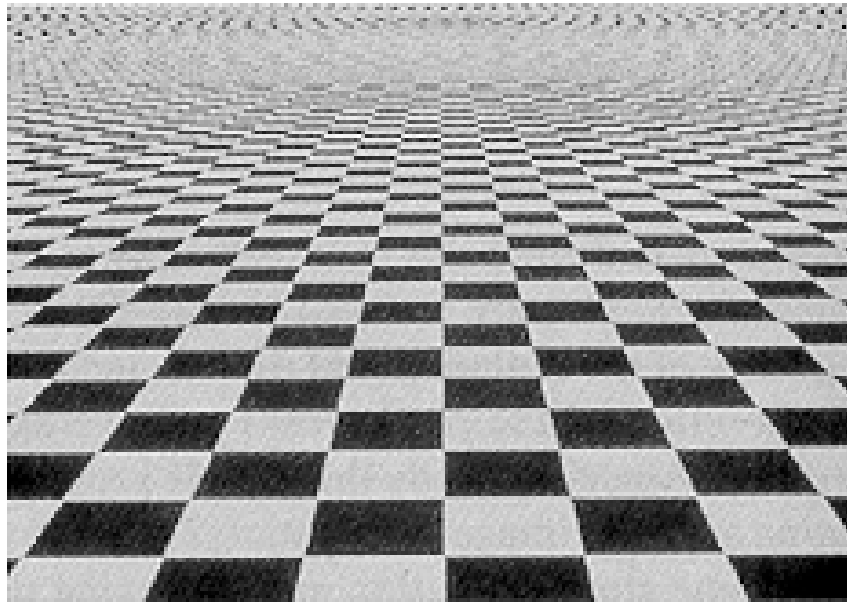
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Yarbus_The_Visitor.jpg

Erklärungsmöglichkeit: Biologische Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung

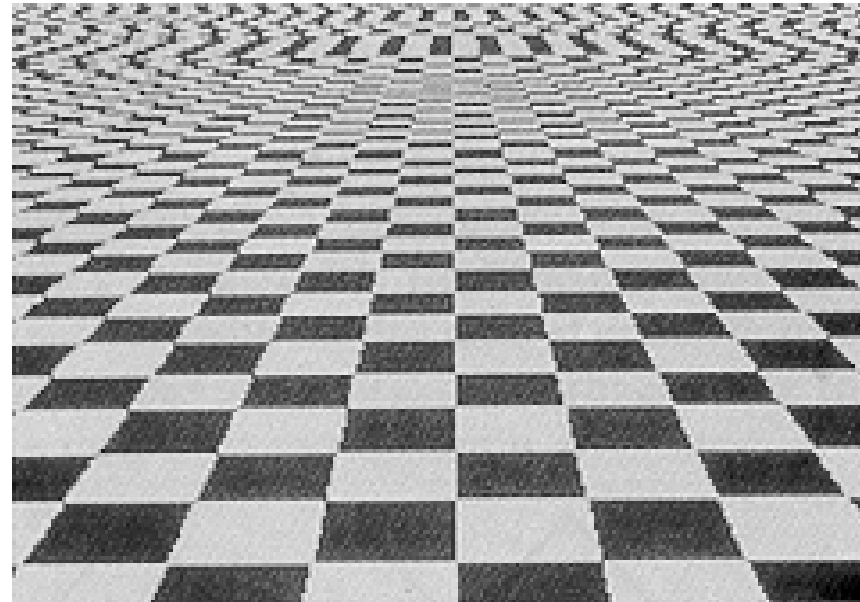


Die flimmernden schwarzen Punkte sind ebenfalls ein Resultat der lateralen Hemmung bei starken Kontrasten. Am Flimmern der Punkte, können wir die Sakaden erkennen.

Artefakte entstehen auch in der Folge einer Unterabtastung: Moiré-Effekt



Originalbild



Moiré-Effekt infolge einer zu geringen Abtastfrequenz.

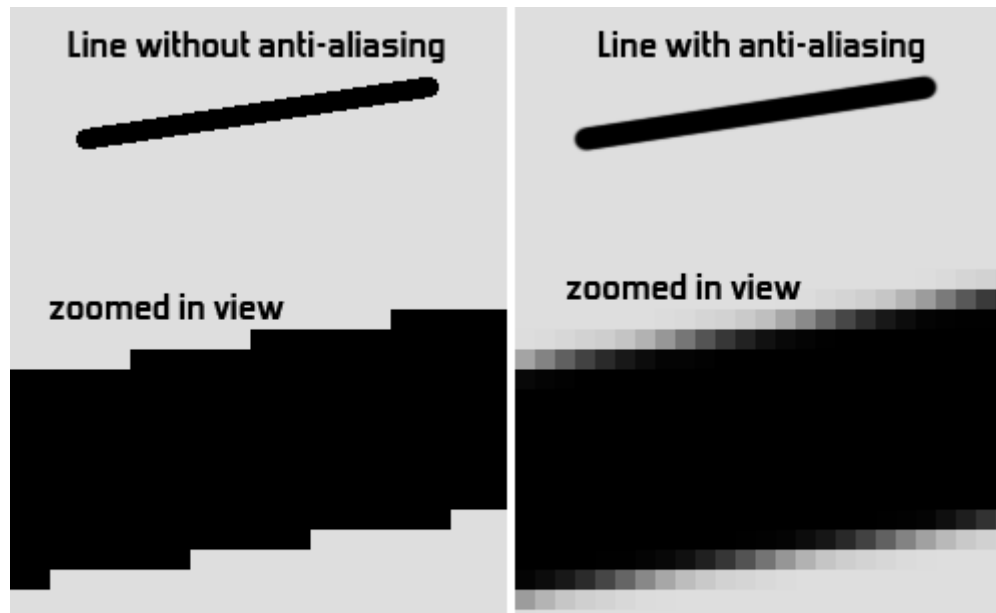
Artefakte entstehen auch in der Folge einer Unterabtastung: Moiré-Effekt



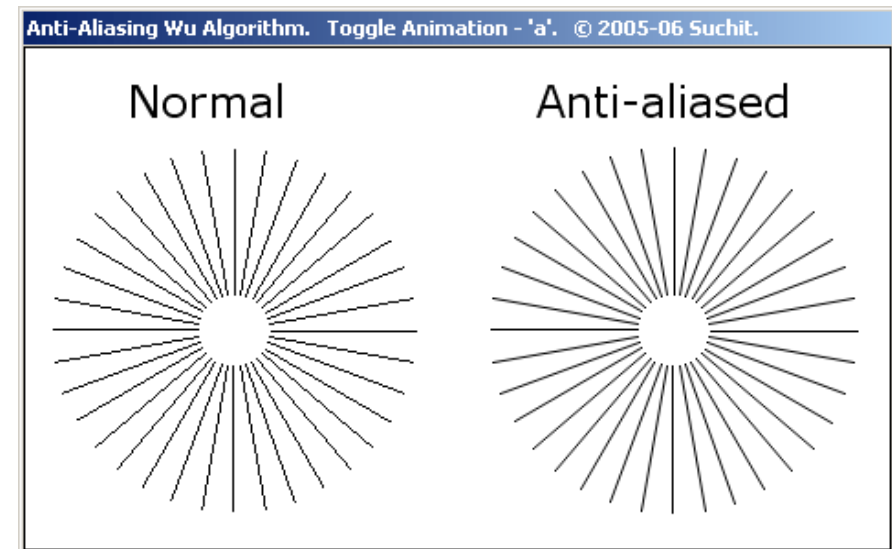
www.fotoschule-ruhr.de/images/Moiree_257.jpg

Aliasing

Starke Kontraste (laterale Hemmung) und Moiré-Effekt führen zum Aliasing. Gegenmaßnahme ist: Kanten verwischen!



Anti-aliasing makes lines look smooth. When zoomed in, you can see that anti-aliasing works by adding grey pixels at the borders. If those grey pixels are lost on an SD TV, there is no anti-aliasing anymore and graphics lose smoothness.



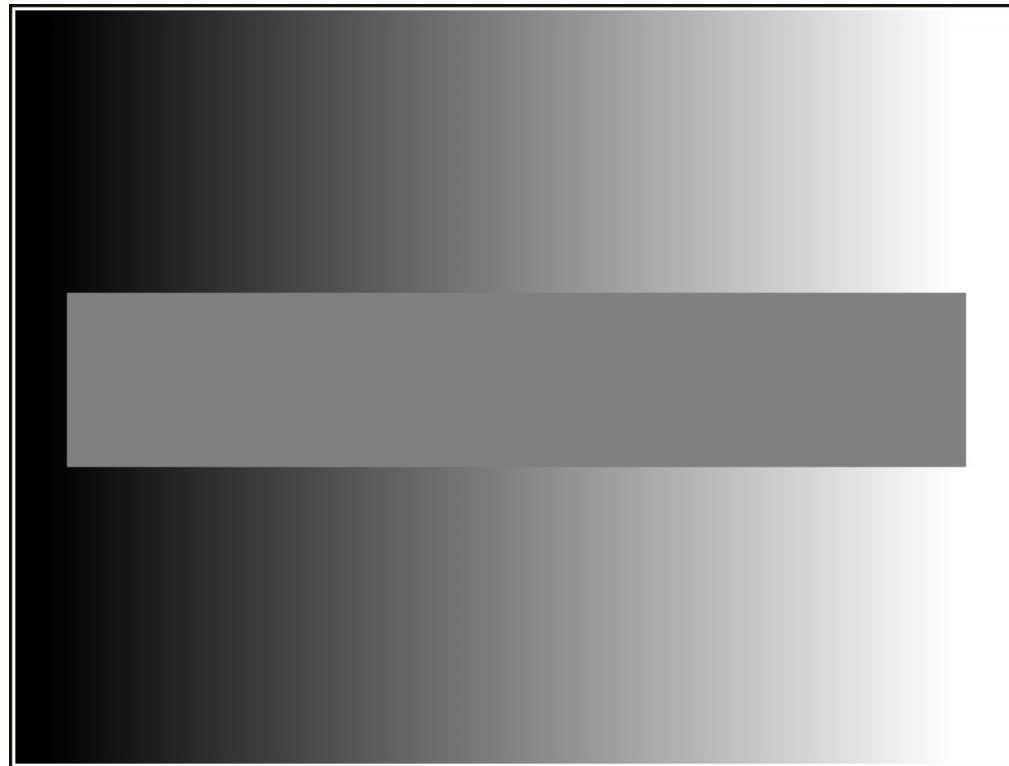
Beide Bilder aus: <https://www.quora.com/Why-is-anti-aliasing-required-in-games-Why-cant-the-graphics-be-developed-with-proper-edges>

Einflussfaktor Wahrnehmung: Farbliche Umgebung



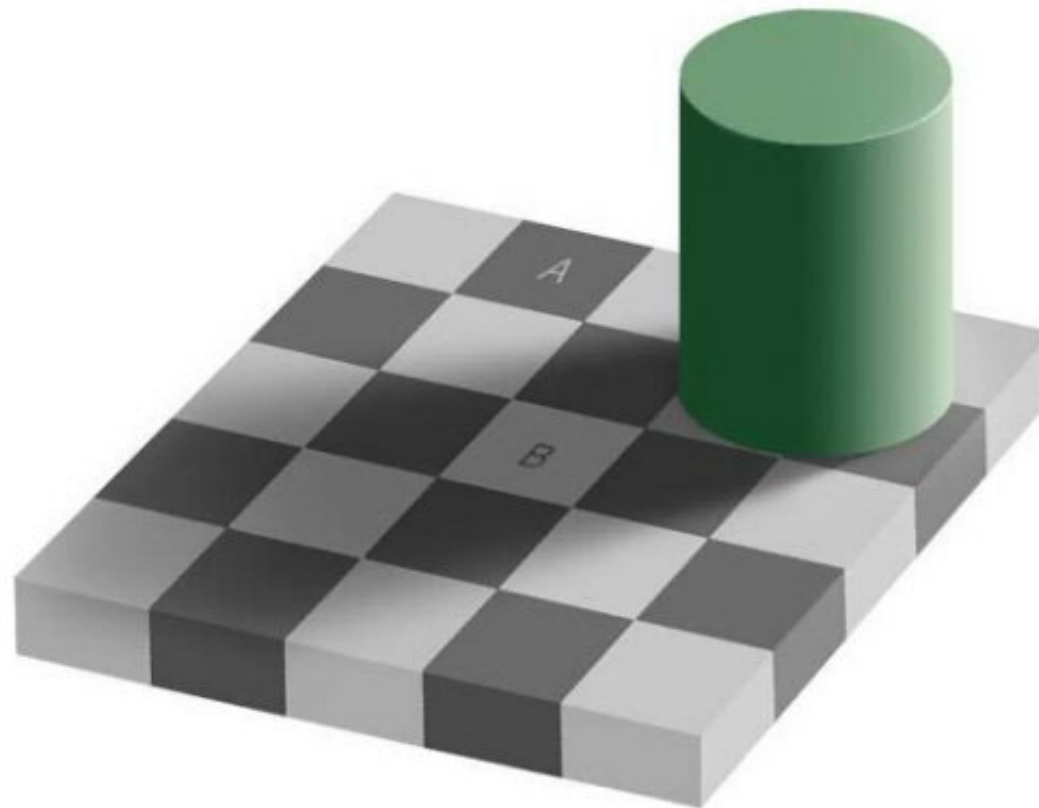
Aus Wikipedia: Optische Täuschungen

Einflussfaktor Wahrnehmung: Farbliche Umgebung



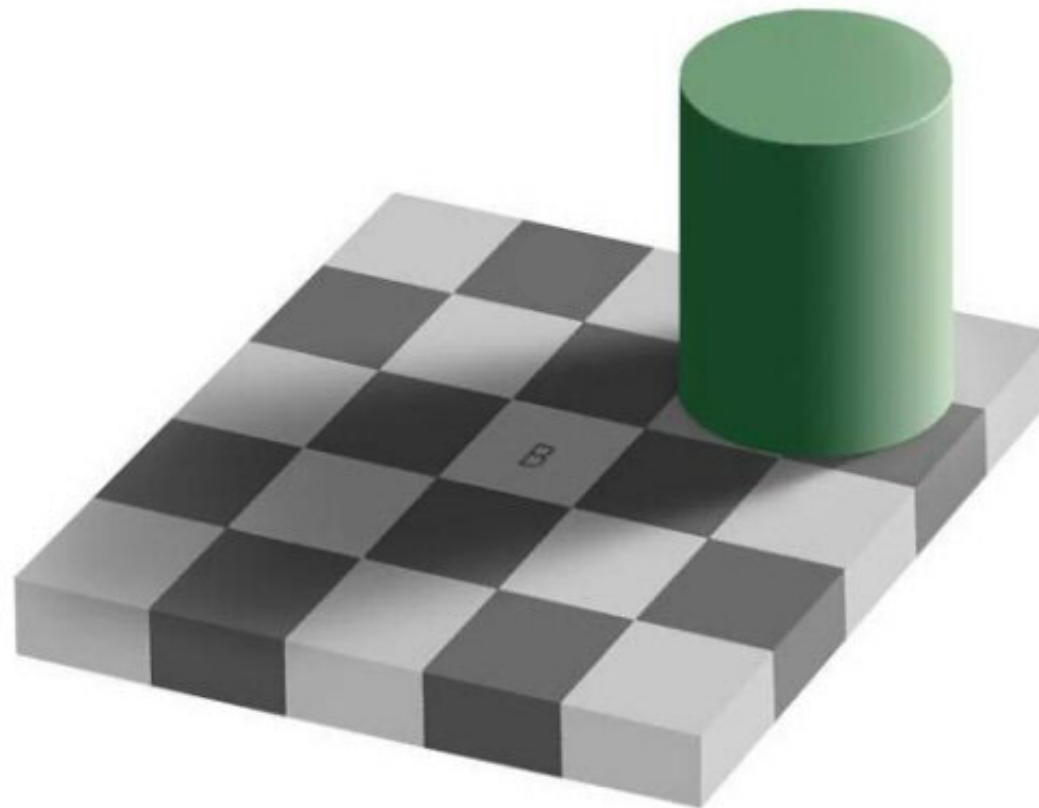
Aus Wikipedia: Optische Täuschungen

Einflussfaktor Wahrnehmung: 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)

Einflussfaktor Wahrnehmung: 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)

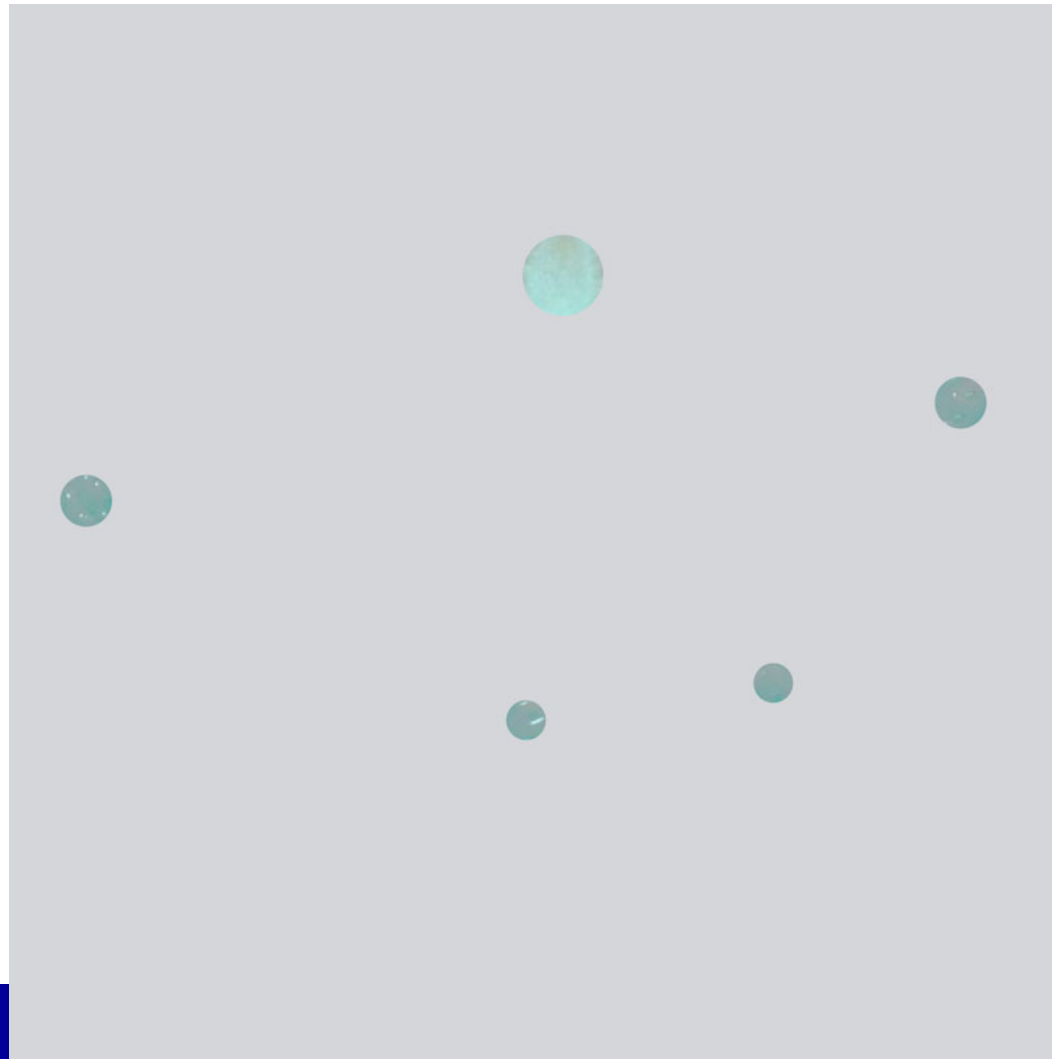
Einflussfaktor Wahrnehmung: Rote Erdbeeren

(von: <http://www.michaelbach.de/ot/col-strawbsNotRed>)



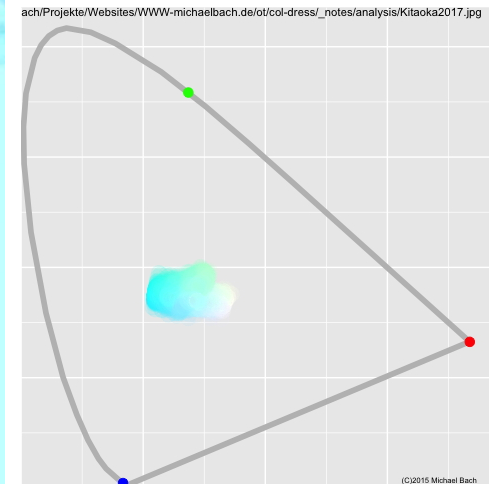
Einflussfaktor Wahrnehmung: Rote Erdbeeren

(von: <http://www.michaelbach.de/ot/col-strawbsNotRed>)



Einflussfaktor Wahrnehmung: Rote Erdbeeren

(von: <http://www.michaelbach.de/ot/col-strawbsNotRed>)

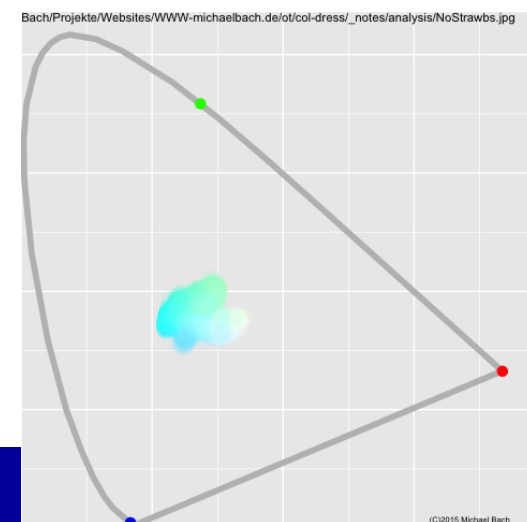


Einflussfaktor Wahrnehmung: Rote Erdbeeren

(von: <http://www.michaelbach.de/ot/col-strawbsNotRed>)



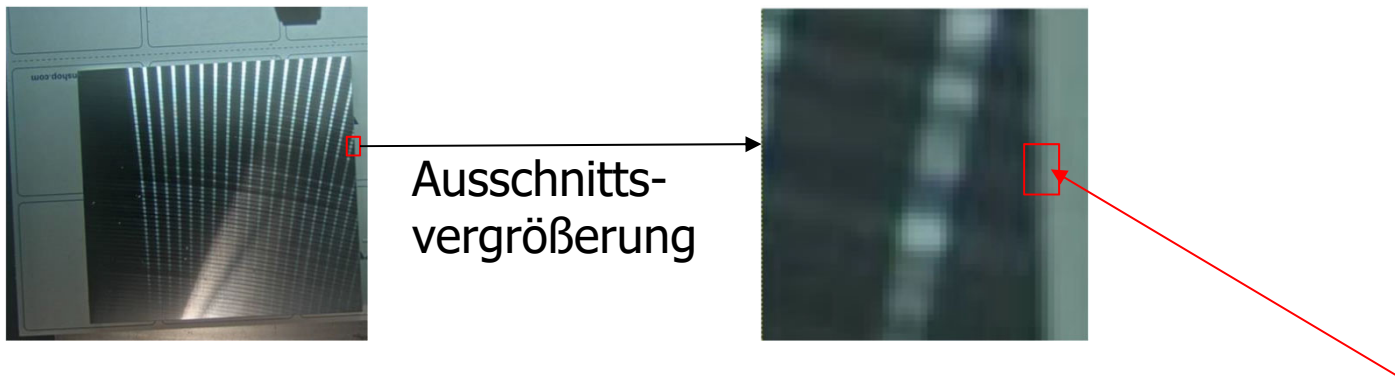
Das die Täuschung nicht alleine darauf beruht, dass wir wissen, dass Erdbeeren rot sind, kann man an diesem Versuch sehen, den Herr Bach durchgeführt hat.



Fazit:

Auf unsere Wahrnehmung von Helligkeit und Farbtönen ist kein Verlass!

- Rot kann eigentlich Cyan sein
- Ein eigentlich relativ dunkler Pixel kann hell erscheinen
- Kontraste werden „überbetont“
- Aliasing-Effekte können die Darstellung verfälschen
- **Dies muss bei der Realisierung von Computer Vision-Systemen berücksichtigt werden.**



Ziel: Das „genaue“ Ausmessen
des Fräsrohlings (Quadrat)

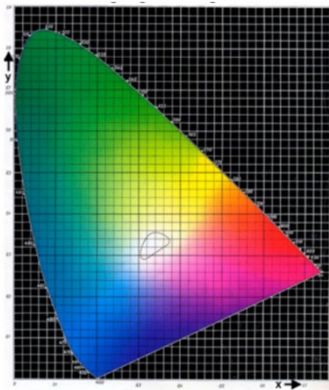
Problem: Wo genau liegt die Kante?

