

3. Farbe, Textur und Tiefenwahrnehmung

3.1. Farbe

- seit Jahrhunderten Thema von Physikern, Physiologen, Psychologen und Philosophen
- bis heute nicht vollständig verstanden und durchdrungen

Meilensteine der geschichtlichen Entwicklung unserer Vorstellungen von Farbe:

(Krömker 2001)

◆ **Newton** (1666-1672): Dispersion (Farbzerstreuung des Lichtes); additive Mischung

◆ **Goethe**: "naturgemäße Ordnung" der Farben

"Auf alles was ich als Poet geleistet habe, bilde ich mir garnichts ein. ... Daß ich aber in meinem Jahrhundert der einzige bin, der das Rechte weiß, darauf tue ich mir etwas zugute, und ich habe daher ein Bewußtsein der Superiorität über viele."

◆ **Maxwell, Young, Helmholtz**: Farbenmischapparate

◆ **Grassmann** (1853): Grassmannsche Gesetze

Der Streit zwischen Newton und Goethe (kurz: analytische vs. ganzheitlich-phänomenologische Herangehensweise) beschäftigt z.B. die Anthroposophen bis heute!

Beachte:

- Farbe ist das Ergebnis der Wahrnehmung elektromagnetischer Wellen durch Netzhaut und Gehirn.
- Lichtstrahlen besitzen keine Farbe, nur eine spektrale Leistungsverteilung (spectral power distribution, SPD), die angibt, welche Wellenlänge mit welchem Anteil vertreten ist.
- SPDs existieren in der physikalischen Welt, Farbe nur im Gehirn.
- Lichtstrahlen mit verschiedenen SPDs können den gleichen Farbreiz auslösen (Metamerie)!

Die Young-Helmholtz-Theorie

Der englische Physiker Thomas Young stellte 1801 in einem Vortrag die Hypothese auf, dass die Farbwahrnehmung beim Menschen auf die Verarbeitung von drei unabhängigen Variablen beschränkt sein muss.

Hermann von Helmholtz formulierte als erster exakt die Dreikomponenten-Theorie des Farbsehens. Er vermutete, dass es im visuellen System drei verschiedene Kanäle mit maximaler Empfindlichkeit im roten, grünen und blauen Spektralbereich geben müsse

1964 haben Mac Nichol und Wald als erste das Absorptionsspektrum der einzelnen Zapfen gemessen.

(Woessner, o.J.)

Grassmannsche Gesetze (1853)

Erstes: Zwischen je vier Farben besteht immer eine eindeutige lineare Beziehung. Eine Farbe braucht zu ihrer Beschreibung drei voneinander unabhängige Bestimmungsstücke, d.h. die Farbe ist eine dreidimensionale Größe.

- Farben können als Vektoren eines dreidimensionalen Vektorraumes aufgefasst werden.
- Die Vektoren dieses Farbraums heißen **Farbvalenzen**.
- Die Länge eines Vektors ist ein Maß für die Leuchtdichte und heißt **Farbwert**, seine Richtung bestimmt die **Farbart**.

Folgerung:

- ◆ Wie in jedem dreidimensionalen Vektorraum benötigt man drei voneinander linear unabhängige Basisvektoren (**Primärvalenzen**), um den Raum aufzuspannen.
- ◆ In diesem Fall bedeutet linear unabhängig, daß eine **Primärvalenz nicht durch Mischung** der beiden anderen Primärvalenzen darstellbar ist.

weitere Folgerung: Farbmischung

- ◆ Mit drei Primärvalenzen R, G, B läßt sich also für jede Farbvalenz F eine Farbgleichung aufstellen:

$$F = r R + g G + b B$$

- ◆ Mit Farbvalenzen kann man also wie mit Vektoren rechnen, insbesondere ist die Umrechnung der Darstellung bezüglich verschiedener Primärvalenztripel (Basiswechsel) möglich

Grassmannsche Gesetze (Fortsetzung)

Zweites: Gleich aussehende Farben ergeben mit einer dritten Farbe stets gleich aussehende Farbmischungen.

Das heißt, dass es bei der Beurteilung von Gleichheit zweier Farben

- **nur** auf die Farbvalenz,
- **nicht** auf ihre spektrale Verteilung ankommt.

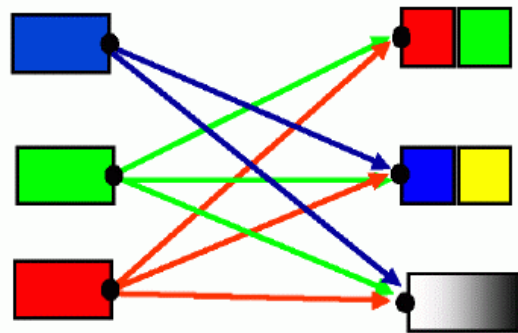
Die spektrale Verteilung und die Wahl der Primärvalenzen spielen keine Rolle.

(Krömker 2001)

Aber: die Situation ist in Wirklichkeit etwas komplizierter!

Die Hering'sche Gegenfarbtheorie

- Verschiedene Befunde liefern Belege dafür, dass nicht alleine die von den drei Rezeptorarten produzierten Erregungsmuster den Farbeindruck bestimmen, sondern dass auf höherer neuronaler Ebene eine Weiterverarbeitung der Rezeptorsignale stattfindet.
- Umsetzung der 3 Farben in 2 Farb- und eine Helligkeitsinformation



(Woessner, o.J.)

Verschiedene Farbmodelle bauen darauf auf.

Fakten:

- es gibt drei verschiedenen Zapfen
 - ➔ Mischung dreier unabhängiger Primärfarben ausreichend (Tri-Stimulus)

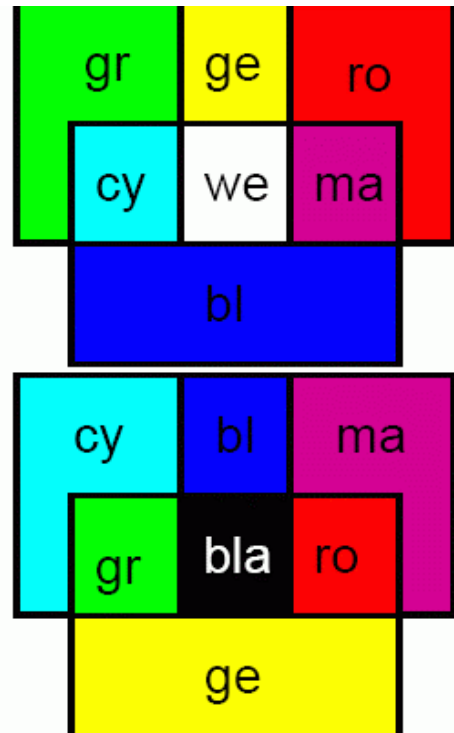
Probleme:

- Spektrale Empfindlichkeit der Zapfen nicht unabhängig
- Zapfenverteilung in Fovea unterscheidet sich von Verteilung auf restlicher Retina

Farbmischung

additiv: zwei Farbreize überlagern sich durch Addition der spektralen Leistungsspektren (z.B. Bildschirm)

subtraktiv: aus dem weißen Spektrum werden mehrere Farben absorbiert (z.B. Drucker)



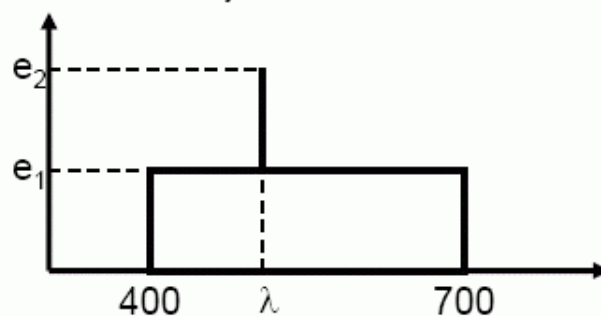
Charakteristika der Wahrnehmung von Farbe

Farbmessung

dominante Wellenlänge (dominant wavelength):
Wellenlänge λ eines Metamers, das aus weiß und einer Spektrallinie zusammengesetzt ist

Erregungsreinheit (excitation purity): $E = \frac{e_2}{e_1}$

Luminanz (luminance)