Farbmodelle

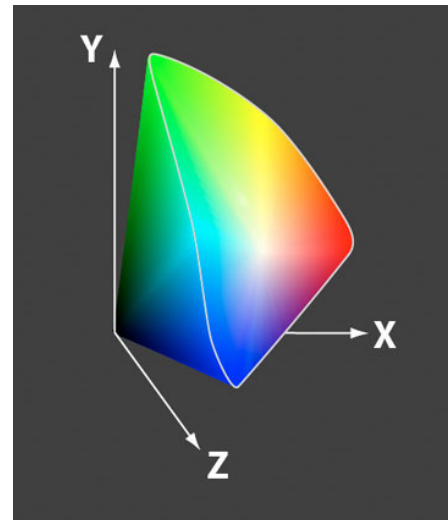
- Die Modelle richten sich an der Farbwahrnehmung des Menschen aus:
 - bestehen immer aus drei Grundfarben,
 - da, Menschen drei unterschiedliche Sinneszellen zur Farbwahrnehmung besitzen⇒ dreidimensionaler Farbraum
- Klassifizierung aller wahrnehmbaren Farben (CIE)

CIE Normfarbtafel

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



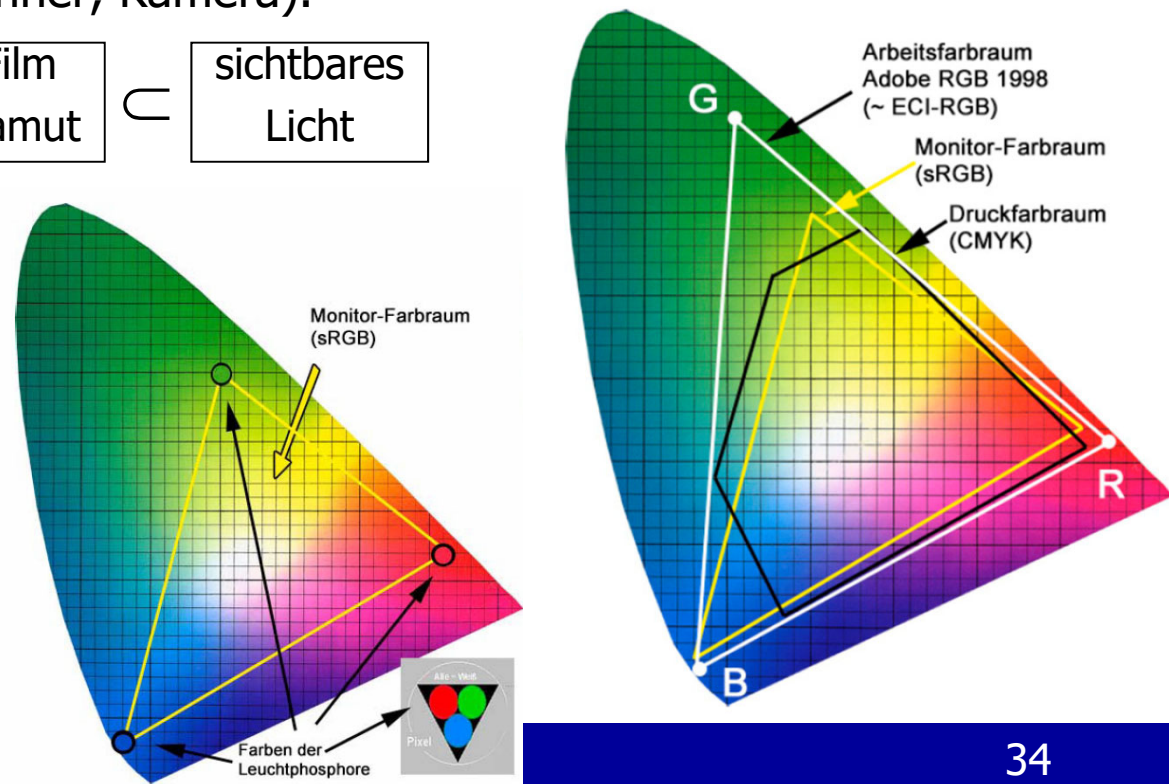
CIE xyY Farbdigramm



CIE XYZ Farbraum

CIE xy Farbdigramm

- Entspricht 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:** Die Untermenge des CIE-Farbraumes, die von einem Gerät (bspw. Monitor, Beamer) dargestellt werden kann, beziehungsweise erfasst werden kann (Scanner, Kamera).



Hardwareorientierte Farbmodelle

- RGB-Farbmodell
- CMY-Farbmodell

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.

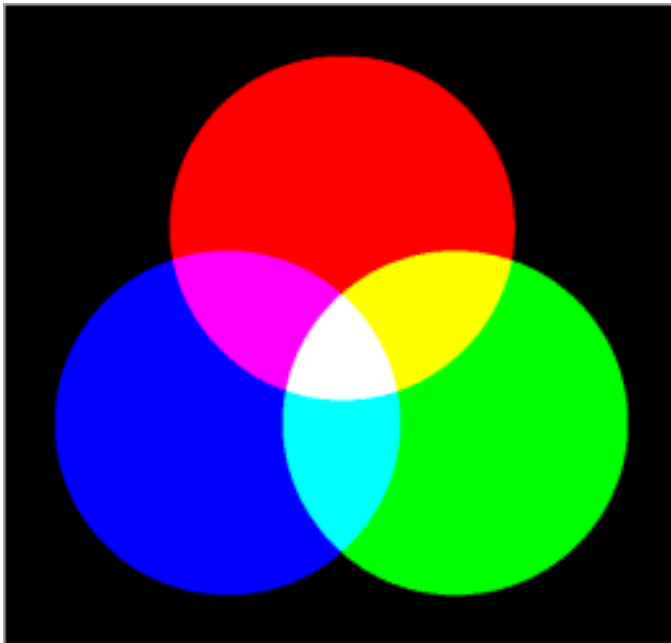
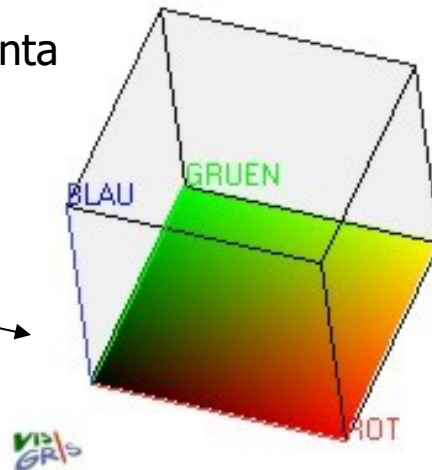
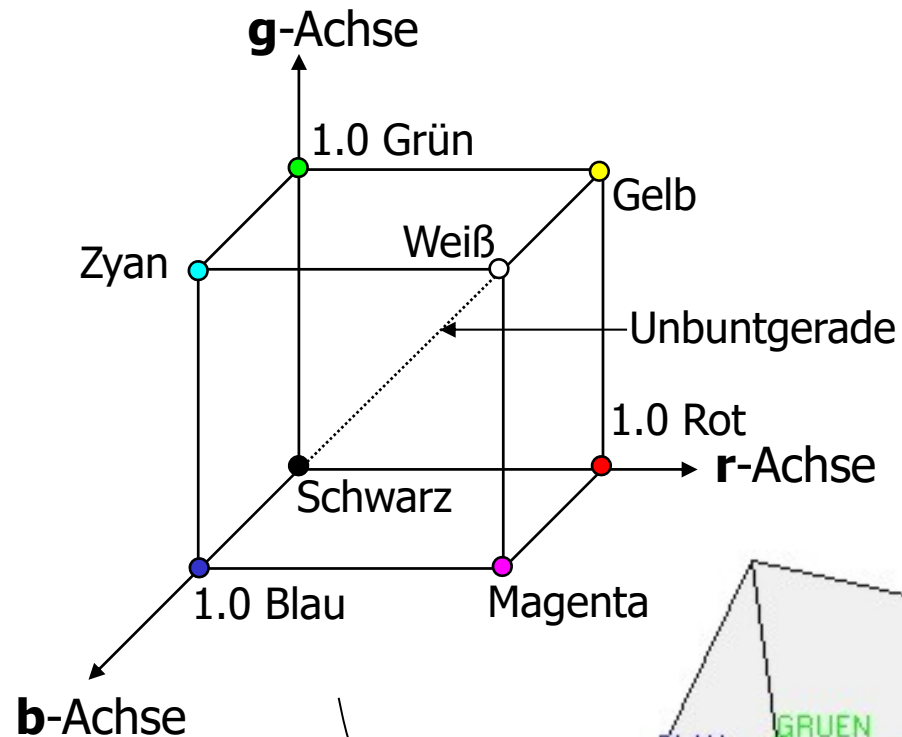


Abbildung zur Demonstration der additiven Farbmischung: In einem dunklen Raum werden ein roter, ein grüner und ein blauer Scheinwerfer auf eine weiße Fläche gerichtet.

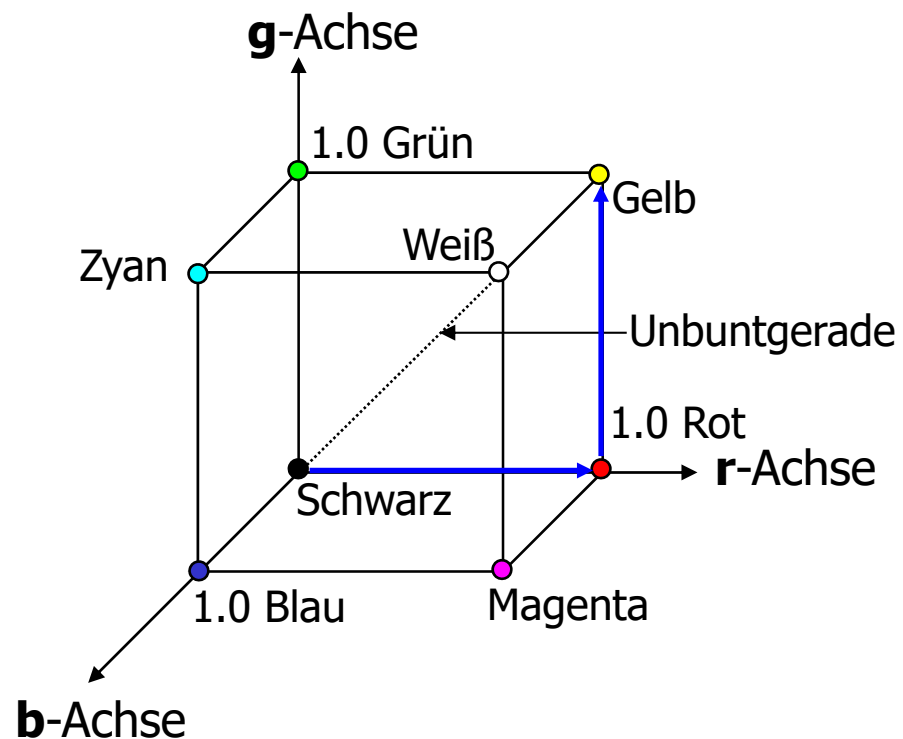
RGB-Farbmodell



Allgemeines:

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

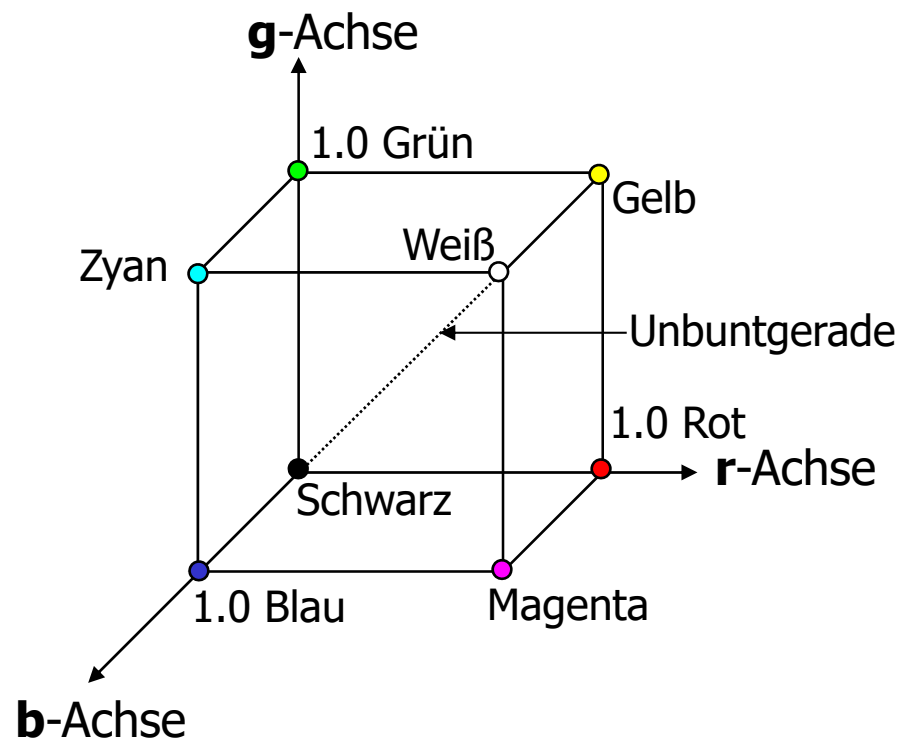
RGB-Farbmodell



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

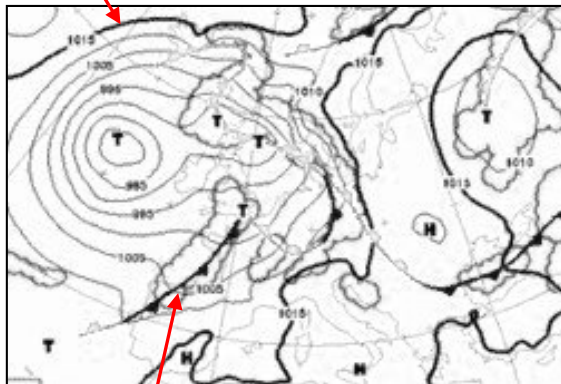
Bild wurde in einen Rot-, einen Grün- und einen Blaukanal zerlegt.

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



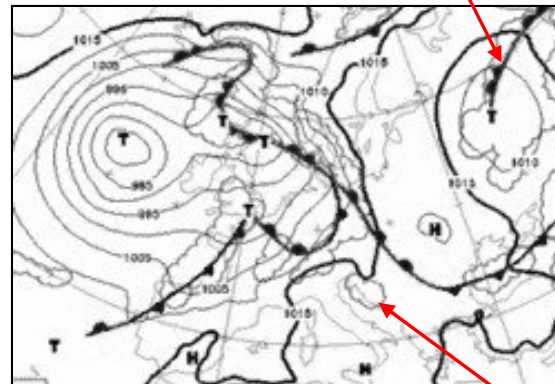
Welche Farben haben die markierten Fronten und Tiefdruckgebiete?

Tiefdruckgebiet 1:

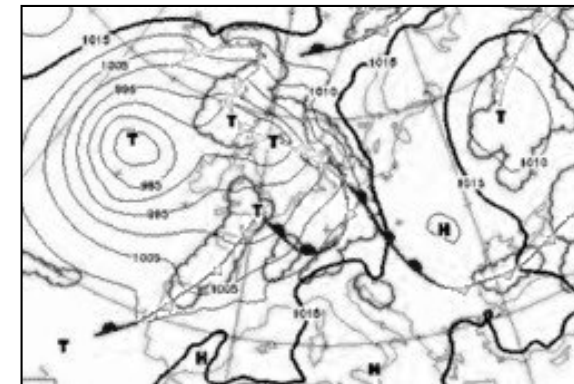


Rot-Kanal

Front 2:

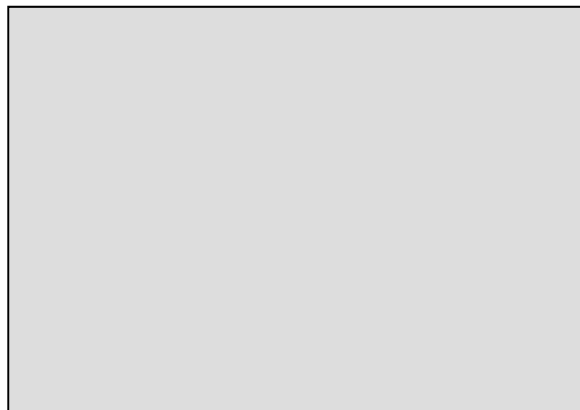


Grün-Kanal



Blau-Kanal

Front 1:

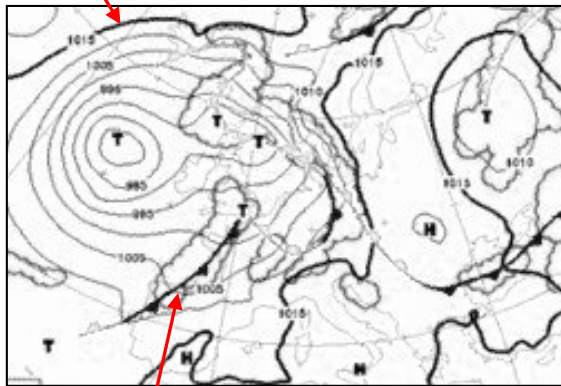


Tiefdruckgebiet 2:

Original RGB-Bild

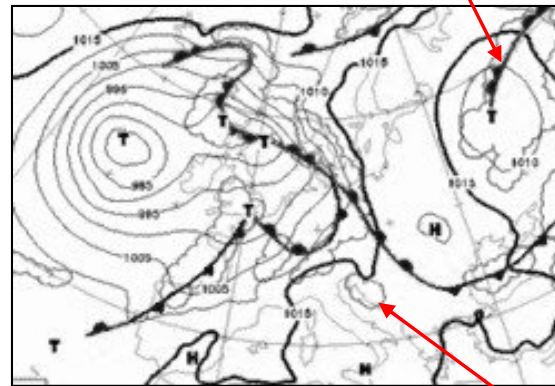
Welche Farben haben die markierten Fronten und Tiefdruckgebiete?

Tiefdruckgebiet 1:

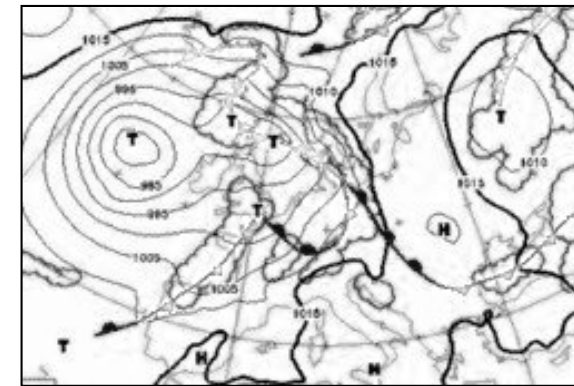


Rot-Kanal

Front 2:

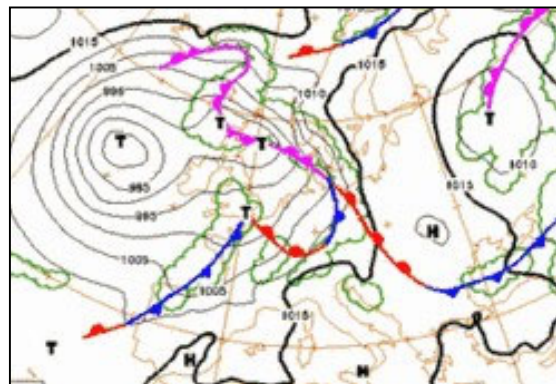


Grün-Kanal



Blau-Kanal

Front 1:



Original RGB-Bild

Tiefdruckgebiet 2:

Erweiterung des RGB-Systems zu RGBA

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

CMY-Farbmodell

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

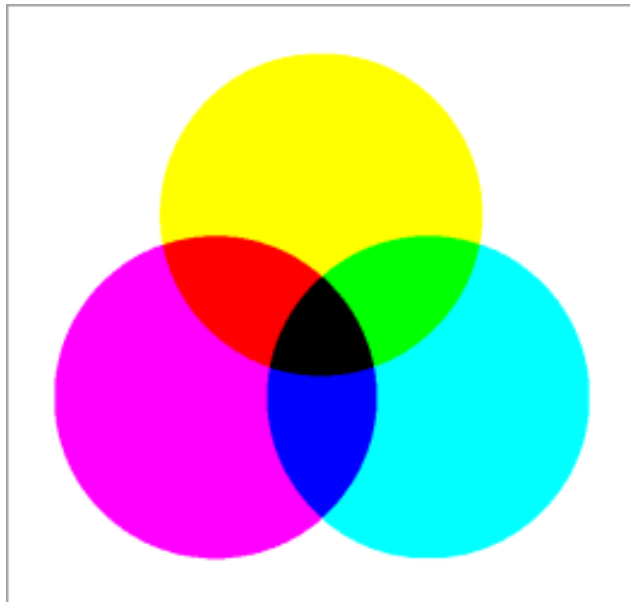
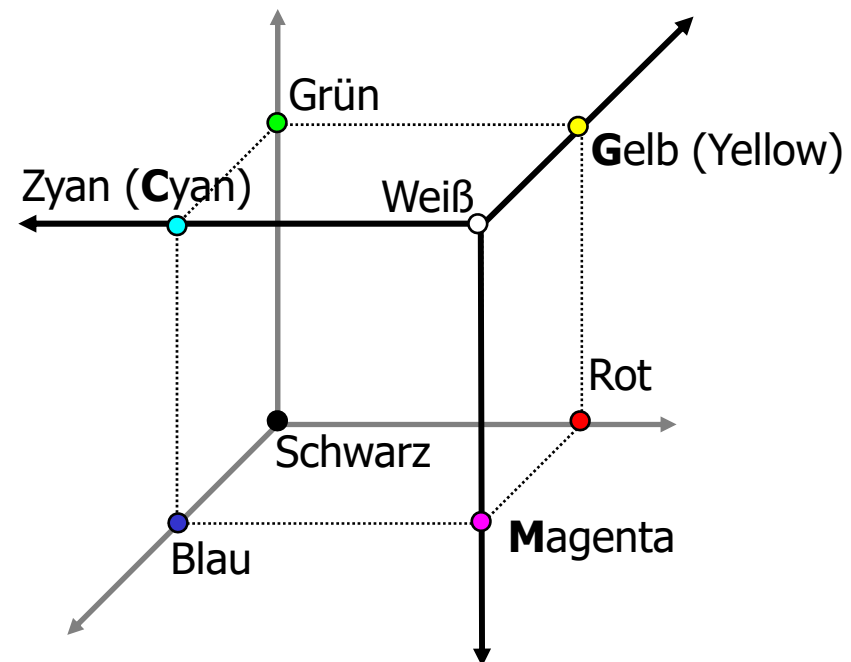
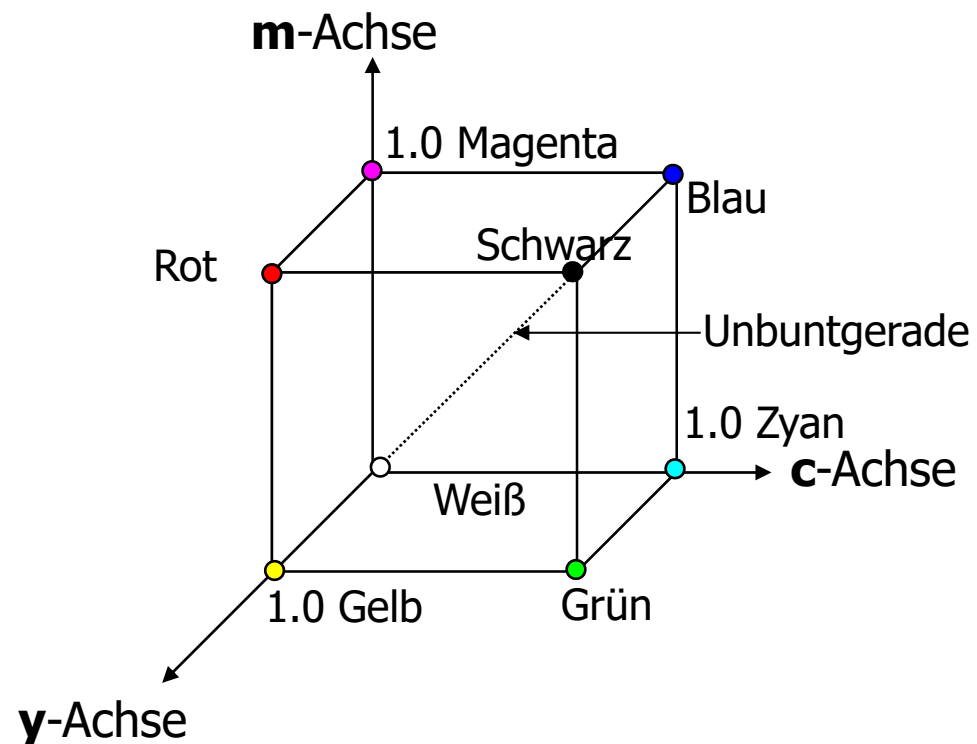


Abbildung zur Demonstration der subtraktiven Farbmischung: Durch das Auftragen von verschiedenen Farben auf einem weißen Blatt Papier werden verschiedenen Frequenzbereiche herausgefiltert

Zusammenhang zwischen RGB- und CMY-Farbmodell



CMY-Farbmodell



Allgemeines:

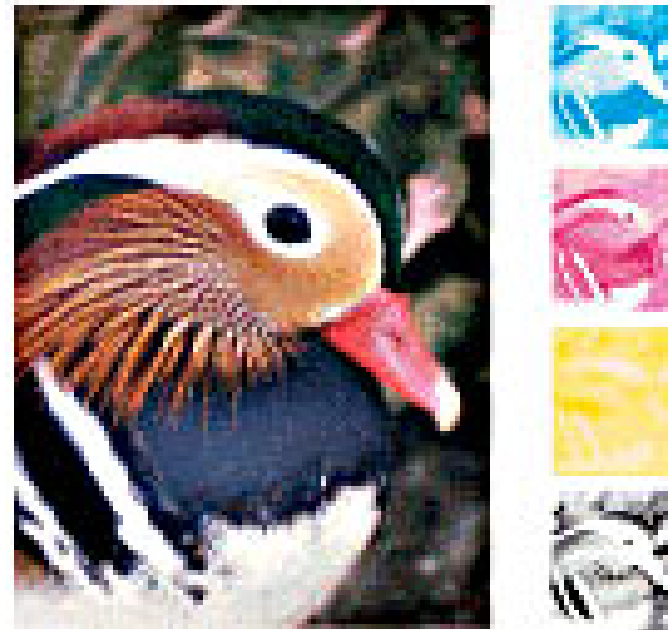
- Ursprung: Weiß $[0, 0, 0]^t$
- höchste Helligkeit : $[0, 0, 0]^t_{CMY}$
- Umrechnung zwischen RGB- und CMY-Farbmodell:

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

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

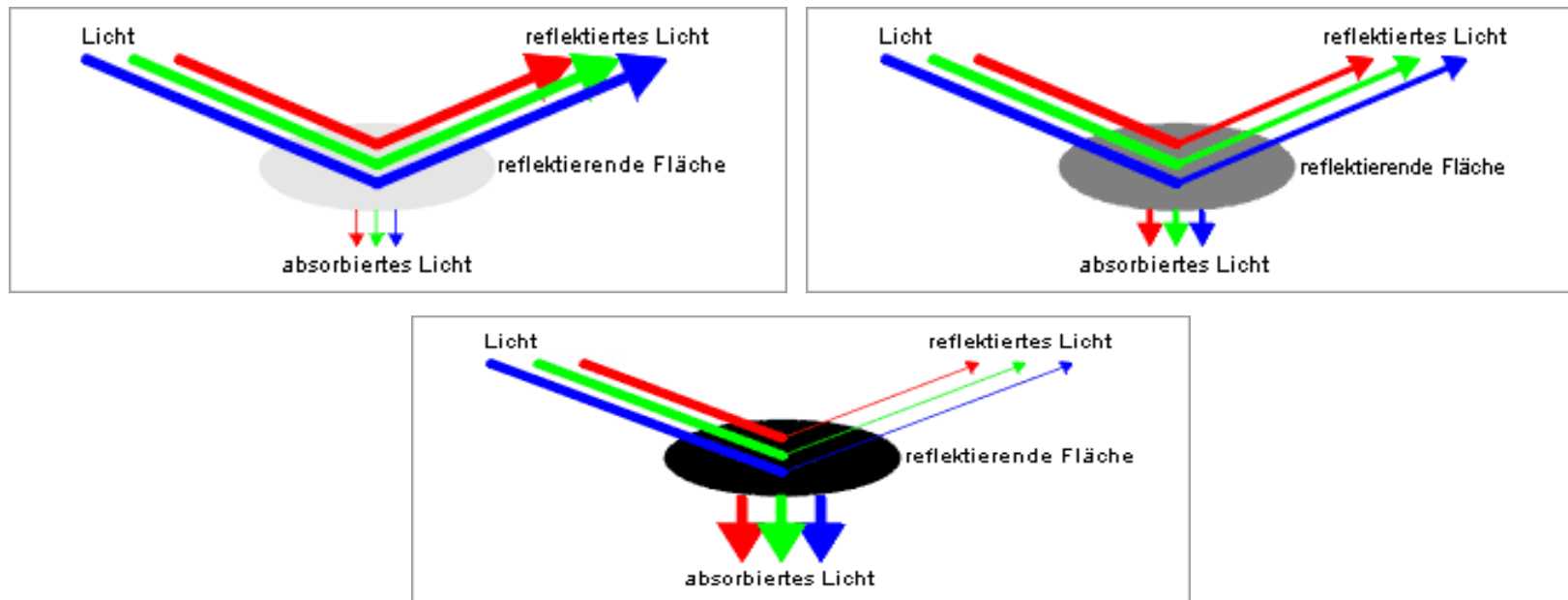
CMYK-Farbmodell

- Reines Schwarz = $(1,1,1)^t_{\text{CMY}}$
= $(0,0,0,1)^t_{\text{CMYK}}$
- CMY ist in der Praxis oft unzureichend, da schwarz nicht wirklich schwarz aussieht.
- Daher wird beim CMYK-Modell schwarz (**Black**) als 4. Komponente hinzugefügt
- Eignet sich zur Modellierung von Kontrast.



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.

Wie sieht die Reflektion
und Absorption einer
roten Oberfläche aus?

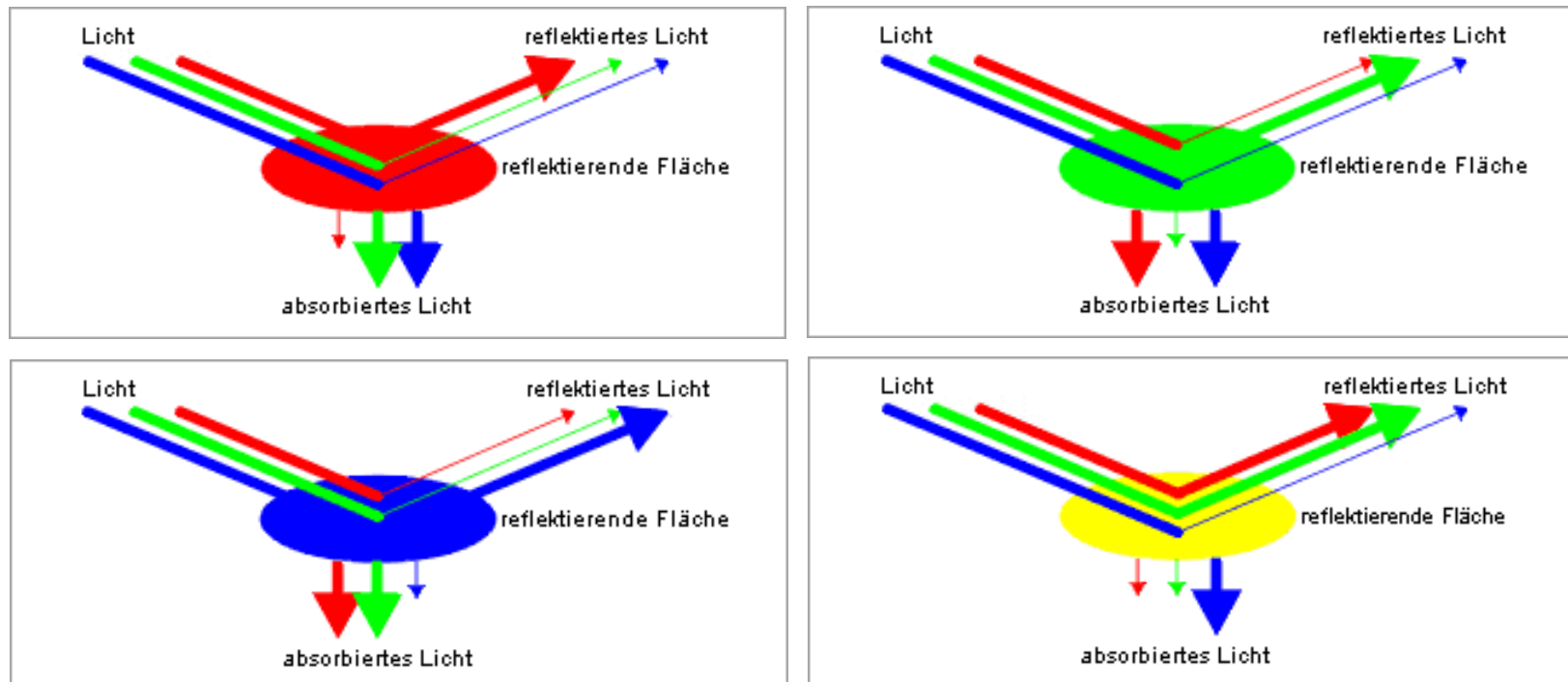
Wie sieht die Reflektion
und Absorption einer
grünen Oberfläche aus?

Wie sieht die Reflektion
und Absorption einer
blauen Oberfläche aus?

Wie sieht die Reflektion
und Absorption einer
gelben Oberfläche aus?

CMY-Farbmodell: Subtraktive Farbmischung

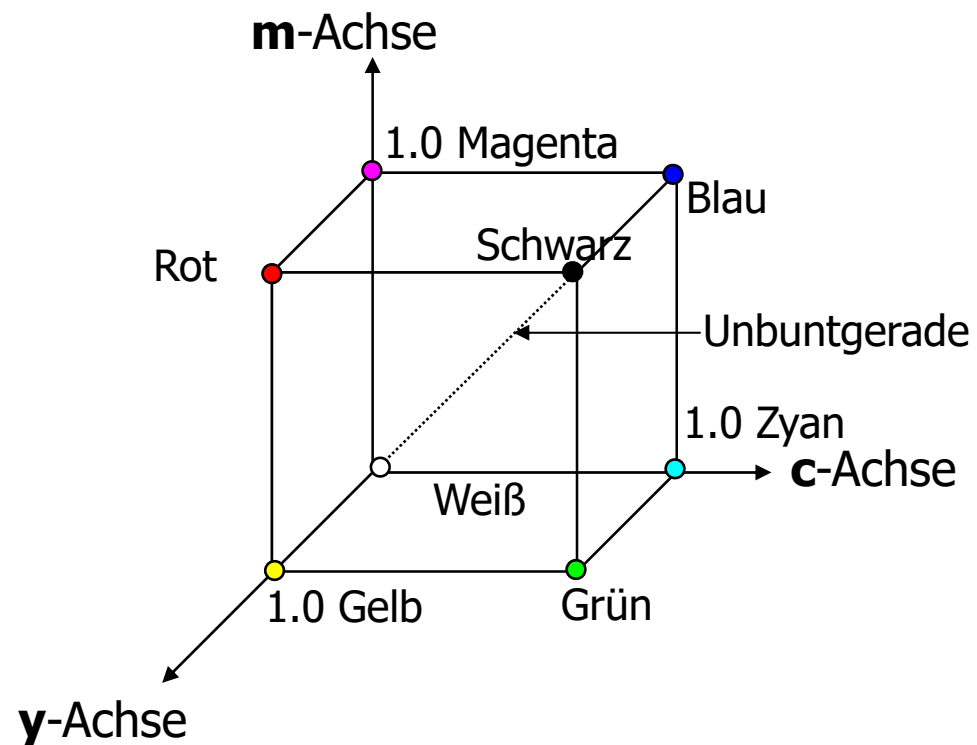
- Farbige Oberflächen **absorbieren** ein Teil des Spektrums und **reflektieren** den Rest.



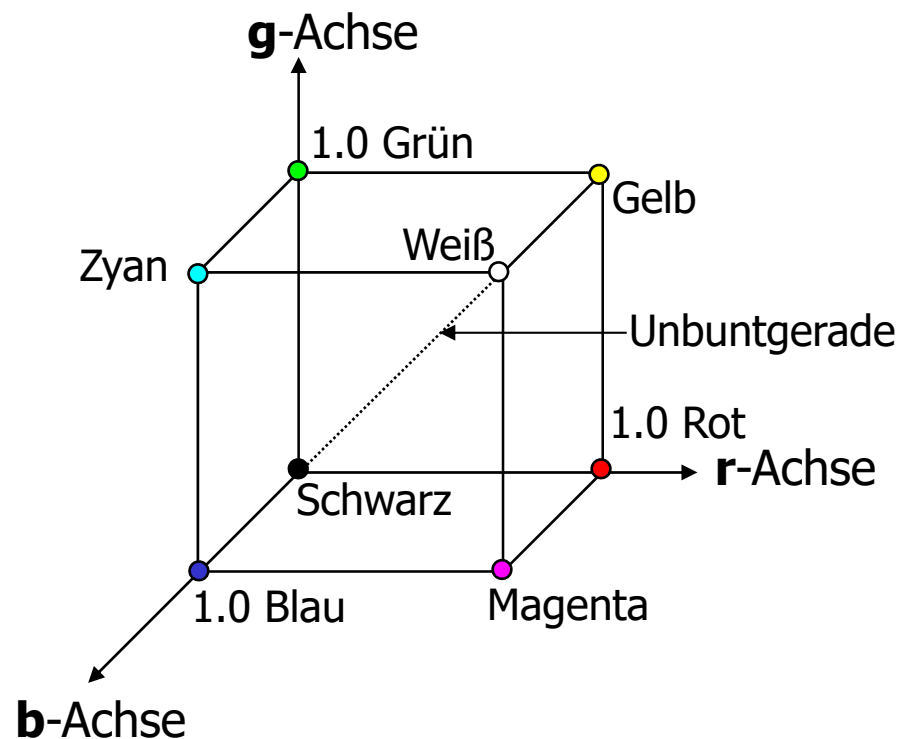
Additive und subtraktive Farbmischung im Vergleich



CMY Farbmodell



RGB Farbmodell



- Unbuntgerade
- Helligkeit einer Farbe wird durch den Schwarzanteil geprägt.
- Sättigung einer Farbe wird durch den Grauanteil geprägt.

Wahrnehmungsorientierte Farbmodelle

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

Gemeinsamkeiten der wahrnehmungsorientierten Farbmodelle:

- Chrominanz(en),
- Intensitäten und evtl.
- Sättigungen werden unterschieden.

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)



Beispiel einer YUV-Zerlegung

Originalfarbbild oben und die Aufspaltung dieses Bildes in die Luminanz Y (S/W-Bild) und darunter in die beiden Farbanteile U und V . Die Unschärfe in den Farbkomponenten U und V macht anschaulich, warum die Farbinformation in der Auflösung reduziert werden kann (down-sampling) ohne den Bildeindruck wesentlich zu verschlechtern.

Bild und Text aus Wikipedia.

YUV-Farbmodell

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

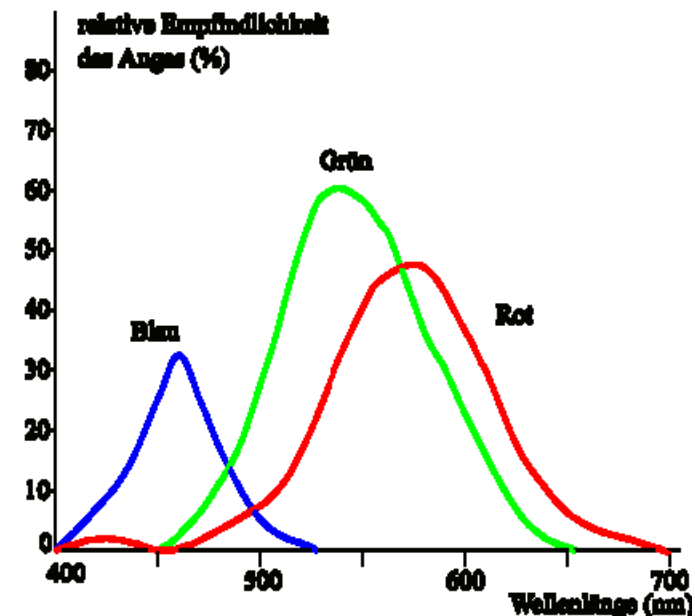
Umrechnung von RGB zu YUV:

Berechnung der Helligkeit Y

- Variante 1: Helligkeit aller Farbanteile werden berücksichtigt:

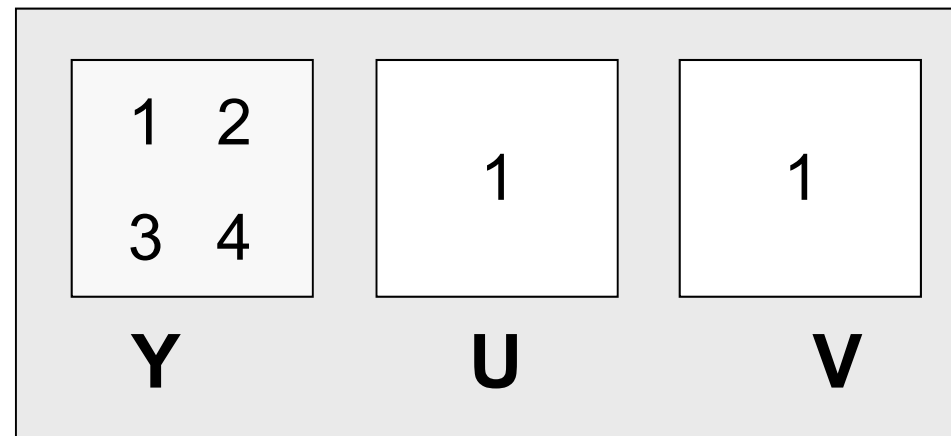
$$Y = \frac{1}{3}r + \frac{1}{3}g + \frac{1}{3}b$$
- Variante 2: Umrechnung basierend auf unserer Farbwahrnehmung:

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



JPEG: YUV- oder YIQ-Modell

Codierung: 4:1:1-Farbraum im YUV-Modell



Komprimierungsrate: 50% (6 statt 12 Werte für 4 Pixel)

Wie rechnet man von RGB nach YUV um?

Nur zur Information nicht Klausurrelevant!!!

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

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

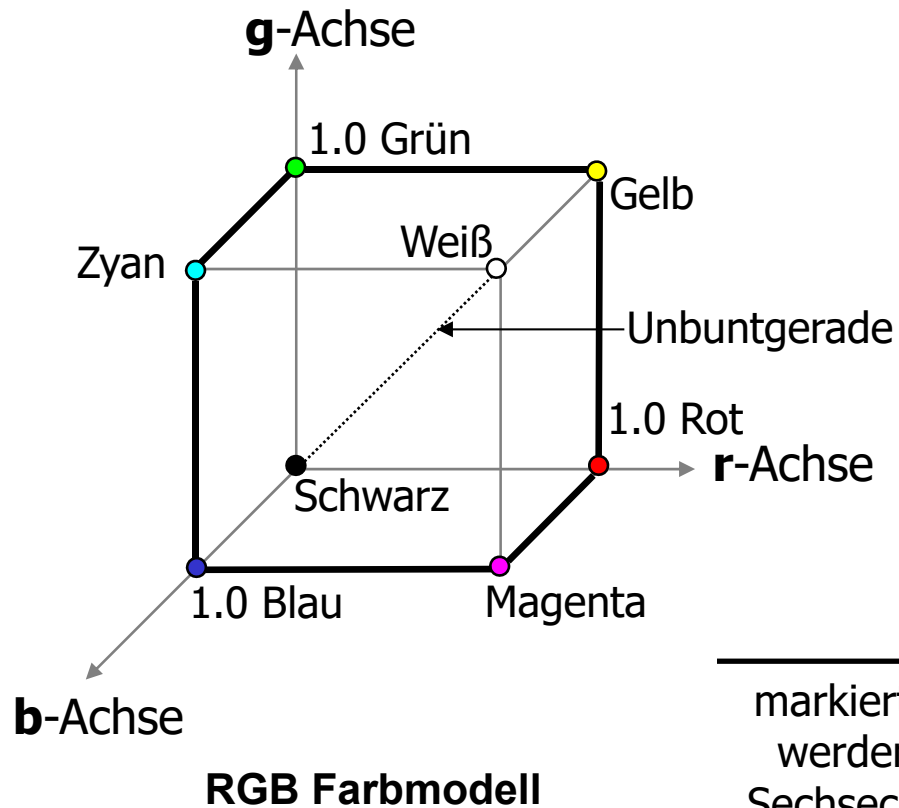
$$u = -0.3 \cdot r - 0.59 \cdot g + 0.89 \cdot b$$

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

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

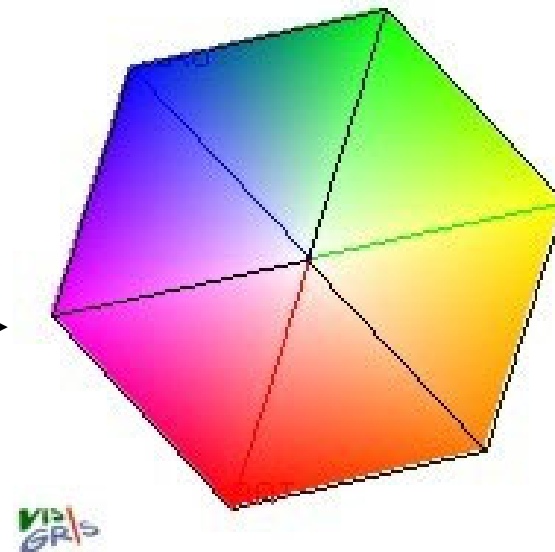
$$\begin{bmatrix} y \\ u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.59 & 0.11 \\ -0.3 & -0.59 & 0.89 \\ 0.7 & -0.59 & -0.11 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

HSV-Farbmodell

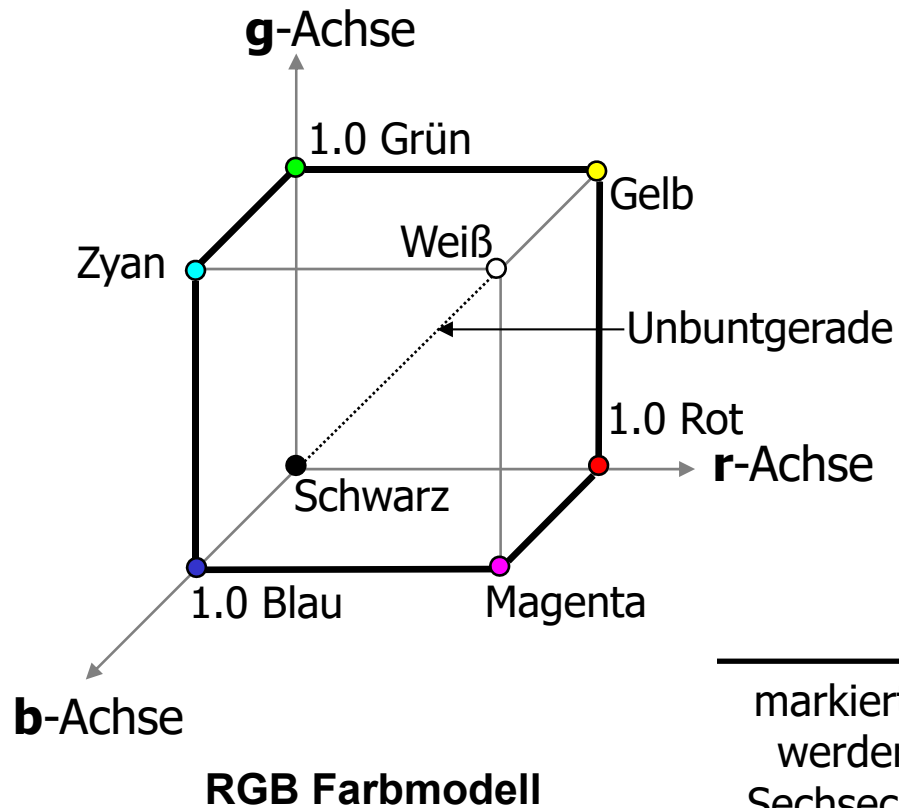


- **H**ue = Farbton
- **S**aturation = Sättigung
- **V**alue = Intensität

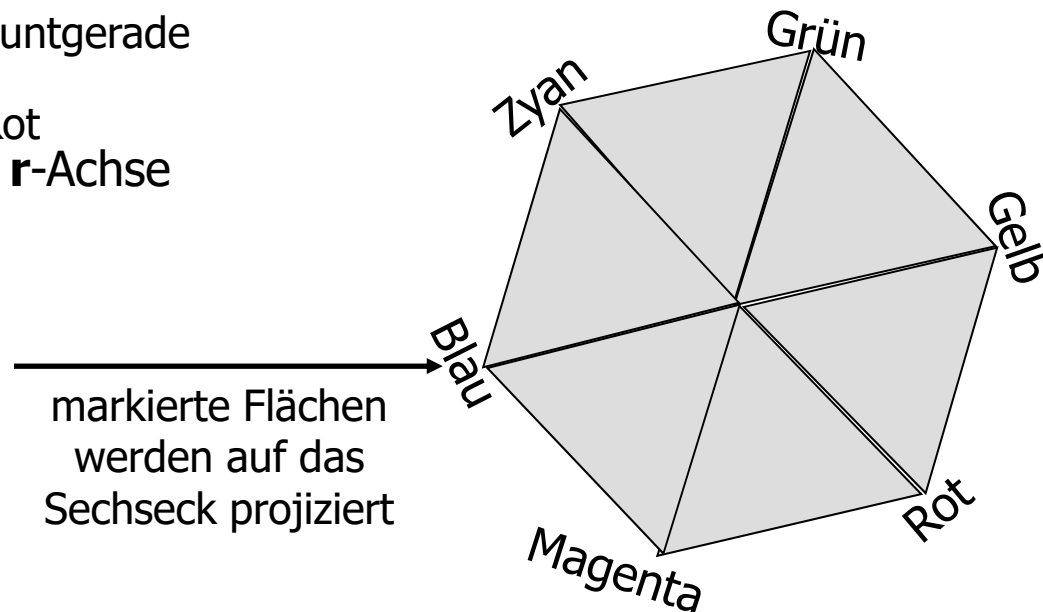
markierte Flächen
werden auf das
Sechseck projiziert