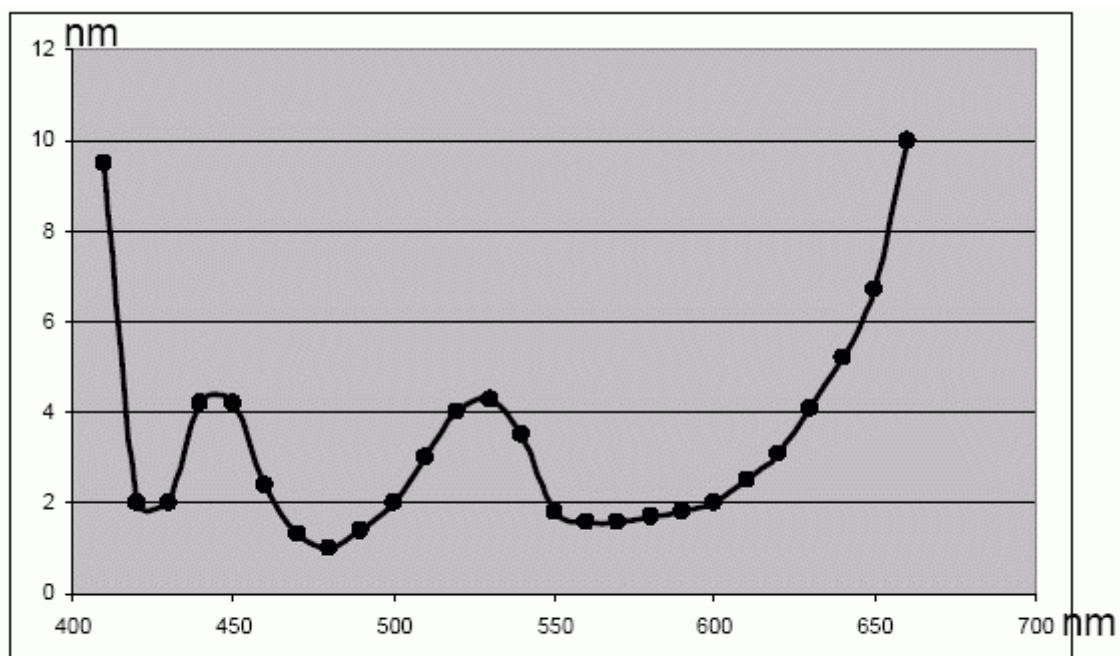
Farbton (hue): Gerade noch erkennbare Differenz zweier Wellenlängen ca. $\Delta\lambda=4\text{nm}$ insgesamt ca. 128 verschiedene Farbtöne

Sättigung (saturation): bei 575nm ca. 16 Schritte unterscheidbar, an den Ränder des Spektrums ca. 23 Schritte

Helligkeit (lightness):

$$Y = k \int P(\lambda) \cdot \bar{y}_\lambda d\lambda \quad k = \frac{100}{\int P_{\text{weiss}}(\lambda) \cdot \bar{y}_\lambda d\lambda} = 680 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

\bar{y}_λ entspricht der Helligkeitsreaktion des menschlichen visuellen Systems in Abhängigkeit von der Wellenlänge.



Gerade noch wahrnehmbare Unterschiede in der Wellenlänge über das Spektrum aufgetragen

(Bartz 2005)

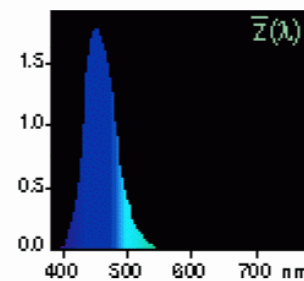
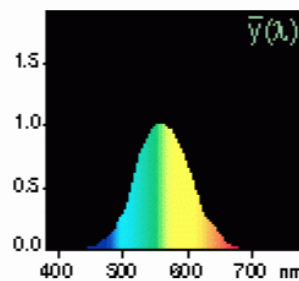
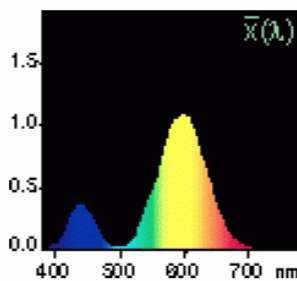
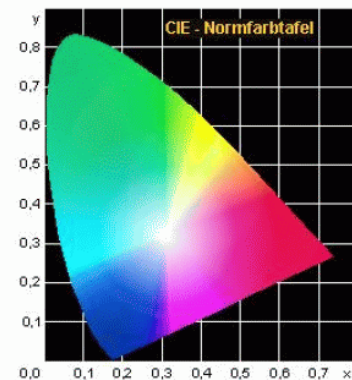
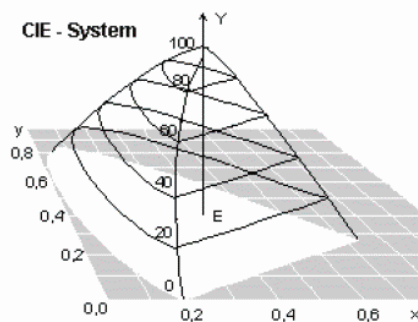
Das CIE-Normfarbsystem