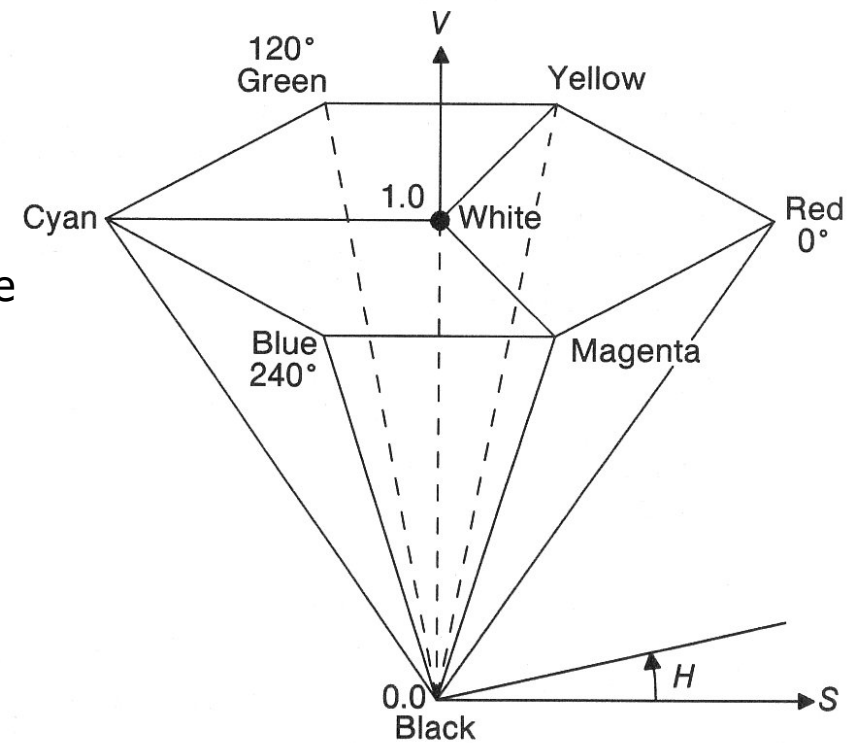
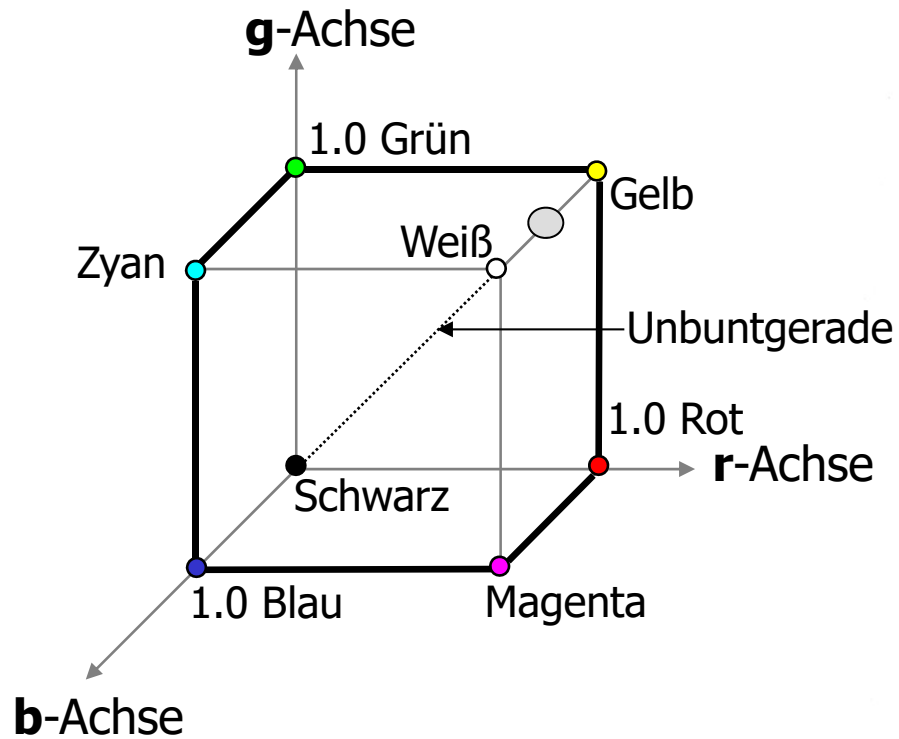
HSV-Farbmodell



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

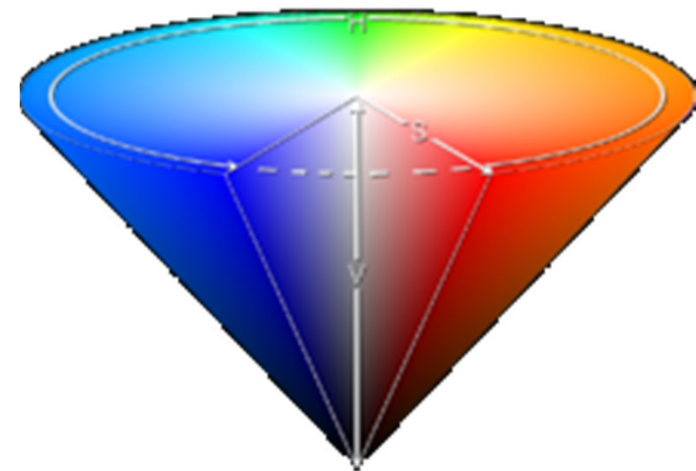
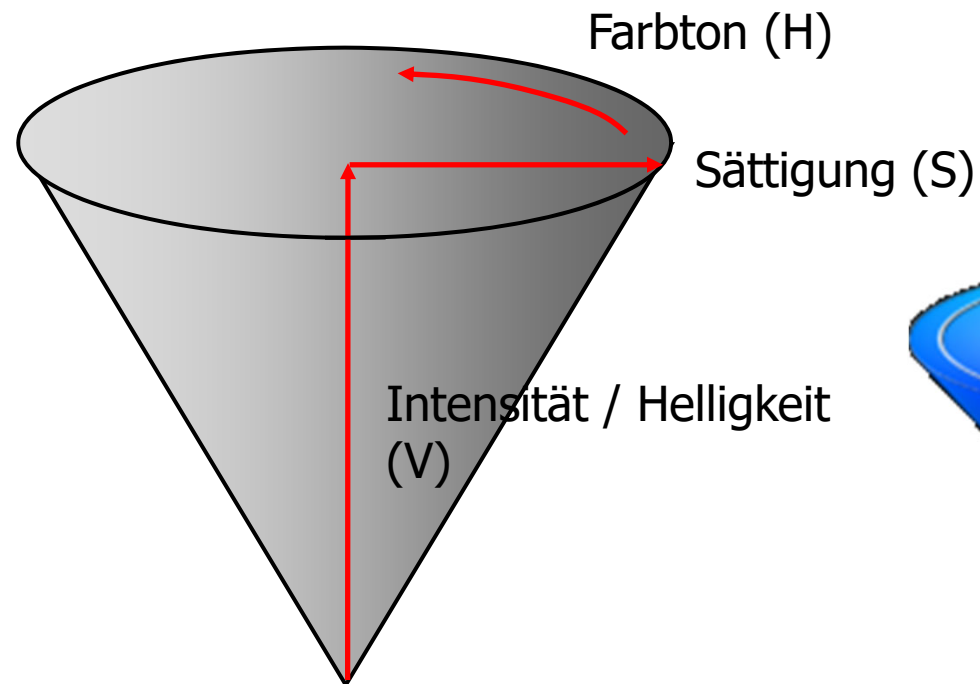


RGB-Farben ins HSV-Farbmodell überführen

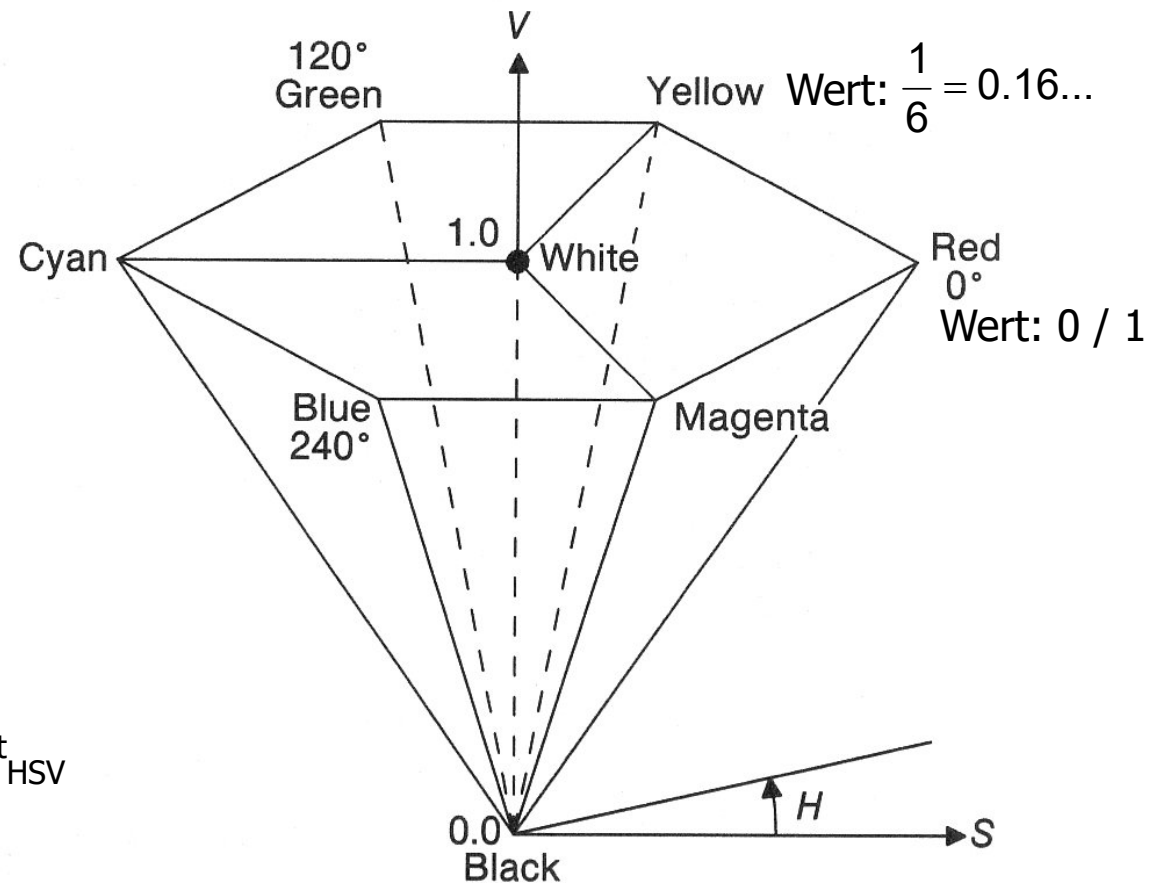


HSV-Farbmodell: Hexakegel

- **H**ue = Farbton
- **S**aturation = Sättigung
- **V**alue = Intensität



HSV-Farbmodell: Hexakegel

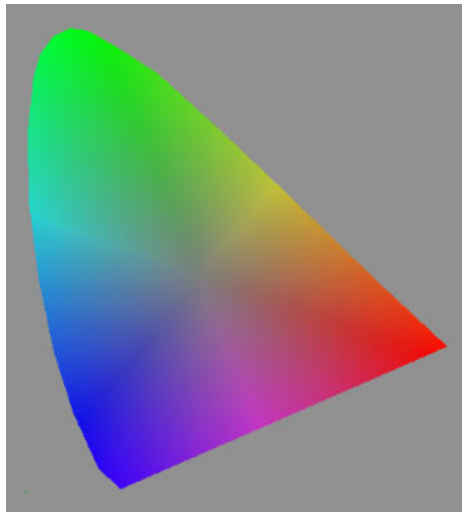


Schwarz = $[egal, egal, 0]_{HSV}^t$

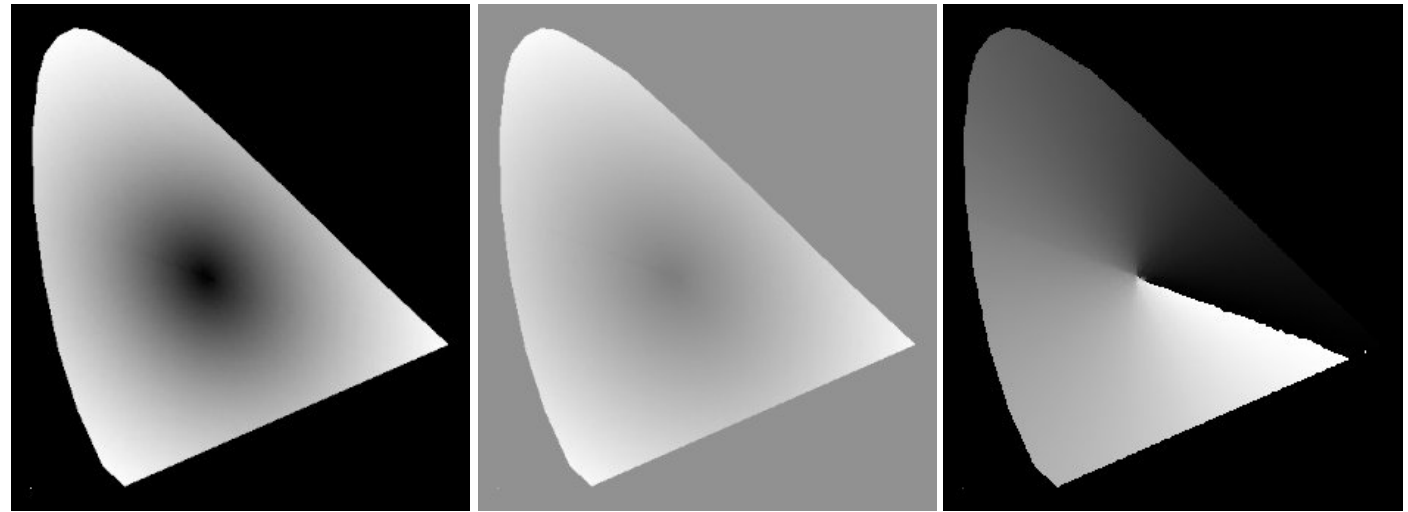
Rot = $[1, 1, 1]_{HSV}^t$

Weiß?

HSV Zerlegung eines Bildes



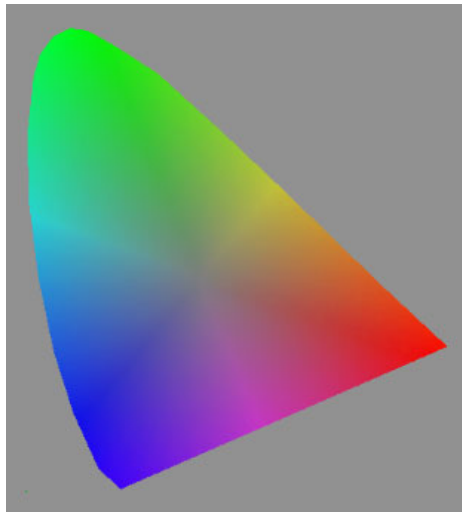
Farbbild



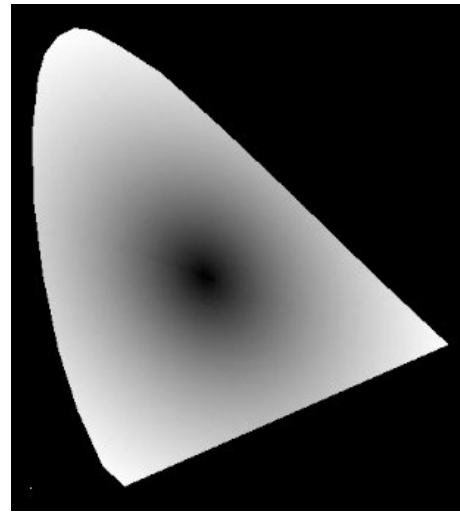
Zerlegung des Farbbildes in die Kanäle des HSV-Modells:

Geben Sie an, welches Grauwertbild, welchen Kanal abbildet.

HSV Zerlegung eines Bildes - Lösung



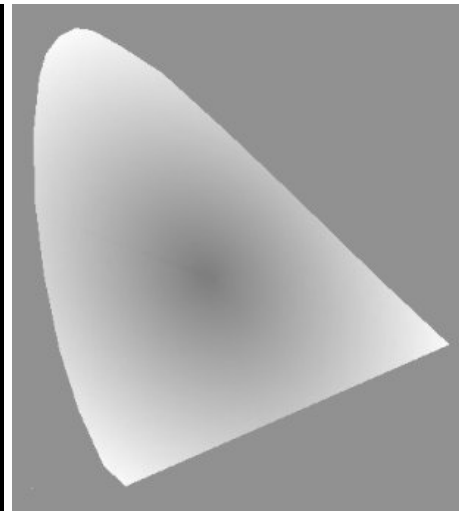
Farbbild



Zerlegung des Farbbildes in die Kanäle des HSV-Modells:

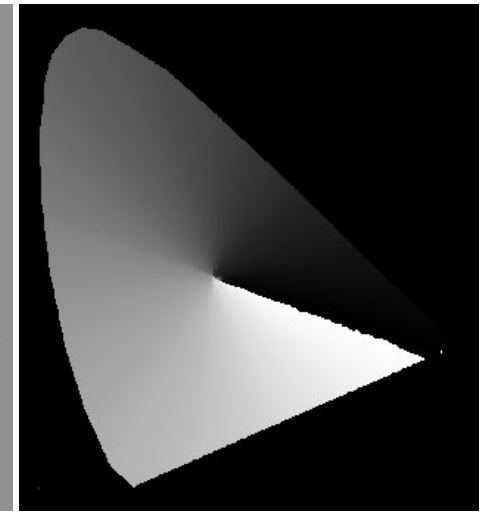
Sättigung (S):

Weil Hintergrund im Farbbild grau ist, also ungesättigt = schwarz



Helligkeit (V):

sieht aus wie das Farbbild ohne Farbe



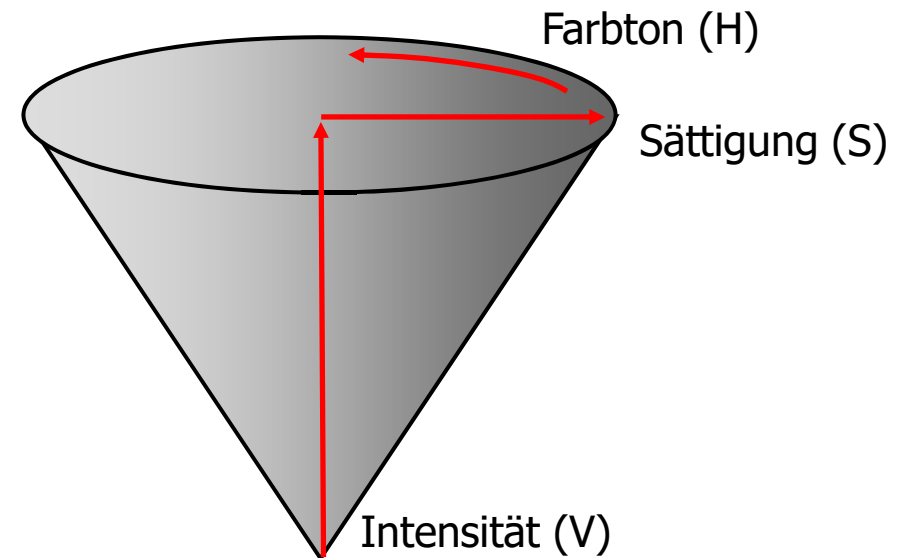
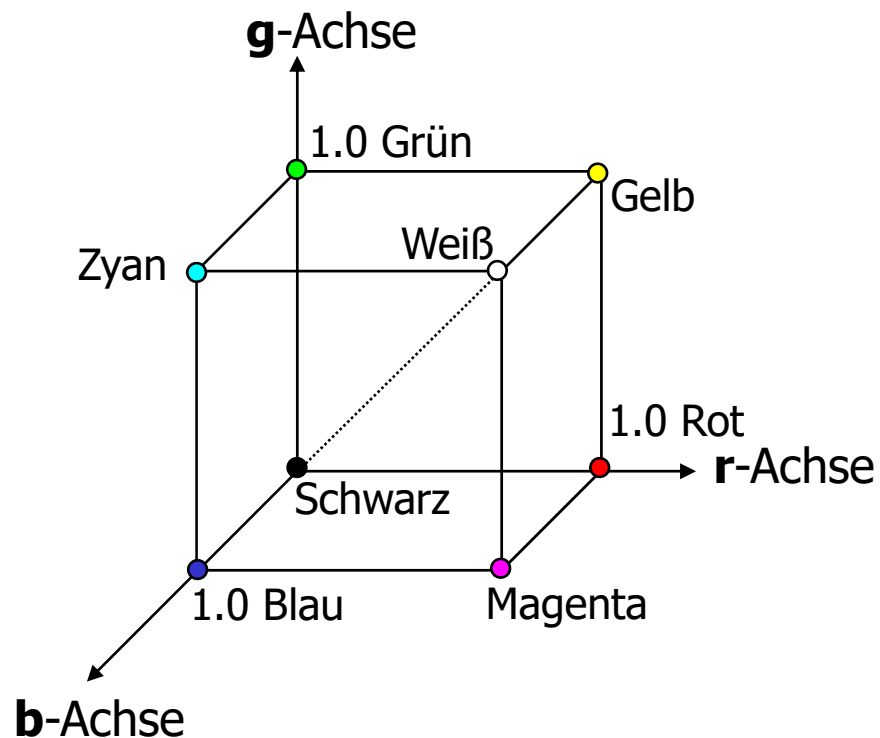
Farbe (H):

im Rotbereich sieht man den Übergang von 0 zu 360 Grad

Umrechnen von RGB nach HSV:

Helligkeit (Value):

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



Umrechnen von RGB nach HSV:

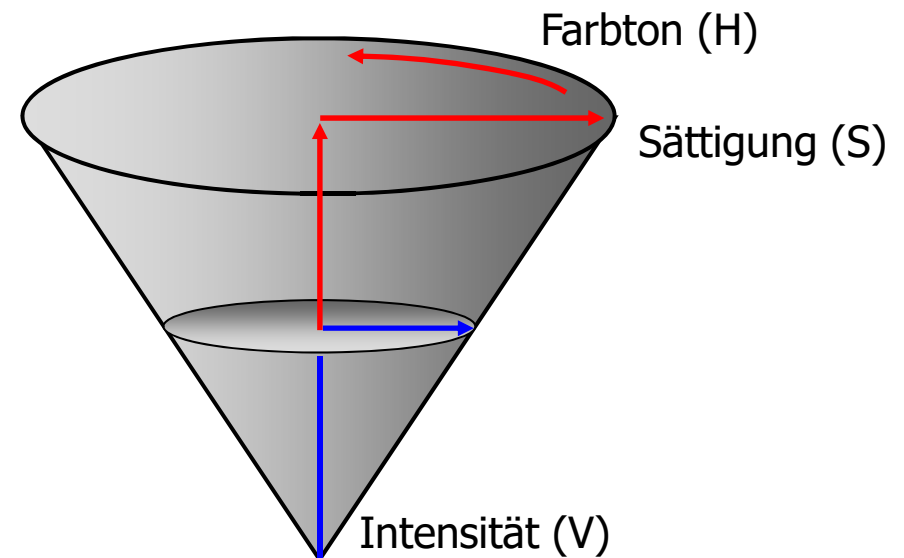
$\min(r,g,b)$ gibt den „Grauanteil“ der Farbe an.

Minimale Sättigung:

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

Maximale Sättigung:

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



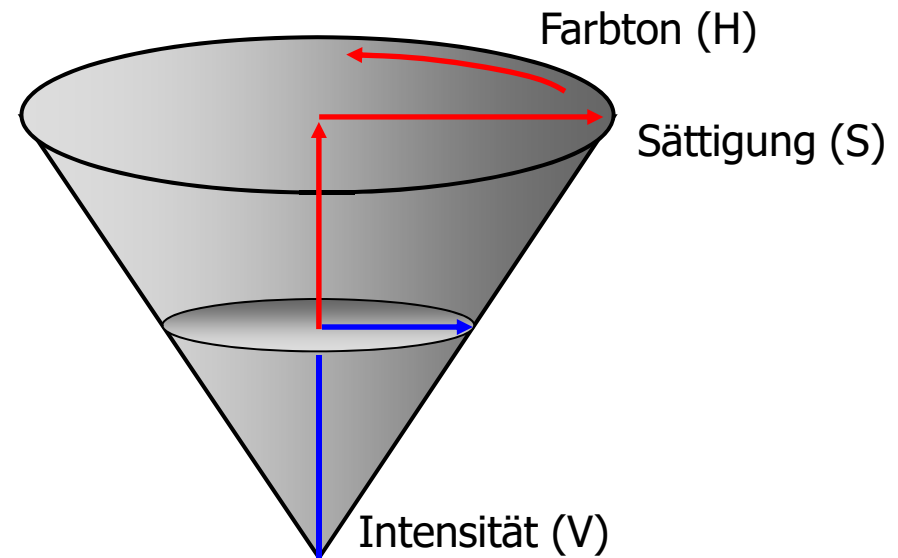
HSV-Farbmodell

Umrechnen von RGB nach HSV:

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

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

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



mit: $\min(r,g,b) / \max(r,g,b)$ = Grauanteil der Farbe ins Verhältnis gesetzt zum Maximalwert, der dem vollgesättigten Farbton entspricht

Vorteile der Wahrnehmungsorientierten Modelle

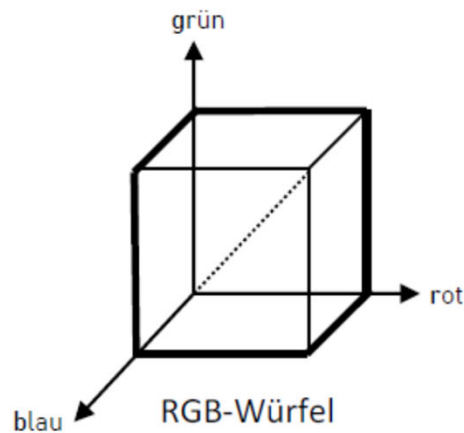
Wahrnehmungsorientierte Modelle

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

Vorteile:

- entsprechen der menschlichen Wahrnehmung
- Komprimierungsmöglichkeit (JPEG-Kompression)
- 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)

Beantworten Sie die folgenden Fragen indem Sie die Nummern aller passenden Teilantworten angeben:



Wo im RGB-Würfel (siehe rechte Zeichnung) liegen Farben mit maximaler Helligkeit?