1931 definierte die *Commission Internationale de l'Éclairage* (Internationale Beleuchtungskommission), abgekürzt CIE, einen Standardsatz von Primärfarben.

Jeder andere Satz von Primärfarben mit der Eigenschaft, dass sich eine der drei Farben nicht durch die anderen beiden mischen lässt könnte genau so benutzt werden.

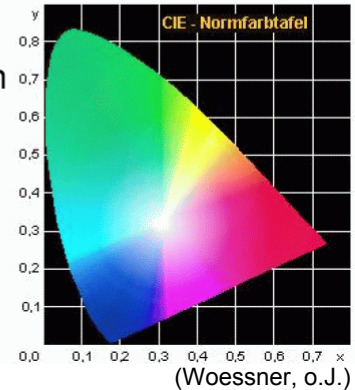
Durch Experimente mit einer großen Anzahl von Beobachtern wurde von der CIE der bis heute verwendeter Standardsatz von Primärfarben festgelegt.

CIE-System

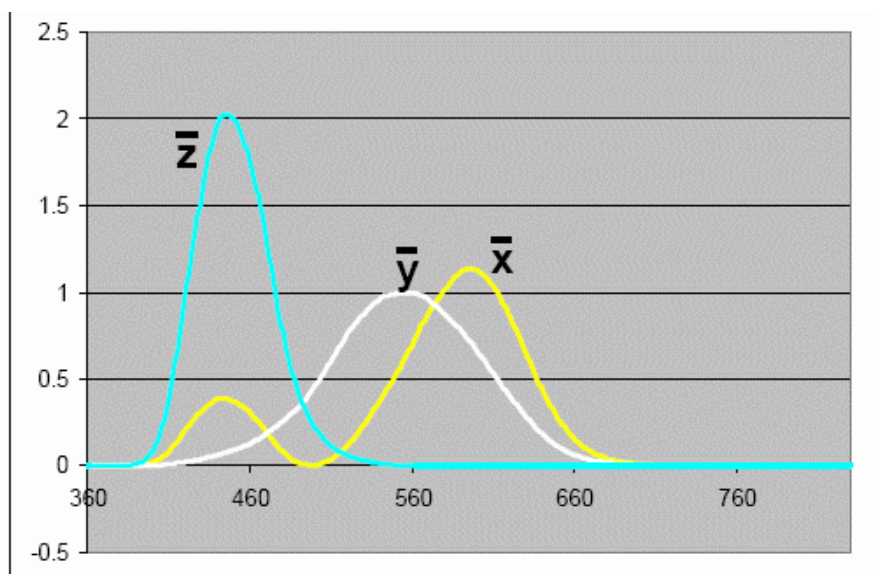


3 Koordinaten X, Y, Z

- Das CIE-System beschreibt mehr Farben, als der Mensch sehen kann
- Die äußere, gebogene Linie des Diagramms umschließt die sichtbaren Farben
- Nicht alle für das bloße Auge sichtbare Farben lassen sich technisch erzeugen, weil man für die Grundfarben an die verfügbaren Pigmente gebunden ist.
- Eine Teilmenge dieser Farben lässt sich durch Kombination von Pigmenten auf Papier drucken
- Eine andere Teilmenge lässt sich auf Bildschirmen bzw. mittels Projektoren erzeugen.



- X, Y, Z haben stets positive Werte
- Y entspricht der Luminanz (Helligkeit)
- X und Z entsprechen ungefähr dem rot-grün- bzw. blau-gelb-Unterschied (auf Basis von Versuchen standardisiert)



Farbabgleichsfunktionen (Colormatching Functions) für X, Y und Z (CIE 1932)

- Gegeben: spektrale Leistungsverteilung einer Farbe C
Berechnung der Anteile von X , Y , Z aus der spektralen Leistungsverteilung $p(\lambda)$ von C :

$$X = k \int P(\lambda) x_{\lambda} d\lambda$$

$$Y = k \int P(\lambda) y_{\lambda} d\lambda$$

$$Z = k \int P(\lambda) z_{\lambda} d\lambda$$

- dabei k als Korrekturfaktor

(Schlechtweg 2001)

CIE XYZ (1932)

Primärvalenzen: Y (Helligkeit), X und Z

Projektive Transformation in Ebene:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

→ Farbvariablen: (x, y, Y)

(Bartz 2005)

Im CIE-Farbdigramm (Normfarbtafel, *chromaticity diagram*) wird der Helligkeitsanteil Y weggelassen.

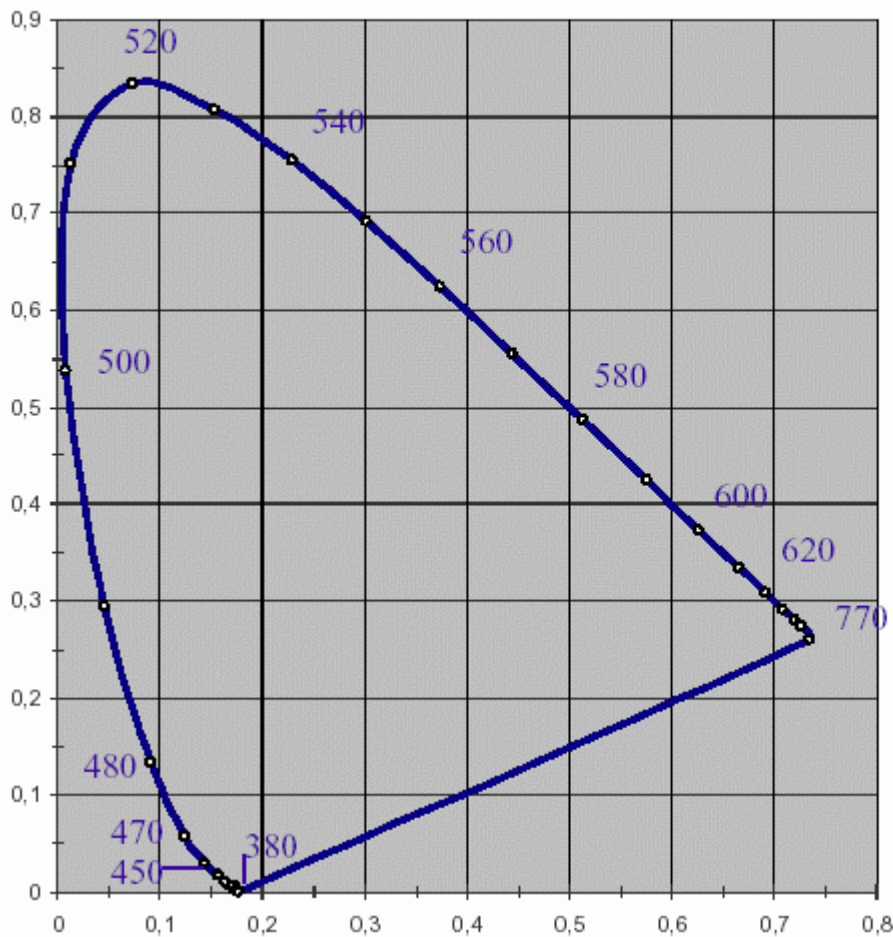
Die physikalisch reinen Spektralfarben bilden eine geschwungene, etwa parabelförmige Kurve ("spektraler Lokus") im x, y -Diagramm.

Diese Kurve ist nicht geschlossen (rot \neq blauviolett!).

Auf der Verbindungslinie der Enden liegen *keine* reinen Spektralfarben, sondern Mischfarben aus Rot und Blauviolett ("Purpurgerade").

Alle wahrnehmbaren Farben liegen innerhalb des durch die reinen Spektralfarben und durch die Purpurgerade gegebenen geschlossenen Kurvenzugs.