Wo im RGB-Würfel findet man überall Grauwerte?

Wo im RGB-Würfel liegen die maximal gesättigten Farben?

Zur Auswahl stehen die folgenden Teilantworten:

- | | |
|---|--|
| a.) auf der hinteren Seite des RGB-Würfels, | f.) im Ursprung, |
| b.) auf der vorderen Seite des RGB-Würfels, | g.) auf der Unterseite des RGB-Würfels, |
| c.) auf der linken Seite des RGB-Würfels, | h.) auf der Oberseite des RGB-Würfels, |
| d.) auf der rechten Seite des RGB-Würfels, | i.) auf dem fett hervorgehobenen Linienzug |
| e.) auf der gestrichelten Linie, | |

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



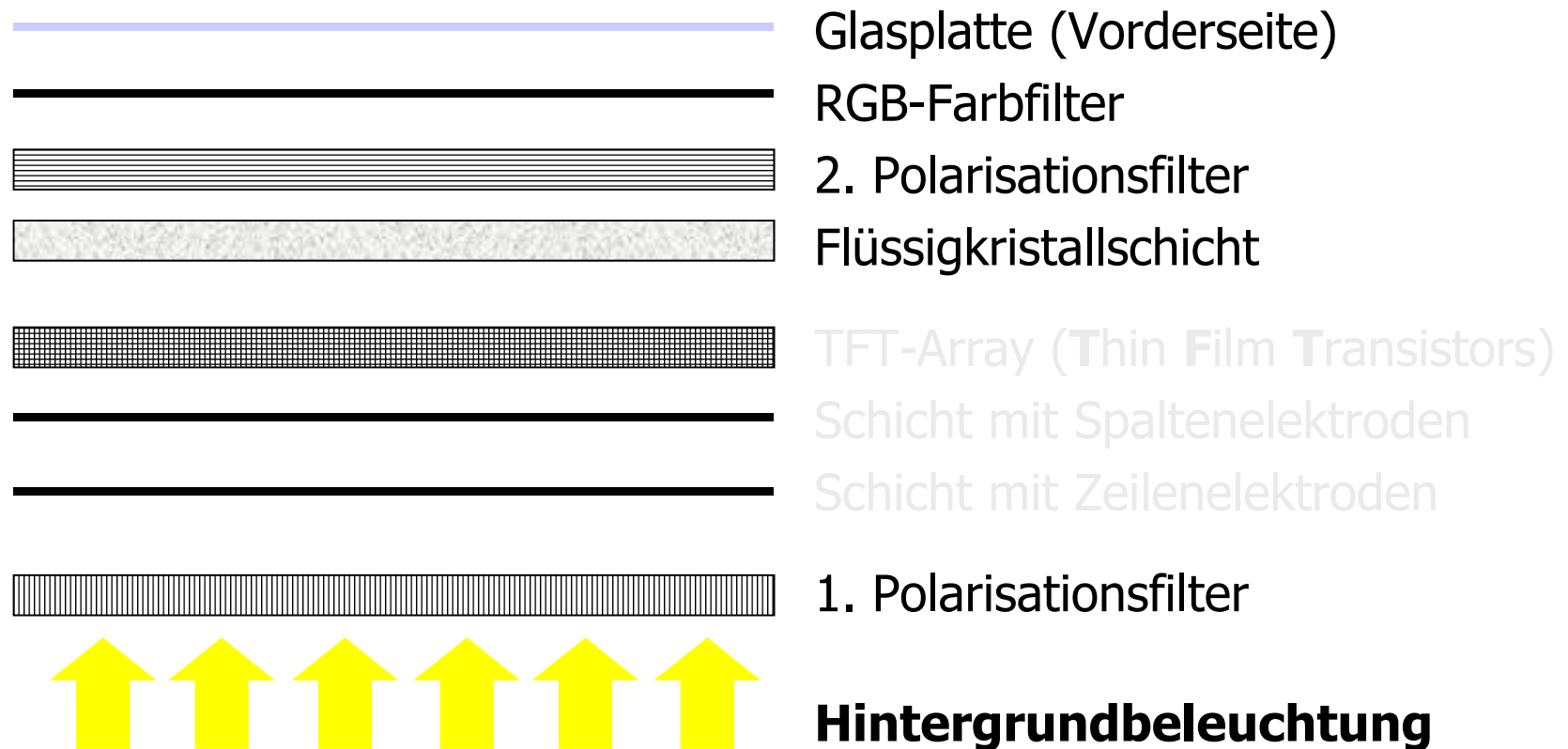
Begründung der Zuordnung

Welche Farbe hat das Hausdach?

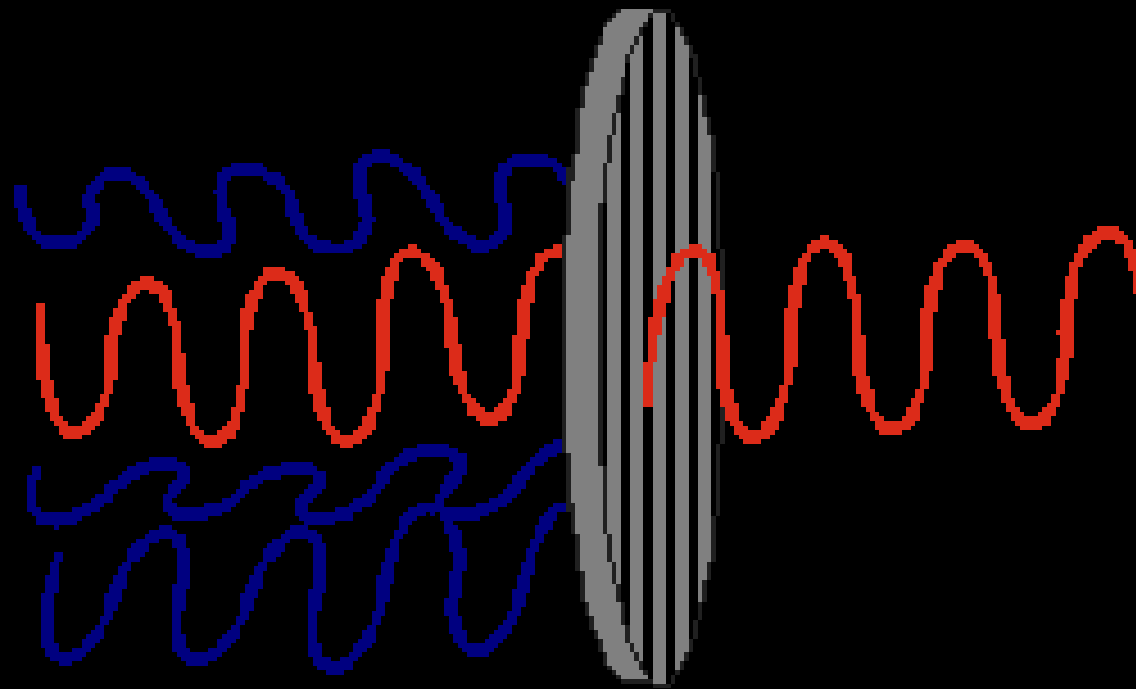
Digitale Bilder

- Ausgabe digitaler Bilder
- Gewinnung digitaler Bilder

Aufbau eines TFT/LCD-Displays

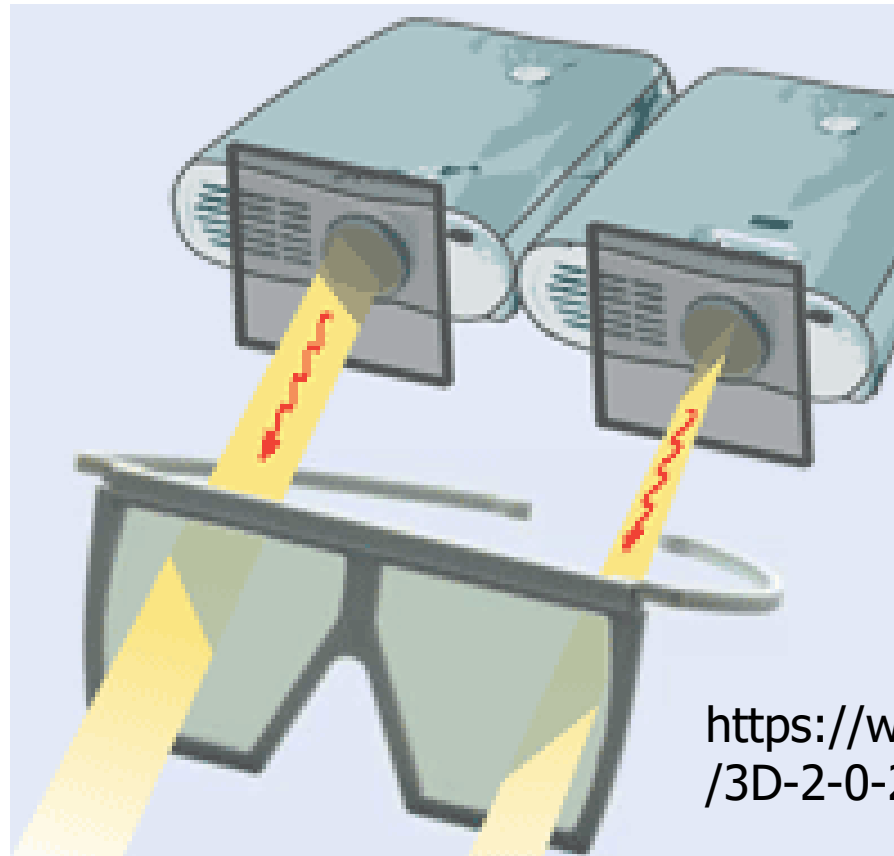


Wirkungsweise von Polarisationsfiltern



Doppelprojektion mit linearer Polarisation

Polarisationsystem, benötigt einen linearen Polarisierer vor jedem der beiden Projektoren sowie Polfilterbrillen.



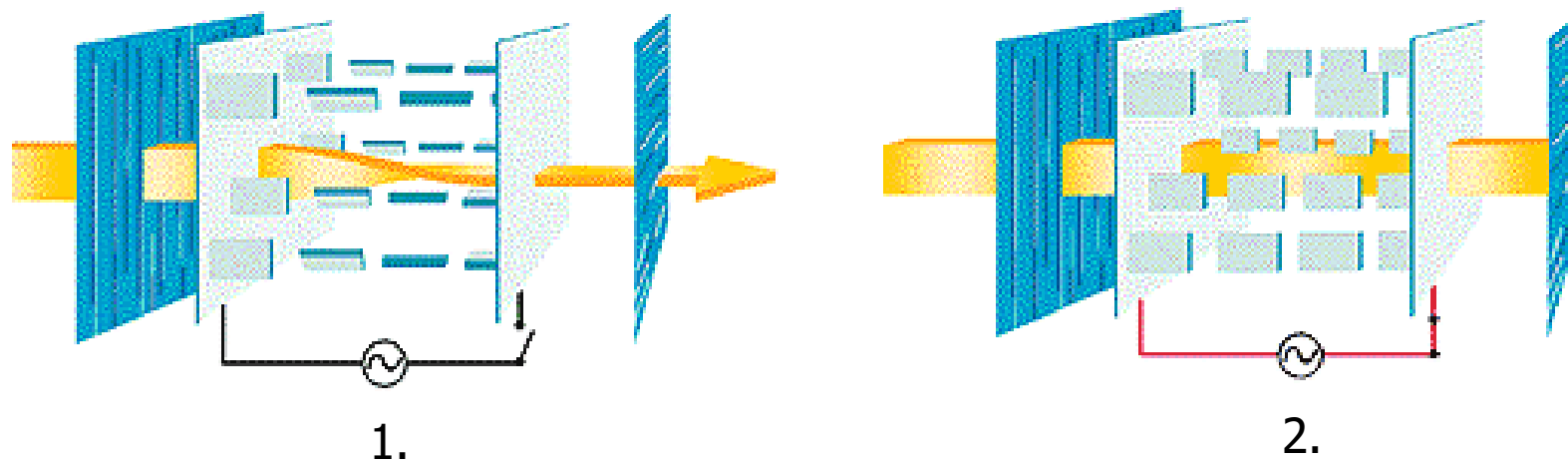
<https://www.heise.de/ct/artikel/3D-2-0-291654.html>

Projektor der Firma Christie mit Polarisationsrad



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Christie-Projektor3.jpg>

Wirkungsweise der Flüssigkristallschicht im TFT/LCD-Display

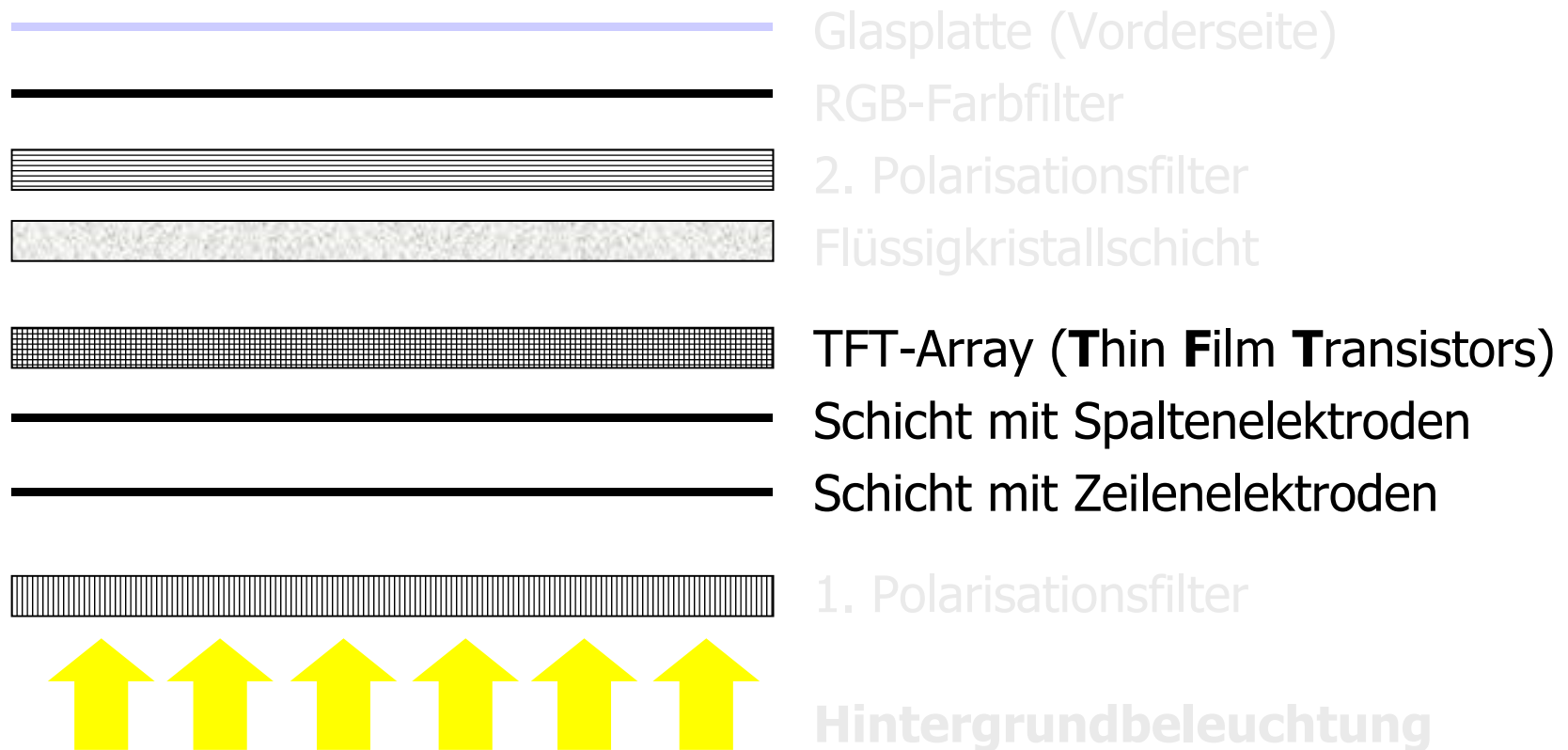


LCD (Liquid Crystal Display)

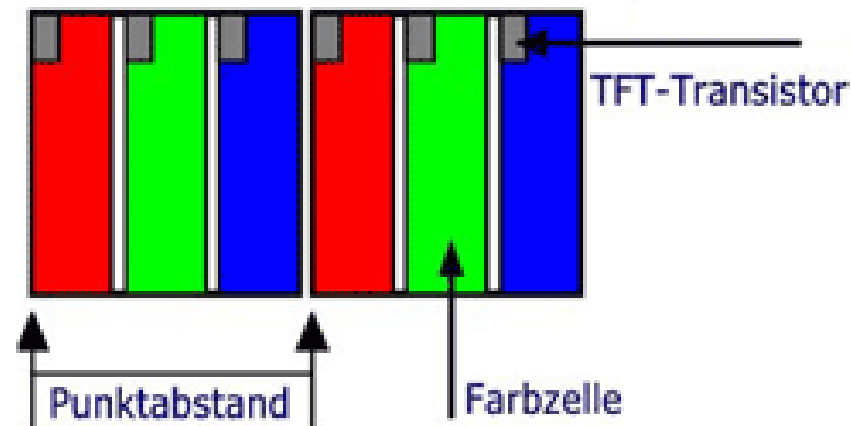
1. Im ausgeschalteten Zustand
2. Im angeschalteten Zustand

Aus: http://www.beamer.de/produkte/lcd/lcd-tft_technik-anwendung.html

Aufbau eines TFT/LCD-Displays



Ansteuerung einer Zelle durch TFT-Elemente



- Licht eines Bildpunktes wird durch 3 TFT Elemente erzeugt
- Die Steuerspannung wird verstärkt ohne, dass die Nachbarzellen beeinflusst werden ...
- dadurch helle, scharfe Bilder
- Allerdings sind die Stege im Bild sichtbar

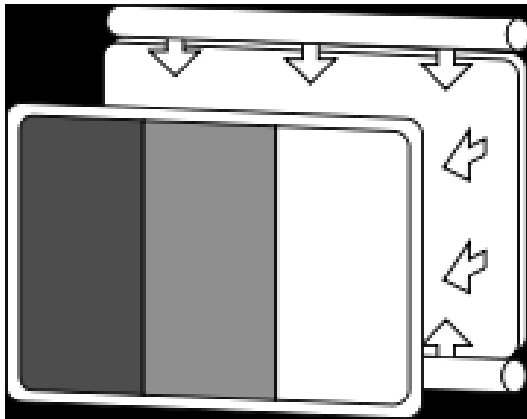
Bild aus: http://www.beamer.de/produkte/lcd/lcd-tft_technik-anwendung.html

Schaltbare Glaswände



aus: <https://www.coneon.de/glaswandsysteme/gestaltung-von-glaswaenden/>

LED-Backlight bei LCD-Fernseher

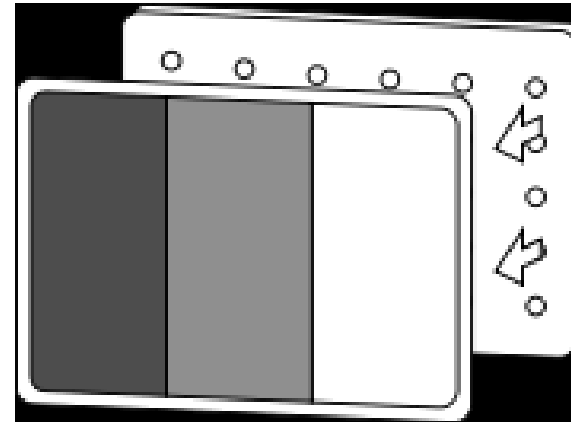


LCD mit Hintergrundbeleuchtung durch eine Leuchtstoffröhre, sogenannte Kathodenstrahler (CCFL), diese können nur gemeinsam gedimmt werden. Dunkle Szenen, die in schneller Folge mit hellen abwechseln, verlieren stark an Kontrast.

Ganz dunkle und sehr helle Bildinhalte können nicht gemeinsam dargestellt werden.

(http://www.hdplustv.de/content/hdtv_44202.html

)



LCD mit Hintergrundbeleuchtung aus gruppenweise ansteuerbaren LEDs. Damit kann man komplett schwarze und sehr helle Bildinhalte gemeinsam darstellen.

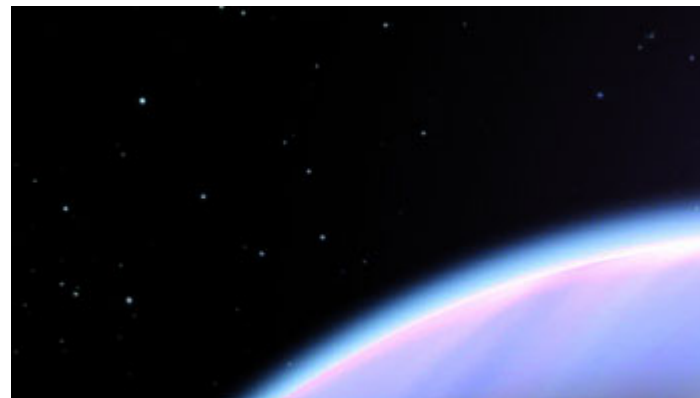
In der Regel erzeugen drei zusammengeschnittene LEDs (RGB) das weiße Hintergrundlicht für eine Gruppe von Pixeln. LED liefern sehr reine Farben. Je mehr LEDs, je kontrastreicher das Bild, je höher der Preis 😊.

Standard LCD und LCD-LED im Vergleich

(Aus: http://www.hdplustv.de/content/hdtv_44202.html)



LCD Normalfall, in dunklen Bereichen zeigen LCDs eine deutliche Aufhellung oder bei gedrosselter Hintergrundbeleuchtung verlieren die hellen Bereiche an Leuchtkraft

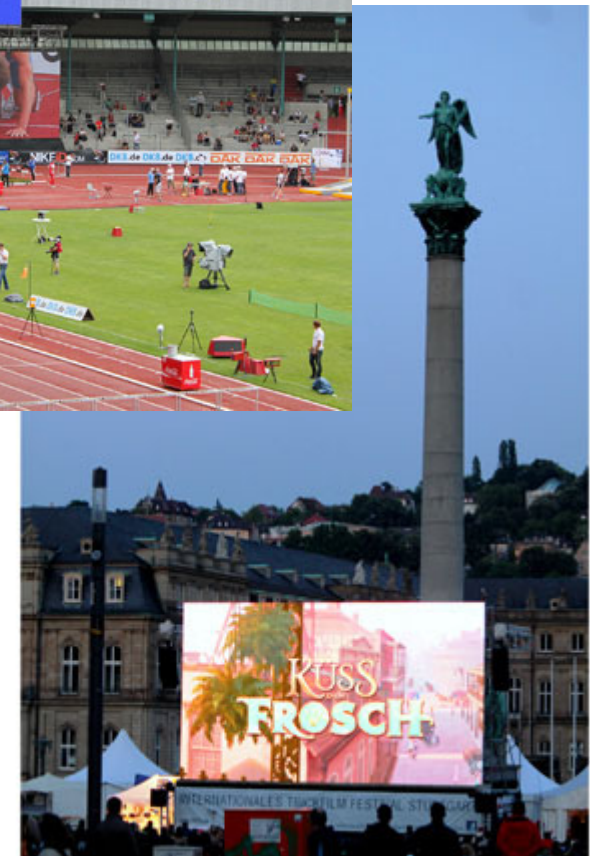


Mittels partieller LED-Beleuchtung sind gleichzeitig helle und dunkle Bereiche möglich. Eine Verbesserung des Dynamikbereichs ist aber nur bei relativ großen hellen und dunklen Flächen möglich. Für die Sterne sind zu wenig LEDs vorhanden ☹.