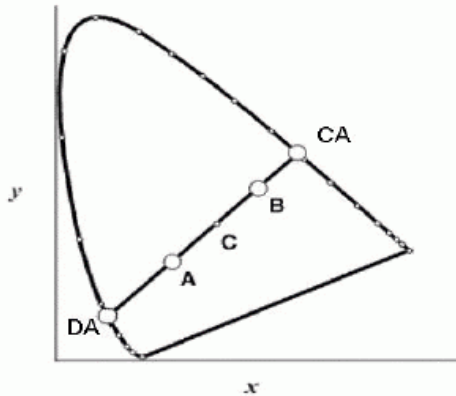
Normfarbtafel - Chromaticity Diagram



Zahlen auf der Kurve: Wellenlängen in nm. (aus Krömker 2001)

Das Innere der Normfarbtafel ergibt sich durch additive Farbmischung aus den Randfarben (ganz innen = weiß).

CIE (1932)

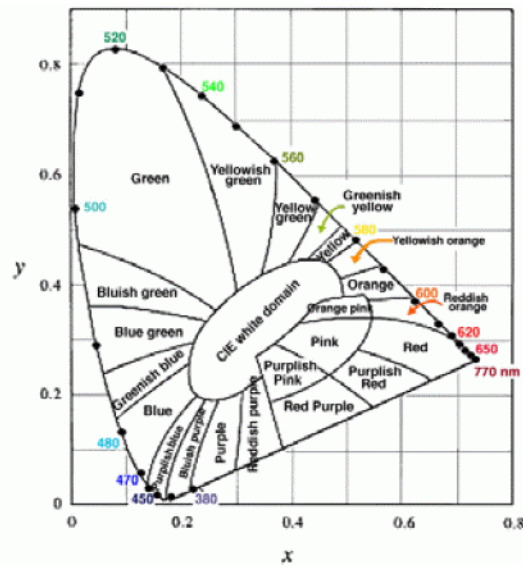
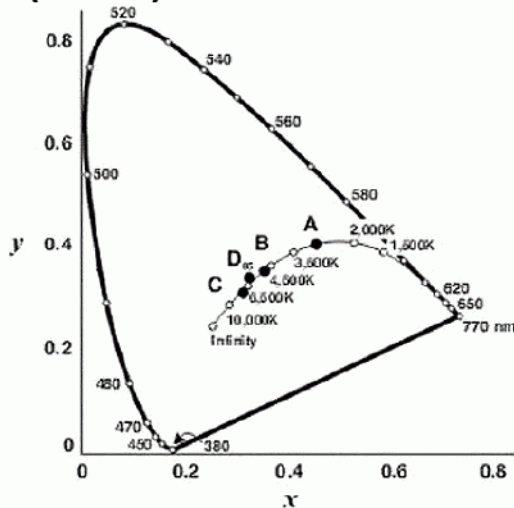


Dominante Wellenlänge: Schnitt der Linie vom Weißpunkt durch eine Farbe mit dem spektralen Lokus

Erregungsreinheit: Länge Weißpunkt zu Farbe über Länge Weißpunkt zu dominanter Wellenlänge

Gegenfarbe: Farbe auf anderer Seite des Weißpunkts mit gleichem Abstand zum Weißpunkt

CIE (1932)



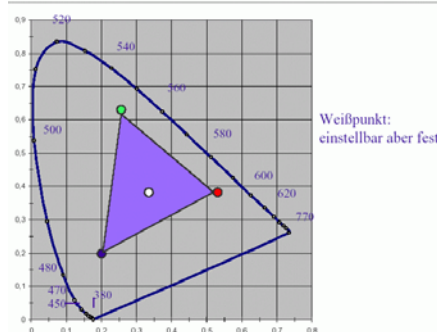
Links: Verschiebung des Weißpunkts im CIE-Diagramm in Abhängigkeit der Farbtemperatur; Rechts: Farbbereiche

(Bartz 2005)

Die Grundfarben (R, G, B) der üblichen Monitore sind *keine* reinen Spektralfarben, d.h. sie liegen nicht auf der Außenlinie.

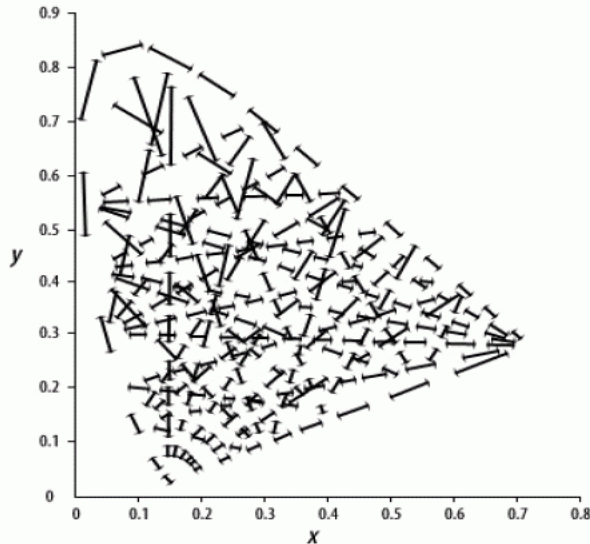
Folgerung: Es sind *nicht* alle Farben des Diagramms durch Mischung aus diesen Farben darstellbar, sondern nur diejenigen innerhalb des von den Grundfarben aufgespannten Dreiecks! **Inneres des Dreiecks = Gamut des Monitors.**

Monitorphosphore: Primärvalenzen



Modifikation des CIE-Normfarbsystems:

CIE (1964/76)

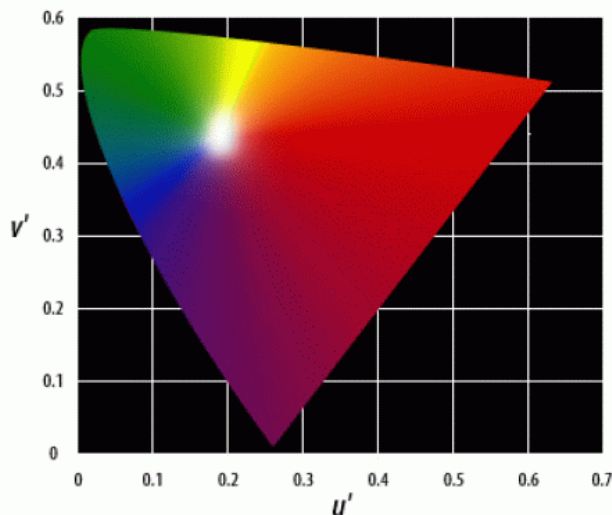


- Farbdifferenzen sind in verschiedenen Bereichen verschieden gut wahrzunehmen

→ Transformiere x,y in einen bezüglich der Wahrnehmungsfähigkeit isometrischen Farbraum

erster Ansatz:

CIE $u'v'Y$ (1976)



$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

- Variablen: (u' , v' , Y)
- Transformation ist projektiv und erhält Geraden

Verbesserung:

CIE L*u*v* (1976)

Definiere empfindungsbezogene Helligkeit und transformiere (u',v') so, dass weiß bei (0,0):

$$L^* = 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_{\text{weiss}}}} - 16$$

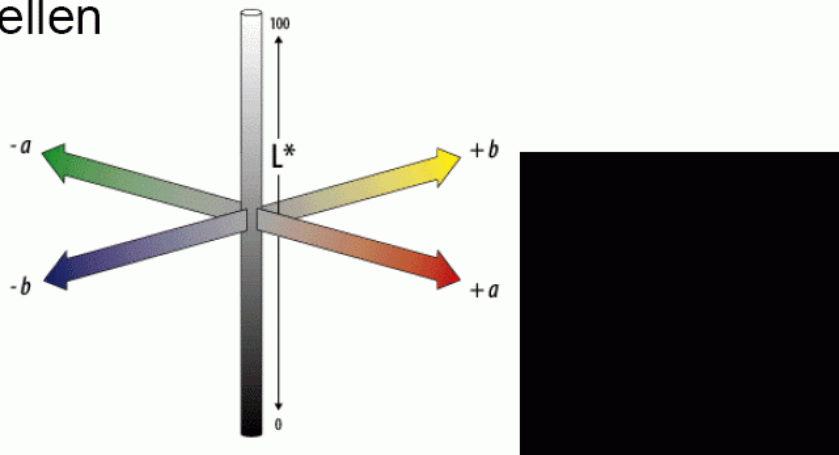
$$u^* = 13L^* \cdot (u' - u'_{\text{weiss}})$$

$$v^* = 13L^* \cdot (v' - v'_{\text{weiss}})$$

psychometrische Buntheit: $C_{uv}^* = \sqrt{u^{*2} + v^{*2}}$

CIE L*a*b* (1976)

Wie L*u*v*, nur dass a*b* den Farbton und Sättigung empfindungsbezogen auf subtraktive Mischung darstellen



CIE L*u*v* / L*a*b* (1976)

Farbabstand: berechnet man den Farbabstand

$$\Delta E_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

Oder

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

so kann man zwei Farben gerade noch unterscheiden, wenn der Abstand eins beträgt.