LED-Großbildleinwände



<http://www.rent-event-tec.com/referenzen/led-videotrailer/>



Cinema LED Screen: Erstes europäisches Kino mit Bildwand statt Projektion



(Bild: heise online / Nico Jurrán) <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Cinema-LED-Screen-Erstes-europaeisches-Kino-mit-Bildwand-statt-Projektion-4000157.html> März 2018

Chrystal LED Systems von Sony



11 Meter Bildschirmdiagonale. Bild aus: <https://www.heise.de/ct/artikel/Eindruecke-von-der-ISE-2019-LED-Displays-setzen-Akzente-4310894.html?hg=1&hgi=4&hgf=false>

Aktuelle Anwendungsbeispiele für OLEDs: Smartphones und Tablets



Bild aus: http://www.chip.de/artikel/Handys-mit-OLED-Display-OLED-Smartphones-im-Test_59785462.html

Weitere aktuelle Anwendungsbeispiele für OLEDs



<http://www.winstar.com.tw/products/oled-module.html>



<https://www.heise.de/mac-and-i/meldung/OLED-Bildschirm-der-Apple-Watch-im-Test-2626811.html>

Die Lampen sind auch OLEDs



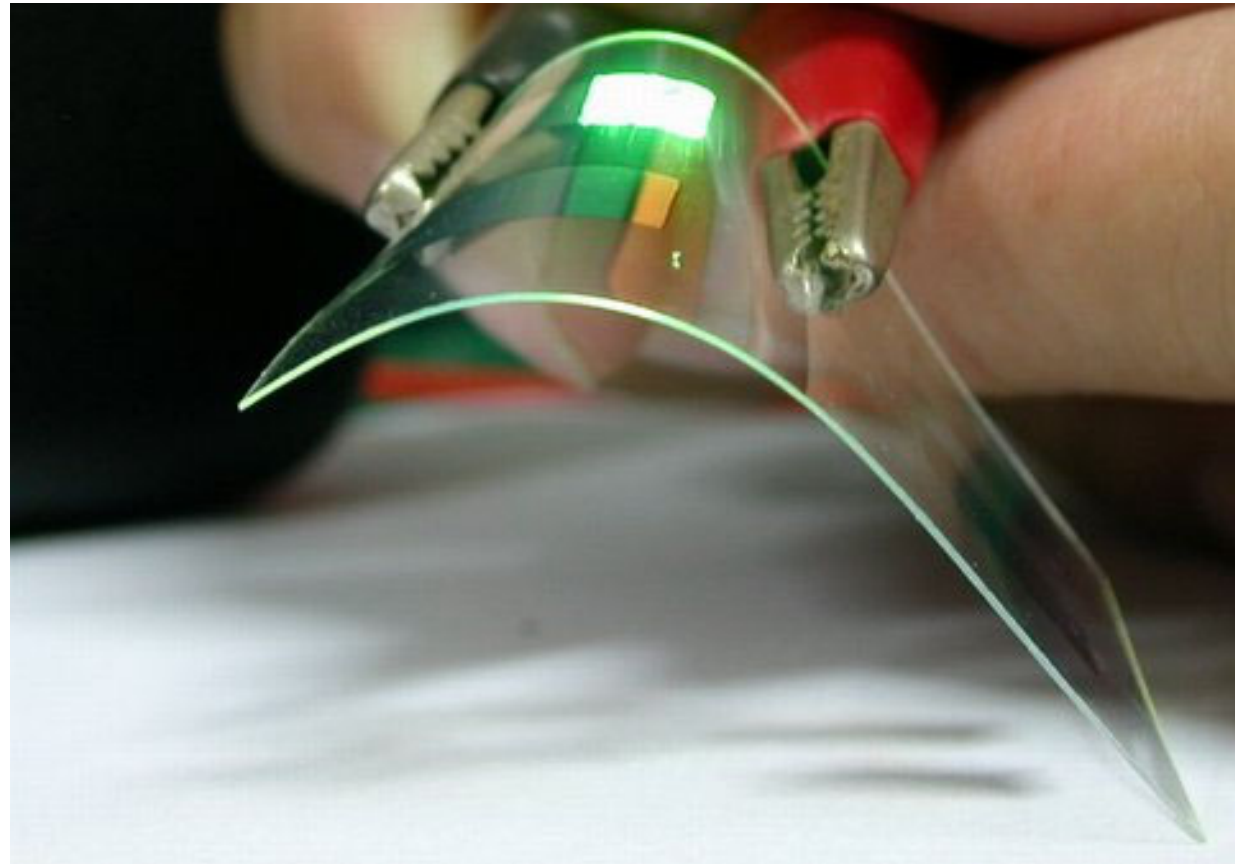
Oviso: OLED-Lampen von Ribag (Bildquelle Ribag)

Wie funktionieren eigentlich OLEDs?

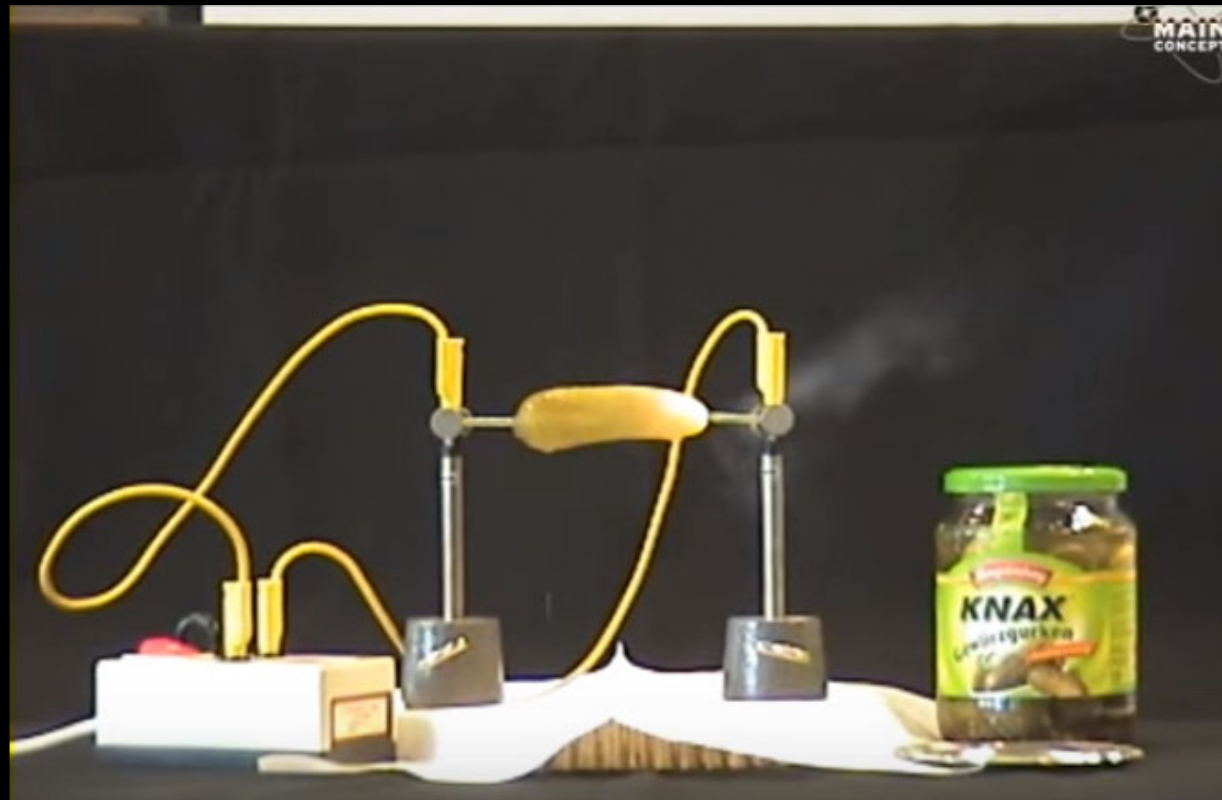
OLED organische
Leuchtdiode
(*organic light emitting
diode*)

Ein dünnfilmiges leuchten-
des Bauelement, das ohne
Hintergrundbeleuchtung
auskommt. In Form eines
Displays ist ein TFT-Array
zur Stromversorgung
nötigt; im Prinzip ist es
biegsam und aktuell noch
sehr teuer ist.

Das organische Material im
Bauelement leuchtet 😊

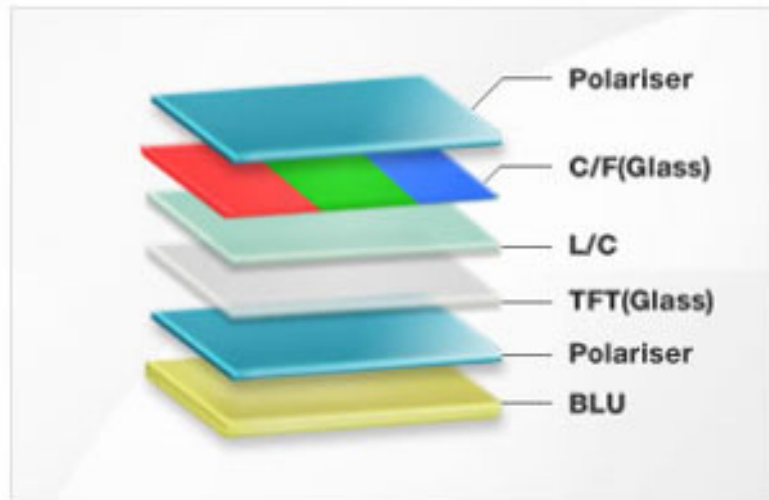


Organisches Material kann durch Strom zum Leuchten gebracht werden..., das ist das Grundprinzip der OLEDs

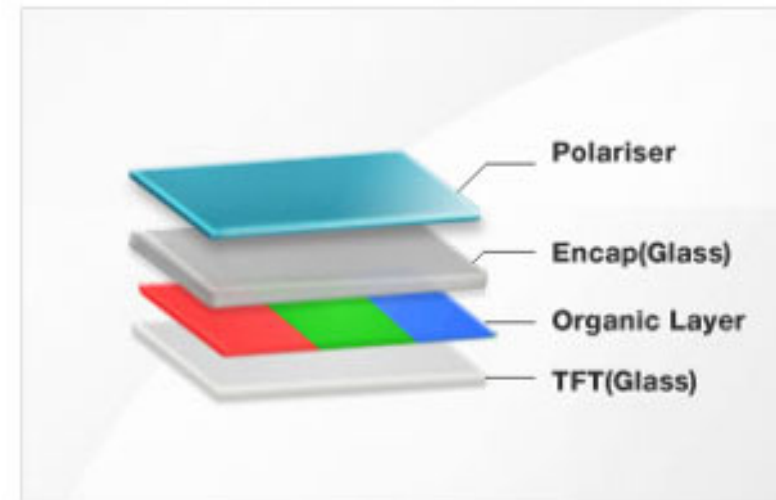


Aus:
<https://www.youtube.com/watch?v=9gKQ848oJAE>
<https://www.youtube.com/watch?v=9gKQ848oJAE>

Vergleich LCD mit OLED



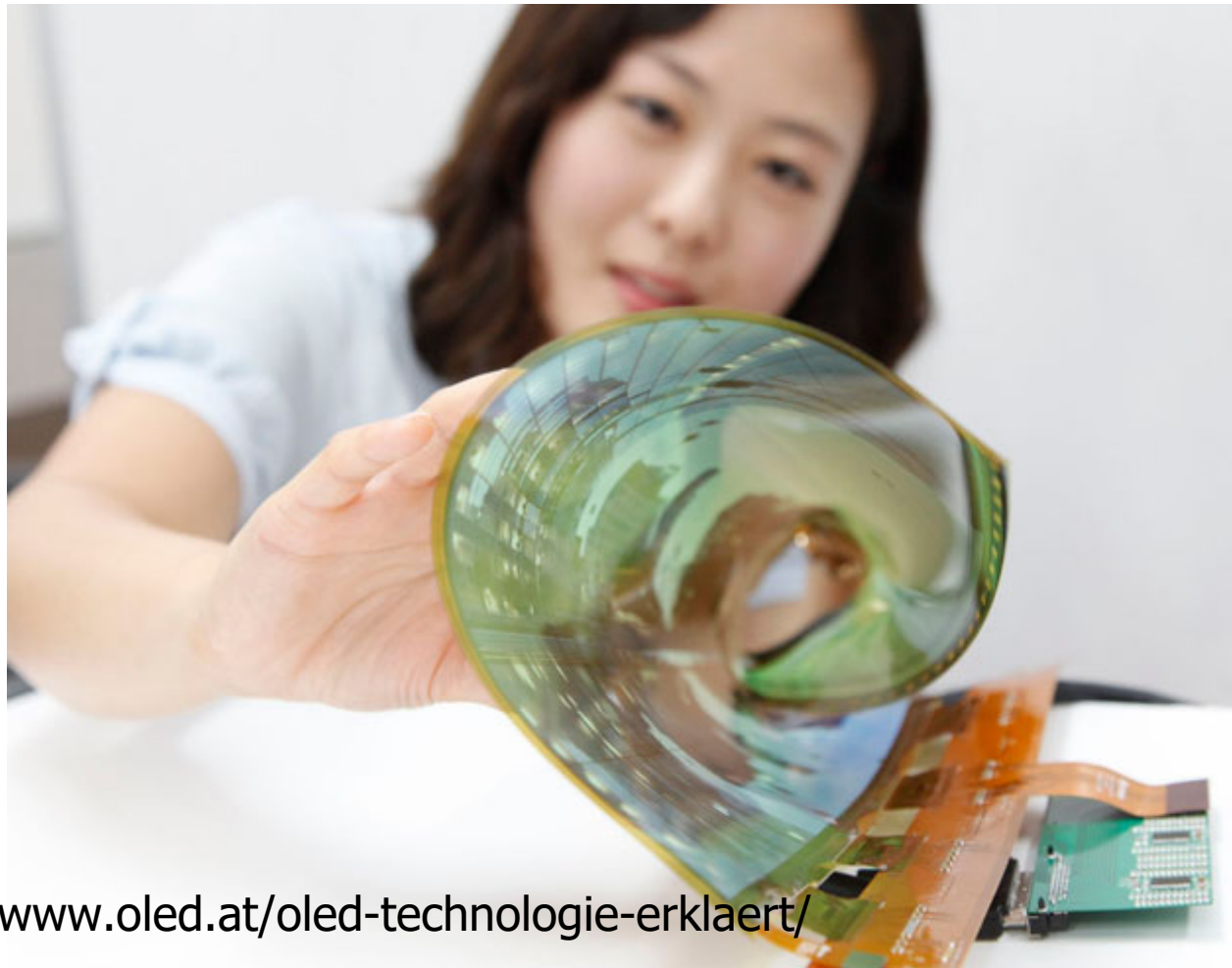
LCD



OLED

Aus: <http://www.cobra.fr/tv-oled>

LG kann's schon richtig gut: OLED als Display



Aus: <http://www.oled.at/oled-technologie-erklaert/>

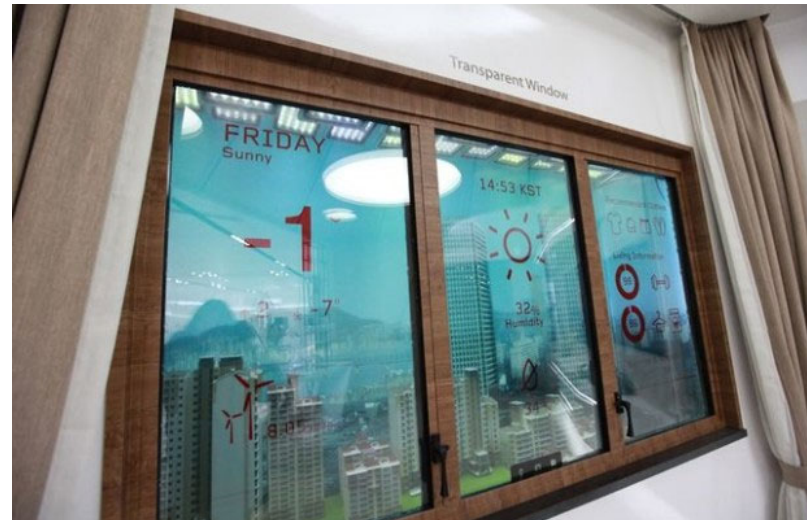
Leider noch Zukunftsmusik: Das faltbare Display



Copyright Samsung April 2016 aus:

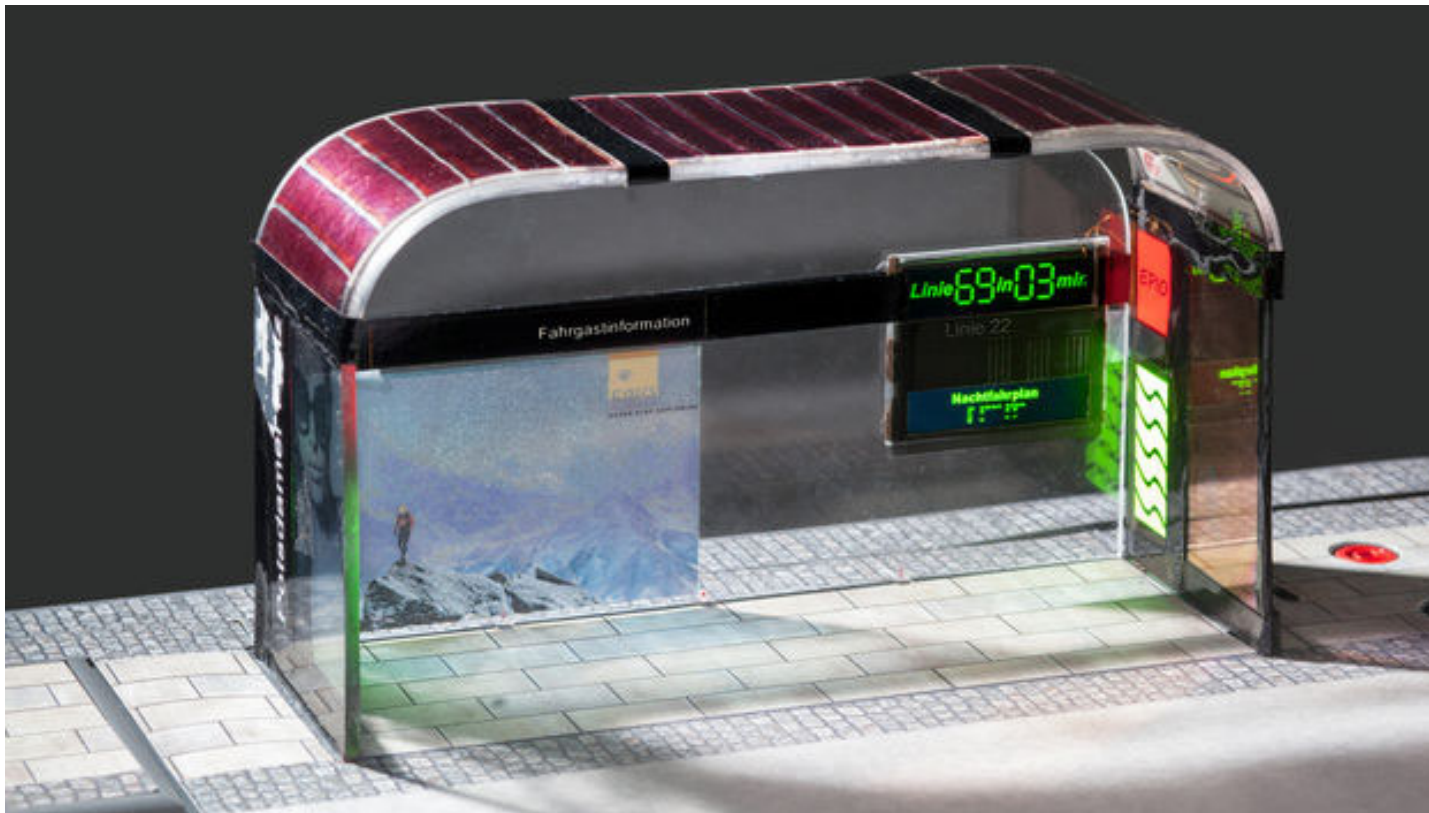
<http://www.oe24.at/digital/handy/Samsung-bringt-faltbares-Super-Smartphone/231368636>

Zukünftige OLED Anwendungsbeispiele für transparente Displays



<http://www.hardware-boom.com/lg-transparent-display/>

Gleiches Prinzip genutzt für organische Solarzellen



<https://futurezone.at/science/deutsche-forscher-drucken-oleds-und-solarzellen-aus/39.263.560>

Nächste Stufe nach LCD, LED und OLED:

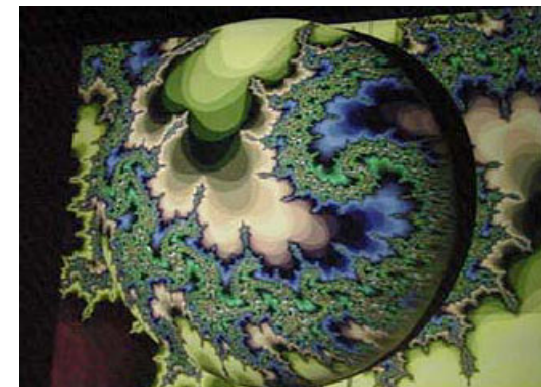
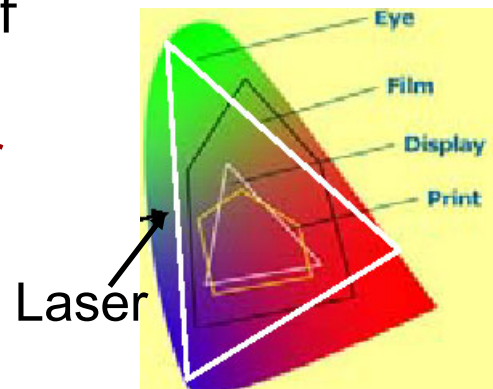
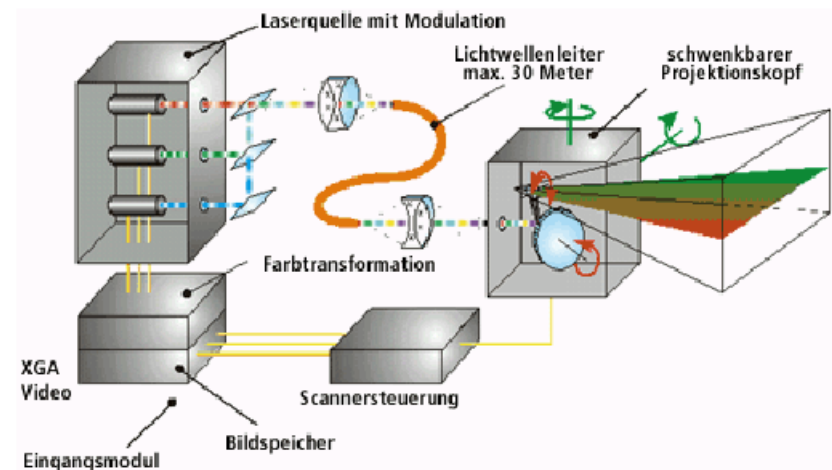
Mikro-LED:

- ohne Hintergrundbeleuchtung, ein LED pro Pixel
- extrem Leuchtstark (vor allem im Vergleich zu OLEDs)
- weniger Stromverbrauch als OLEDs
- Produktion bereitet allerdings noch Problem



Laser-Projektor (Schneider) ca. 1999

- Ein (tischgroßer) Festkörperlaser erzeugt Laserlicht, das durch Modulation in 3 Grundfarben zerlegt wird.
- Das Laserlicht wird durch ein Drehrad mit Spiegeln „gescannt“
- Enormer Farbraum !
- Das Bild ist immer scharf
- (Prototyp)
- **Projektion auf gewölbter Oberfläche möglich (Tiefenschärfe)**



Laser Projektor

Laser-Projektor von israelische Firma Explay vorgestellt:

- Streichholz-Schachtel groß
- Bereits an mehreren Handy-Typen getestet
- Projektionen bis zu 90 Zentimeter Bilddiagonale
- Bilder gestochen scharf
- Laser-Strahls soll für das menschliche Auge nicht schädlich sein

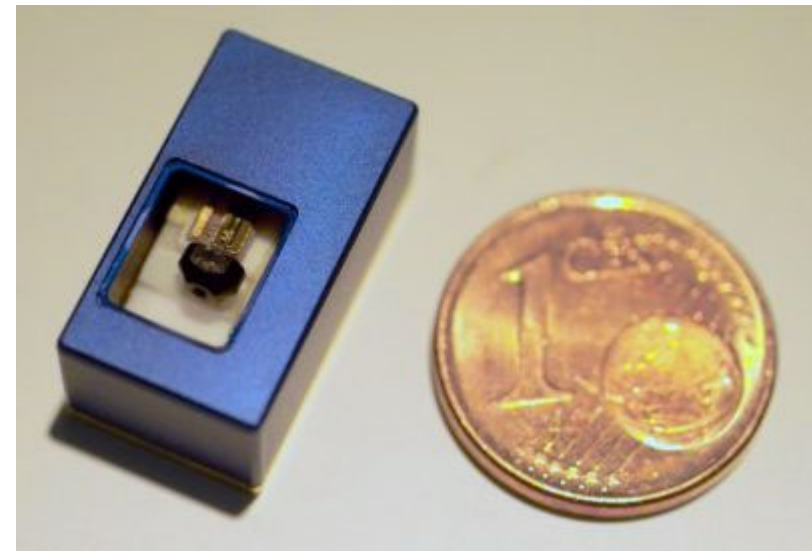


Juli 2006

Laser Projektor

Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden und am Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena

- Laser-Projektor als Prototyp
- Gerät ist nicht größer als ein Zuckerwürfel
- einzelnen Spiegel, der zeilenweise die Projektionsfläche bestrahlt
- Nur roter und blauer Laser, grün Laser ist noch zu groß



September 2006

Laserbeamer sind im Heimkinobereich angekommen (Mai 2017):

Vorteile: extrem hell,
lange Lebensdauer und
Bild aus kurzer Instanz



<https://www.turn-on.de/tech/ratgeber/laser-statt-lampe-was-bringen-laser-beamer-im-heimkino-65744>

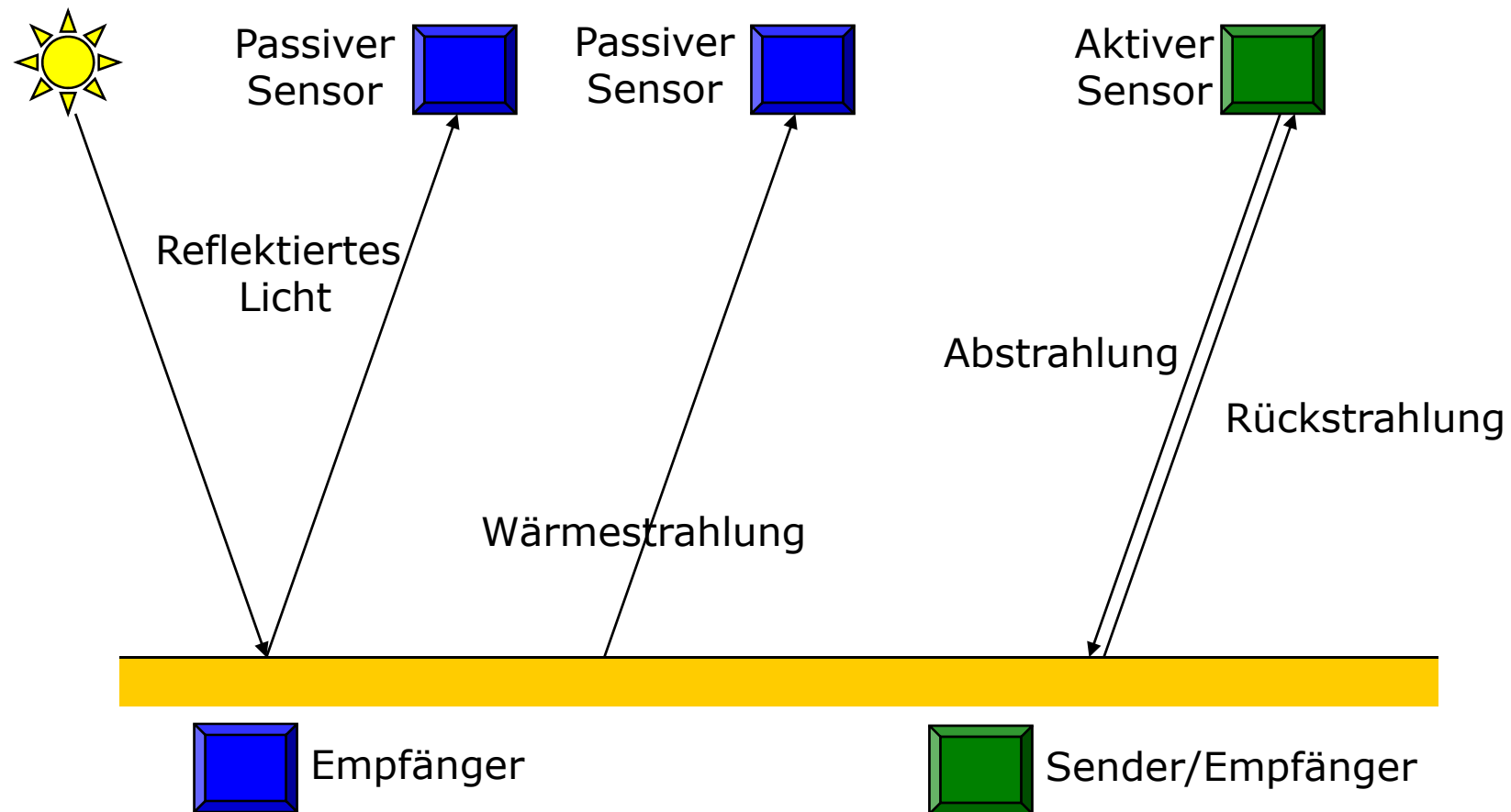
Digitale Bilder

- Ausgabe digitaler Bilder
- Gewinnung digitaler Bilder

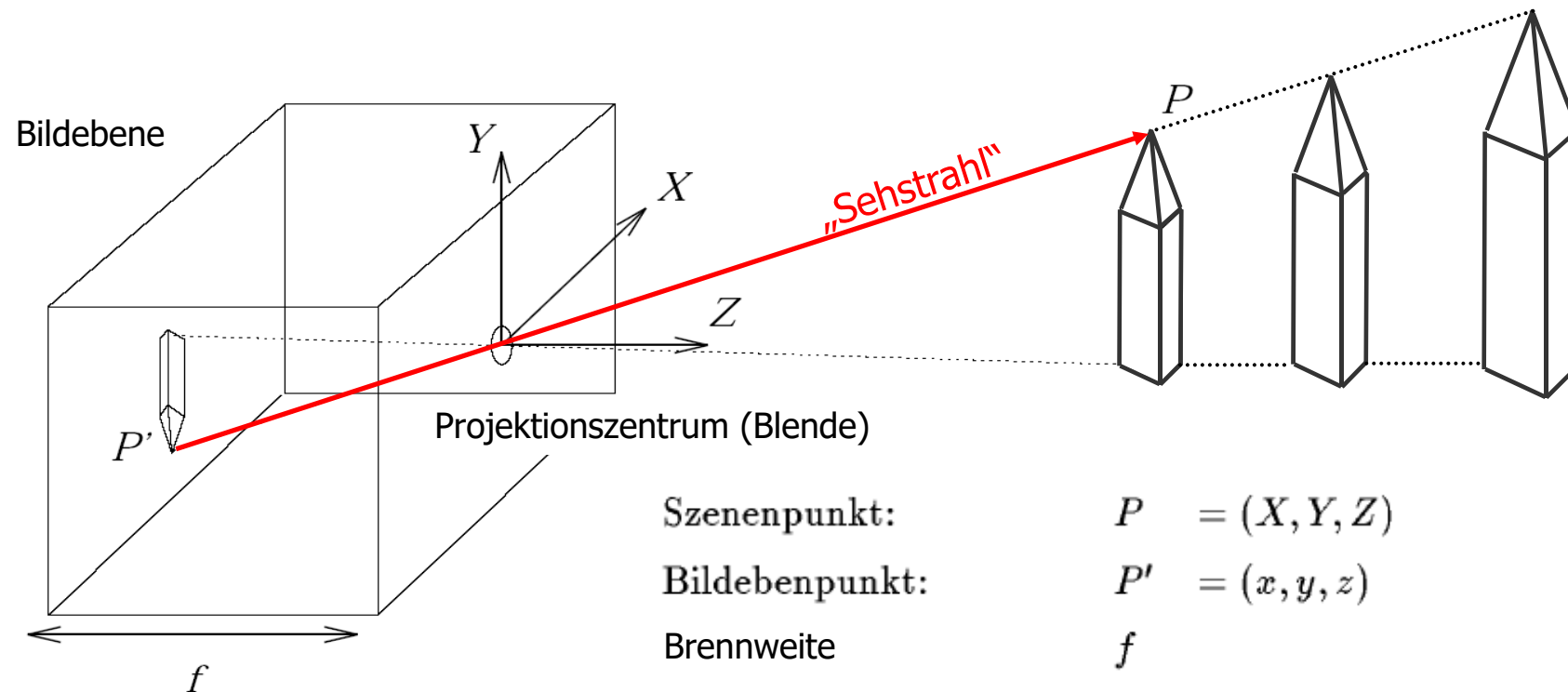
Gewinnung Digitaler Bilder

- Prinzip der Bildgewinnung
- Rechnerinterne Repräsentation von Farbbildern
- Örtliche Bildauflösung

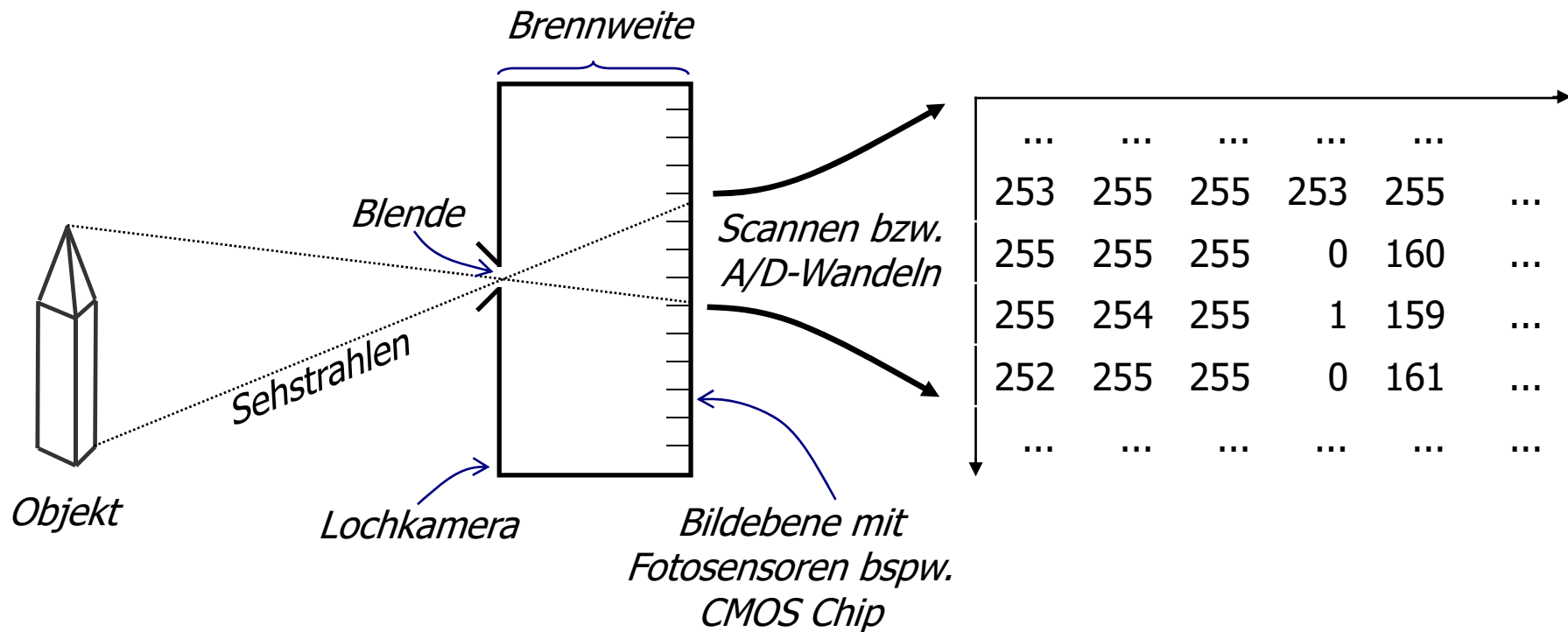
aktive und passive Sensoren



Einfachstes Modell einer Kamera: Die Lochkamera

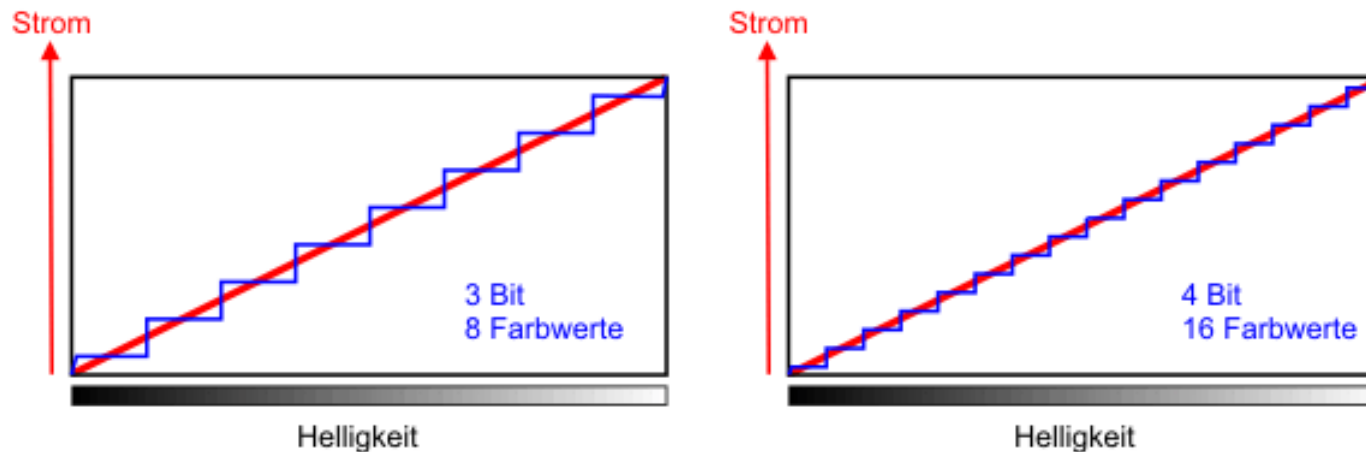


Funktionsweise einer Kamera im Modell



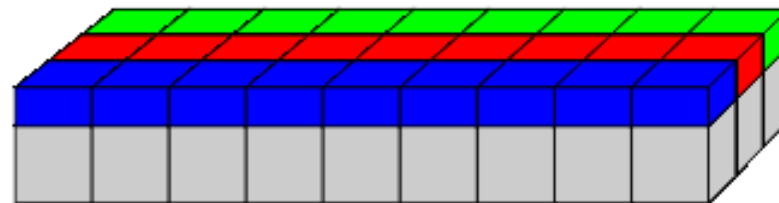
CMOS (complementary metal oxide semiconductor)

- Ladungsgekoppelte Fotosensoren
- zu finden in: Scanner, Digitalkamera, Handy
- wandelt Lichtenergie in elektrischen Strom um
- die Spannung wiederum wird mittels A/D-Wandler in eine Grauwert überführt:

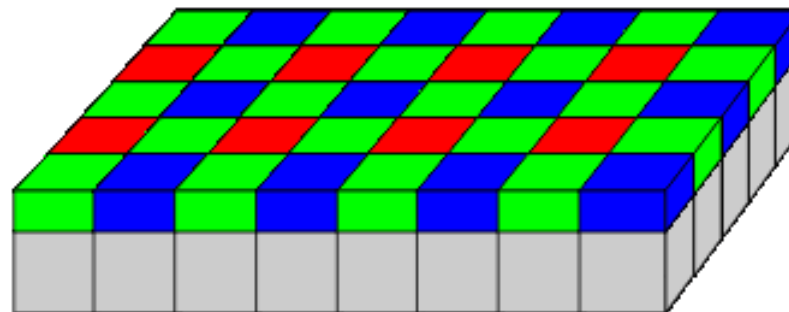


Gewinnung von Farbinformation durch Fotosensoren

- Anordnung der CMOS-Module in Zeilen bei bspw. Scannern



- Anordnung der CMOS-Chips als Baier-Matrix in Digitalkameras



Gewinnung Digitaler Bilder

- Prinzip der Bildgewinnung
- Rechnerinterne Repräsentation von Farbbildern
- Örtliche Bildauflösung

Rechnerinterne Repräsentation von Farbbildern

True-Color Farbauflösung:

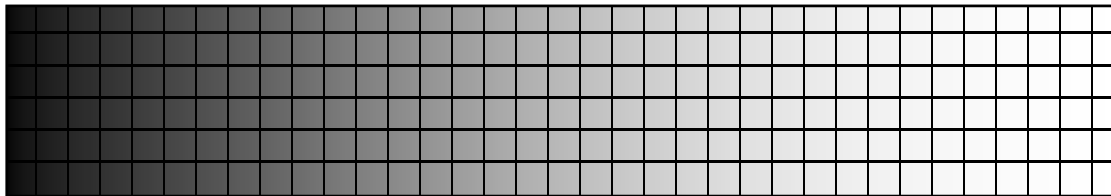
- Farbauflösung des menschlichen Sehsystems wird fast erreicht: 3 Byte (24 Bit) Speicherplatz pro Farbwert
- D.h. pro Farbkanal 1 Byte = 8 Bit = 256 Werte
- D.h. eine Auflösung von $256 \times 256 \times 256 > 16,7$ Mio. Farben

- Farben werden auf eine endliche Anzahl Farbwerte abgebildet: **Quantisierung** (Begriff der Bildverarbeitung für Diskretisierung)

Digitalisierung eines Bildes

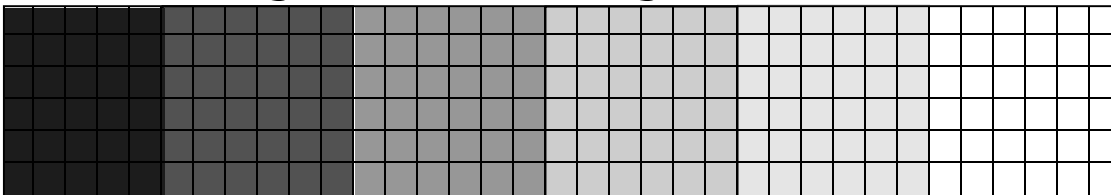
1. Rasterisierung:

Überlagerung des Originals durch ein quadratisches Gitter



2. Quantisierung:

Jeder Rasterfläche wird ein Grauwert des diskreten Wertebereichs zugewiesen. Dies geschieht durch Fotosensoren.



Genügt eine „True Color Farbauflösung“?

- Zur Darstellung von Farbtönen? Ja
- Zur Darstellung realer Helligkeitsunterschiede? Nein!
- Ein typischer Dynamikumfang (dunkelster Bereich im Vergleich zum hellsten) in Leuchtdichte (Helligkeitsempfinden einer genormten Fläche) ausgedrückt, ist:
1 : 10.000



Bild aus: https://de.wikipedia.org/wiki/High_Dynamic_Range_Image

Erzeugung von High Dynamic Range Images (HDRI) aus Belichtungsreihen



https://de.wikipedia.org/wiki/High_Dynamic_Range_Image

Aus Wikipedia: High Dynamic Range Image

- Ein **High Dynamic Range Image (HDRI, HDR-Bild**, „Bild mit hohem Dynamikumfang“) oder **Hochkontrastbild** ist eine Rastergrafik, die große Helligkeitsunterschiede detailreich wiedergibt. Digitale Bilder mit geringem Dynamikumfang werden als *Low Dynamic Range Images* oder LDR-Bilder bezeichnet.
- HDR-Bilder können von Spezialkameras aufgenommen, als 3D-Computergrafiken künstlich erzeugt oder aus einer Belichtungsreihe von Fotos mit niedrigem Dynamikumfang (*low dynamic range*, LDR) rekonstruiert werden. **Auf herkömmlichen Bildschirmen und Medien können sie nicht direkt dargestellt werden, sondern müssen in LDR-Bilder (8 Bit pro Farbkanal) umgewandelt werden**, indem die Helligkeitskontraste des HDR-Bildes verringert werden. Dieser Vorgang wird Dynamikkompression (englisch *tone mapping*) genannt....

High Dynamic Range Image

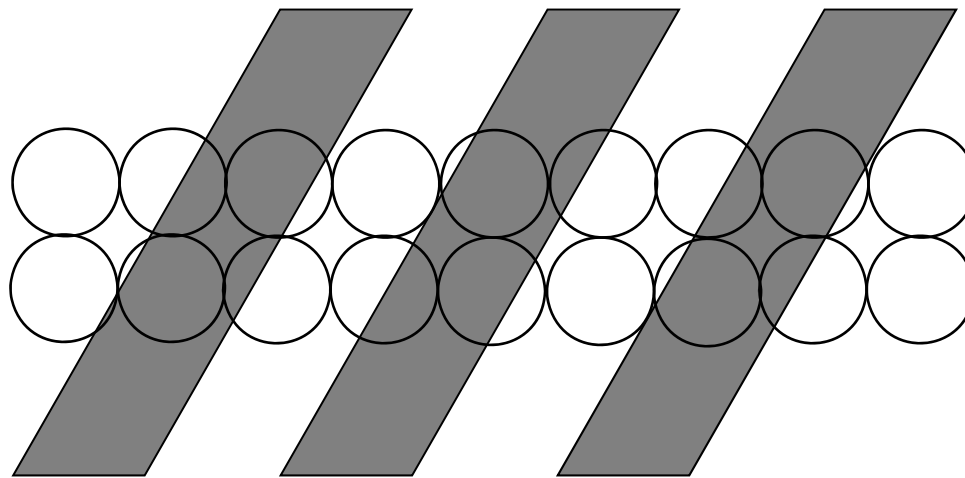
Mit einer lokalen Hintergrundbeleuchtung und einer Erweiterung der Kanalbreite auf 10-12 Bits und bspw. der OLED Displaytechnologie, kommt man der realen Helligkeitsdynamik sehr nahe:



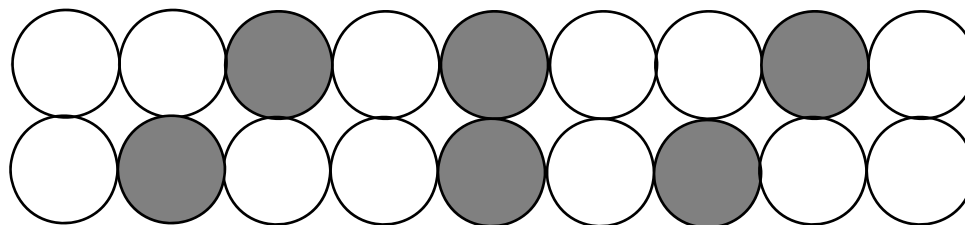
Gewinnung Digitaler Bilder

- Prinzip der Bildgewinnung
- Rechnerinterne Repräsentation von Farbbildern
- Örtliche Bildauflösung

Das Abtasttheorem von Shannon / Nyquist



Abzutastendes Muster



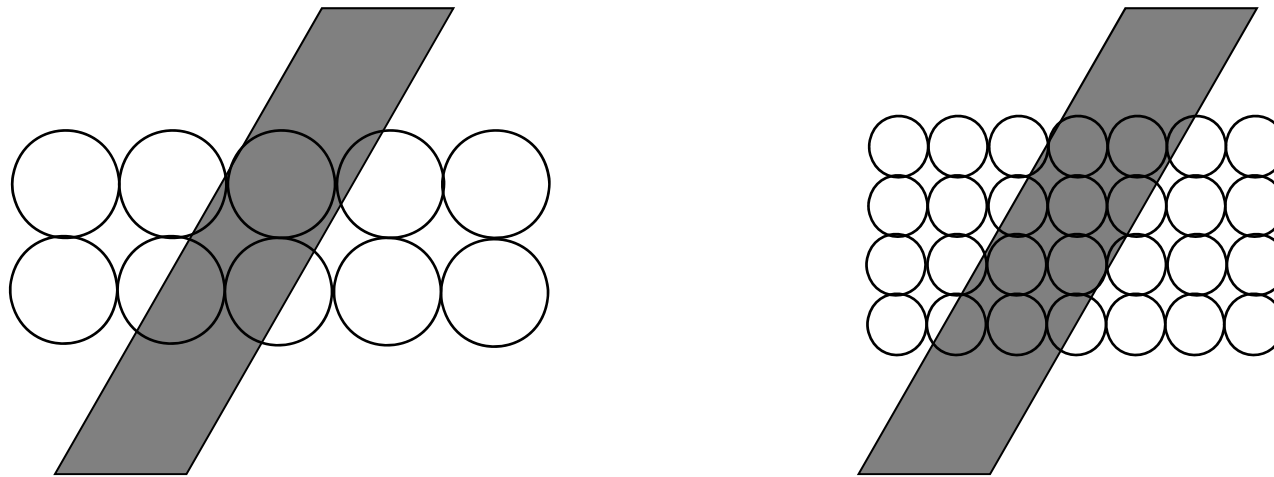
Falsch rekonstruiertes Muster

Das Abtasttheorem besagt:

Wir erhalten **nur dann** eine korrekte periodische Struktur, wenn wir in das **kleinste Element des Musters** mehr als zwei Abtastpunkte setzen.

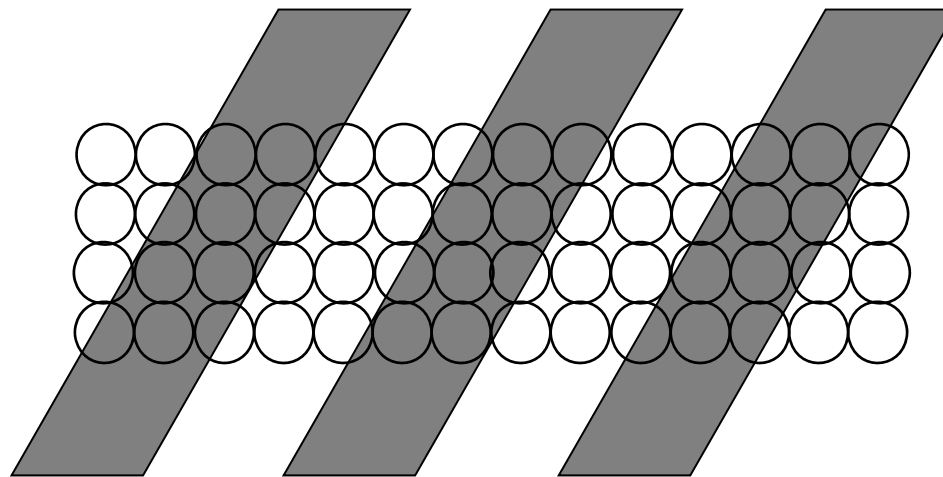
D.h. das kleinste zu rekonstruierende Bildelement gibt die Abtastdichte vor.

Prinzip des Abtasttheorems

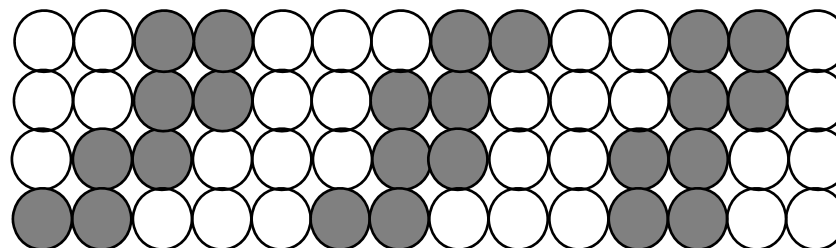


Abtastung bedeutet: Alle Information außerhalb der Gitterpunkte geht verloren.

Das Abtasttheorem von Shannon / Nyquist



Abgetastetes periodisches Muster



Korrekt rekonstruiertes Muster

Das kleinste zu rekonstruierende Bildelement gibt die Abtastdichte vor.

In unserem Fall heißt das, es mehr als 2 Abtastpunkte müssen einen Streifen abtasten.

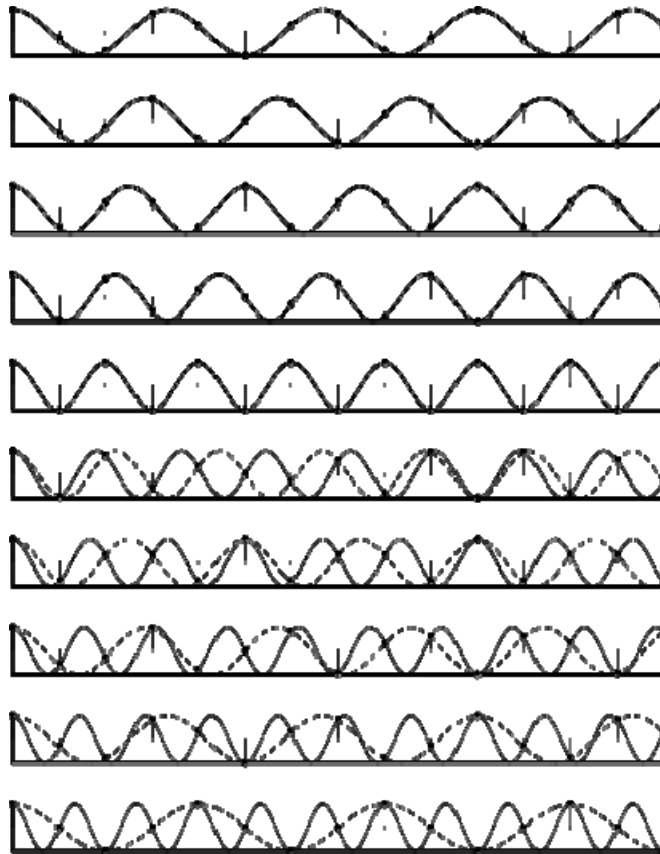
Das Abtasttheorem von Shannon und Nyquist

Bildinformation zerlegt in Zeilen, Spalten oder Blöcke kann in eine Reihe unterschiedlicher Frequenzen zerlegt werden. Daher muss auch beim Scannen das Abtasttheorem beachtet werden.

Es lautet wie folgt:

„Die Abtastfrequenz muss mehr als doppelt so hoch gewählt werden, wie das kleinste abzutastenden Signal.“

Das Abtasttheorem von Shannon und Nyquist



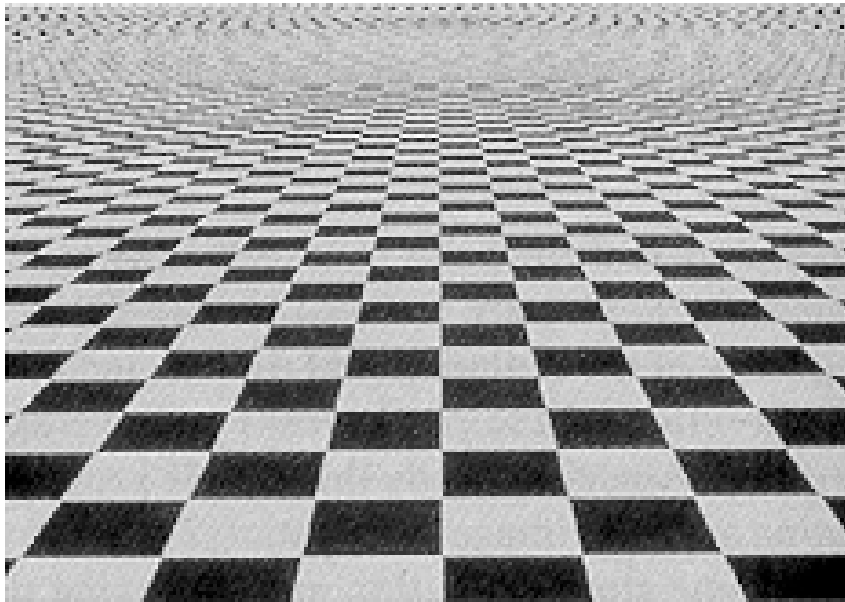
Ein Beispiel aus Wikipedia in dem die abzutastende Frequenz (senkrecht zur x-Achse verlaufende durchgezogene Wellen) von Zeile zu Zeile erhöht werden. Abtastpunkte sind konstant. **Rekonstruiertes Signal ist gestrichelt.**

In diesem Bereich ist die Abtastfrequenz mehr als doppelt so hoch, wie das kleinste abzutastende Signal.

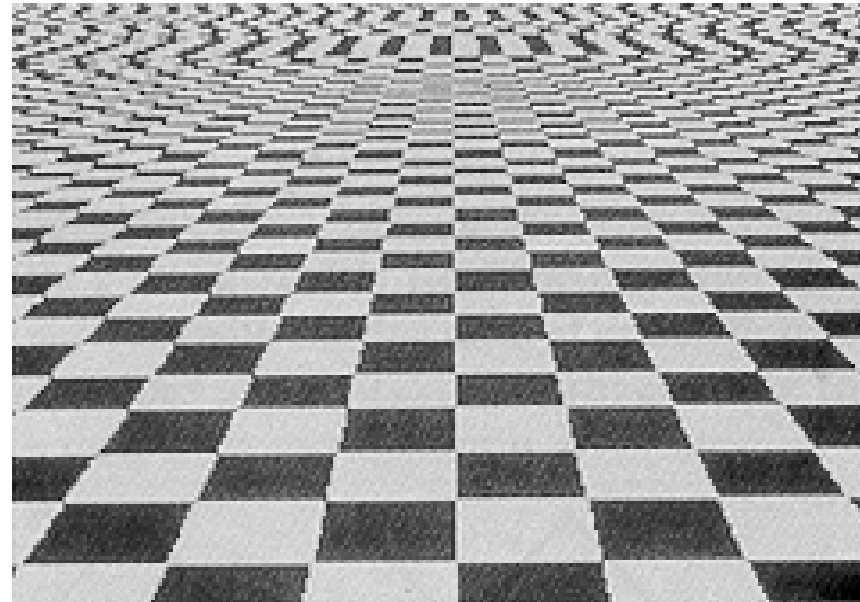
Ist also konform mit dem Abtasttheorem. Das Signal kann korrekt rekonstruiert werden.

Abtastfrequenz ist zu niedrig. Das Signal kann nicht korrekt rekonstruiert werden.

Artefakte infolge einer Unterabtastung: Moiré-Effekt



Originalbild



Moiré-Effekt infolge einer zu geringen Abtastfrequenz.

Artefakte infolge einer Unterabtastung: Moiré-Effekt



www.fotoschule-ruhr.de/images/Moiree_257.jpg

Gewinnung Digitaler Bilder

- Prinzip der Bildgewinnung
- Auflösung von Helligkeit und Pixelfarbe
- Örtliche Bildauflösung

Alternative zur Zuordnung Helligkeitswerte zu Farbwerte: Die Farbtabelle – Lock Up Table

	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/Pixel
im Framebuffer

Grauwert
des Bildes
wird als
Index
interpretiert

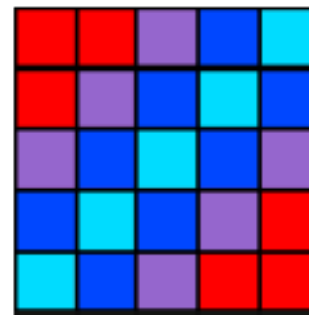
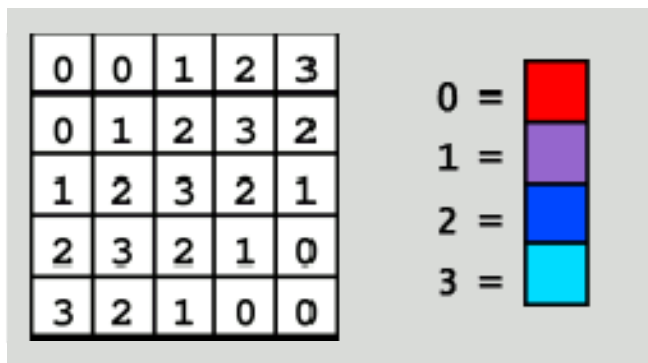
mit LUT: 8 Bit/Pixel
im Framebuffer

Breite dieser LUT: 24 Bit

Länge dieser LUT: 8 Bit

Die Farbtabelle genutzt zur Komprimierung

- LUT = Look Up Table (Farbtabelle)
- Ausgewählte Farben (Bsp. True Color) können Speicherplatzsparend abgelegt werden



Index	r	g	b
0	255	0	0
1	145	30	152
2	0	0	255
3	0	255	255

Breite dieser LUT: 24 Bit

Länge dieser LUT: 4

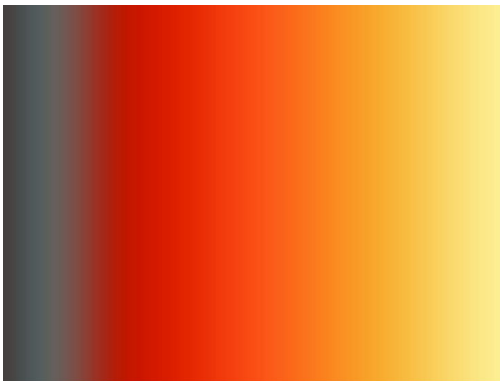
Ein Anwendungsbeispiel einer Farbtabelle: Visualisierung von Lava



Simulation, Sandra Ohmayer



Nyirayongo Vulkan, Tom Pfeiffer



Die Farbtabelle (links) wurde von Frau Ohmayer auf Basis von realen Vulkanaufnahmen (bspw. Bild rechts oben) erstellt.

Pseudofarbbild

Bei einem Pseudofarbbild ist das Originalbild ein Grauwertbild (also 1 Byte pro Pixel). Die Grauwerte werden dann mittels einer Farbtabelle bestimmten Farbtönen zugeordnet.

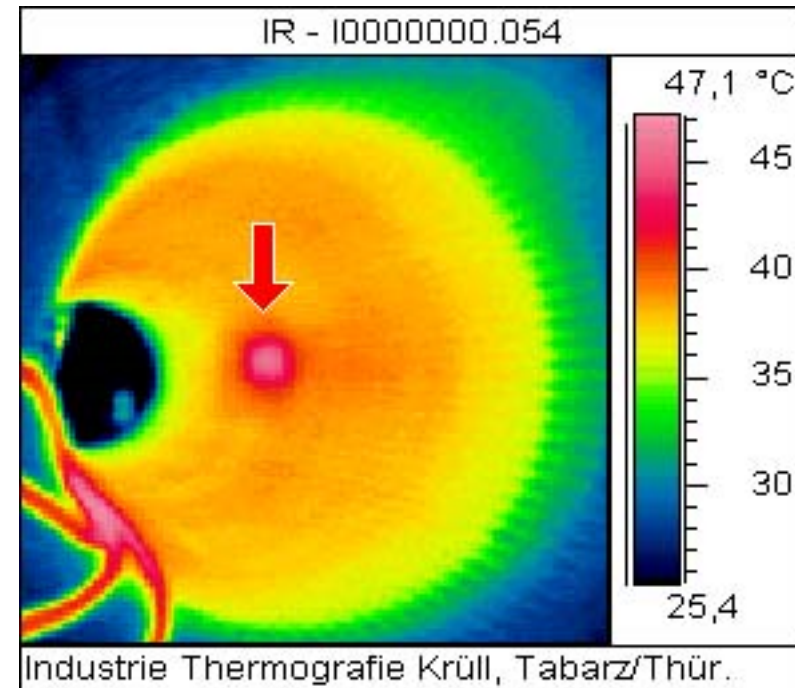
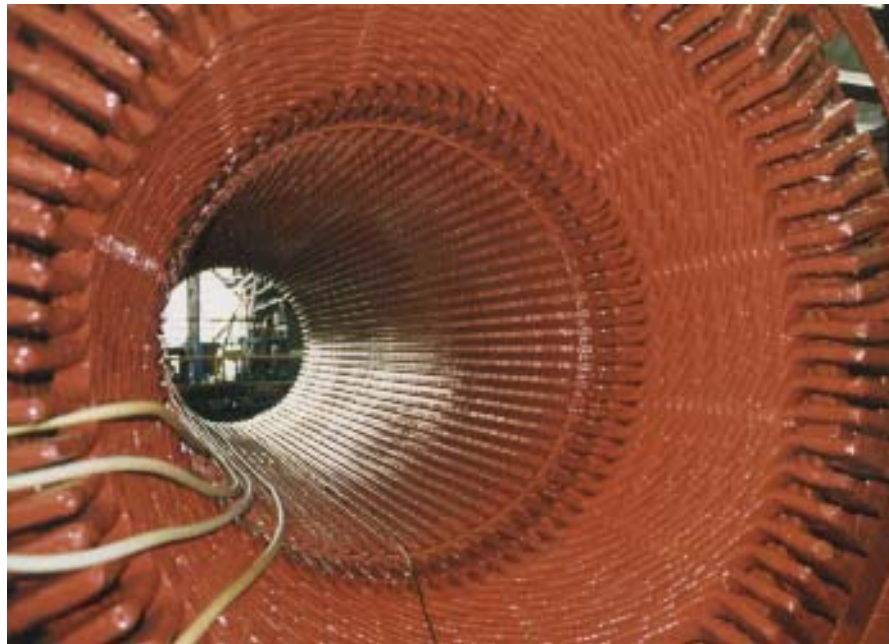
Bild aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Falschfarben>



Pseudofarbbild (bestehend aus max. 256 Grautönen)

Verwendete
Farbtabelle

Pseudofarbdarstellung



Quelle: Industrie Thermografie Krüll

Infrarotmessungen am Beispiel eines fehlerbehafteten 200 MW Generatorständers
(der Pfeil zeigt auf einen magnetischen Einschluss im Blechpaket)

Falschfarbenbild



- Die Farbkanäle des Originalbildes werden anderen Farben zugeordnet
- Analoges Falschfarbenbild von Franz Marc aus:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Falschfarben>

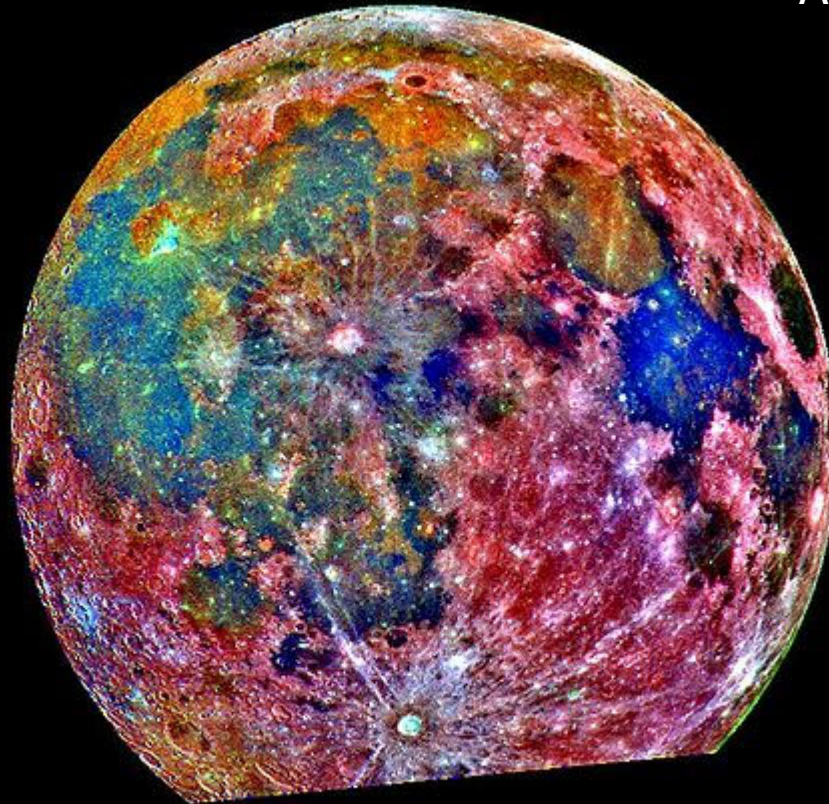
Falschfarbendarstellung

- Verwendung fast nur in der Fernerkundung.
- RGB-Kanäle werden mit bestimmten Wellenspektren „gefüttert“. So können für uns unsichtbare Wellenlängen sichtbar gemacht werden
- Bspw. auch Infrarotstrahlung (rechts Infrarote + Grün + Blau) aus:
<http://samoht.org/fotografie/falschfarben/50479895380dfca03/d002.html>



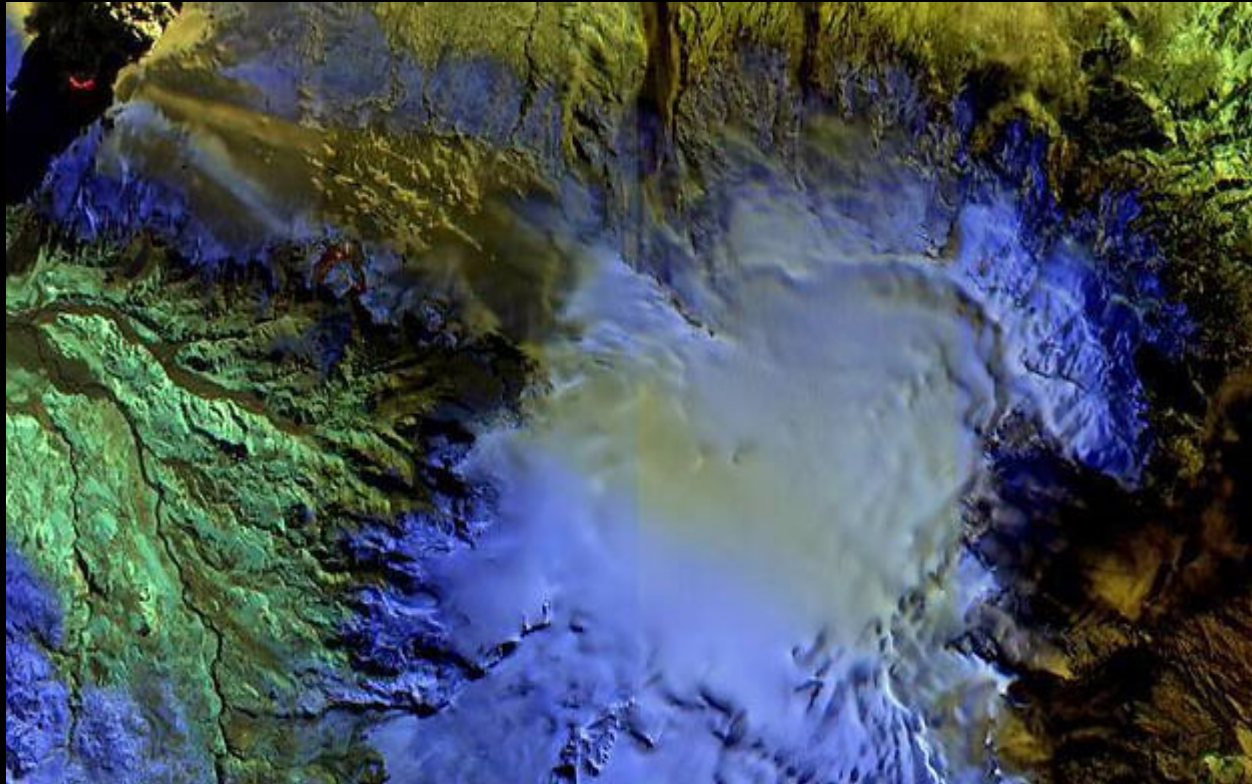
Falschfarbenbild vom Mond

Aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Falschfarben>



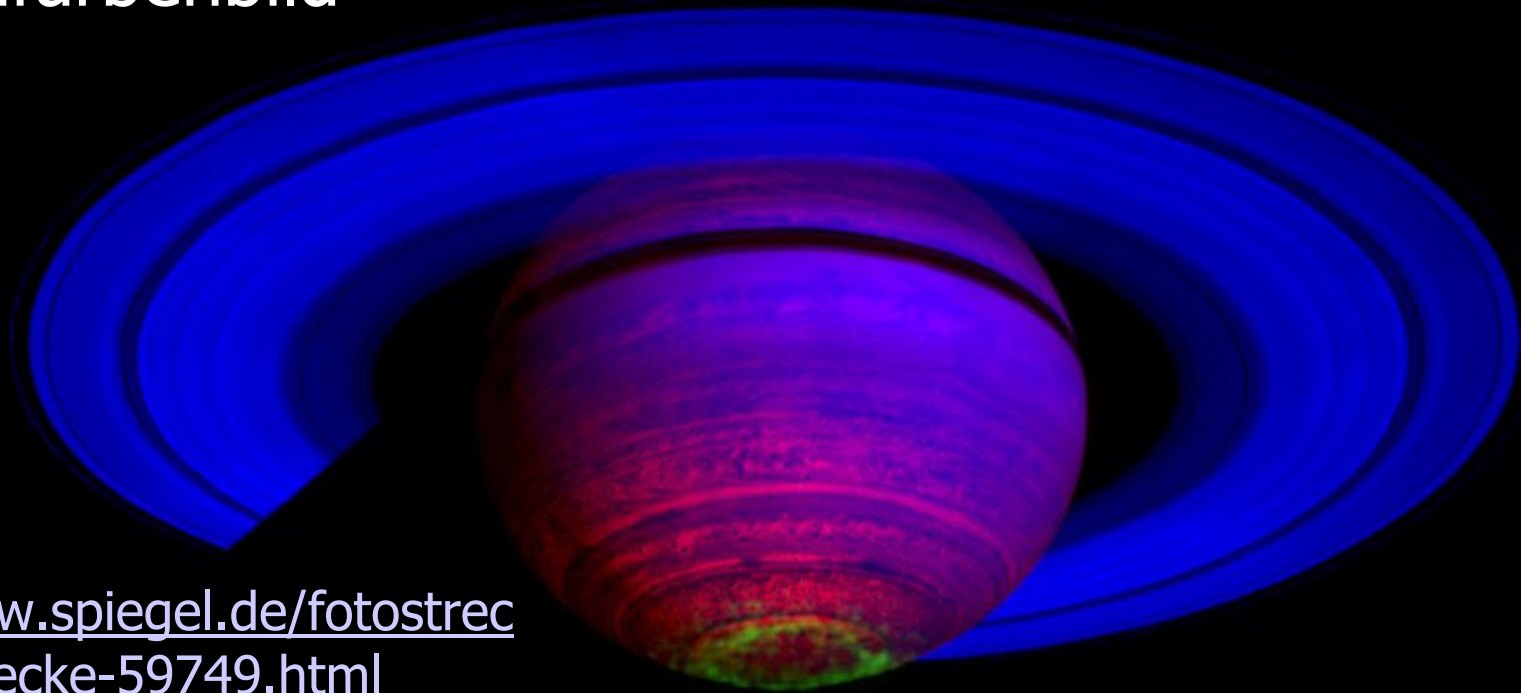
Diese Falschfarbenfotographie ist aus 15 Bildern des Mondes, die durch drei Farbfilter mit der Kamera der Galileo-Sonde während der Durchquerung des Erde-Mond-Systems am 8. Dezember 1992 aufgenommen wurden, zusammengesetzt. Die Falschfarbendarstellung erleichtert die Interpretation der Oberflächenzusammensetzung des Mondes. Regionen, die rot erscheinen, sind im allgemeinen Hochlandgebiete, während blaue bis orangefarbene Schattierungen alte vulkanische Lavaflüsse der Mare anzeigen.

Falschfarbendarstellung des isländischen Vulkans



[http://www.focus.de/fotos/mai-eine-falschfarbenaufnahme-des-
islaendischen-vulkans_mid_794028.html](http://www.focus.de/fotos/mai-eine-falschfarbenaufnahme-des-
islaendischen-vulkans_mid_794028.html)

Falschfarbenbild



<http://www.spiegel.de/fotostrecke/fotostrecke-59749.html>

Polarlichter auf dem Saturn. Das Falschfarbenbild zeigt am Pol des Saturn grün dargestellte Polarlichter.

Falschfarbenbild



http://www.spektrum.de/sixcms/detail.php?id=853896&template=d_sdwv_bildergalerie&z=798888&skip=6

Falschfarbenbild, das die Polarlichter über dem Jupiter zeigt