(Bartz 2005)

Kritik an CIELAB und CIELUV: große Farbabstände werden unkorrekt bestimmt, Farbabstände für kleine Objekte ($< 2^\circ$) werden fehlerhaft bestimmt.
Somit Entwicklung noch nicht abgeschlossen.

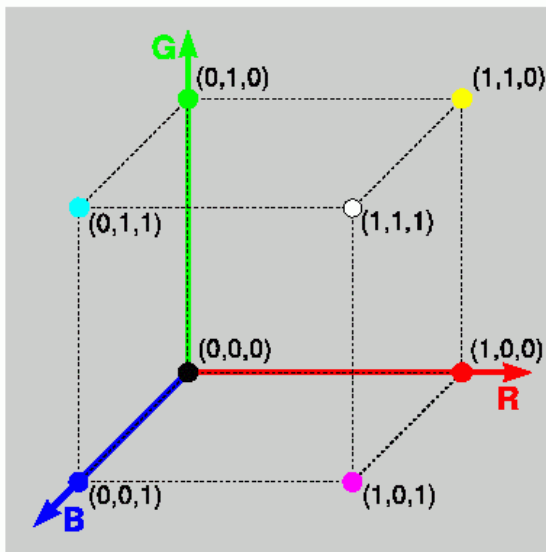
Andere Farbsysteme:

Farbmodelle für Computergraphik

- CIE-System ist physikalisch basiert
- für Computergraphik: bequeme Spezifikation von Farben
- **Farbmodell:** Spezifikation eines 3D-Koordinatensystems und einer Untermenge davon, in der alle sichtbaren Farben eines bestimmten Farbbereiches (Gammut) liegen.
- Farbmodell enthält nicht notwendigerweise alle wahrnehmbaren Farben
- hardwareorientierte Farbmodelle: RGB, CMY, YIQ, . . .
- benutzerorientierte Farbmodelle: HSV, HLS, . . .

(Schlechtweg 2001)

Farbmodelle – RGB



- additives Farbmodell
- für Ausgabe auf Farbbildschirmen
- Grundfarben Rot, Grün, Blau
- RGB-Einheitswürfel

Alle darstellbare Farben sind Punkte eines Einheitswürfels. Auf den positiven Halbachsen liegen die Primärfarben :

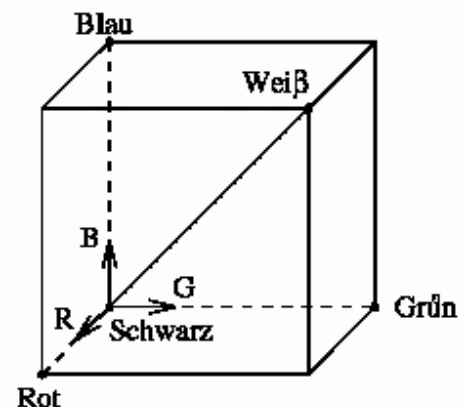
Rot, **Grün** und **Blau**.

Erste Eigenschaften:

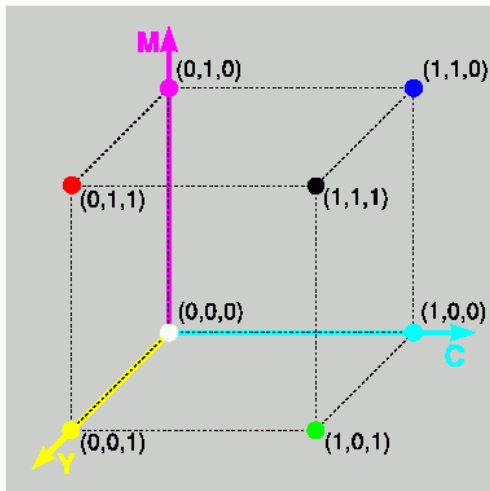
Schwarz liegt im Ursprung $(0,0,0)$

Weiss im Punkt $(1,1,1)$

Grauwerte darstellbar durch gleichgroße Anteile von R, G und B, liegen **auf der Hauptdiagonalen** des Einheitswürfels



Farbmodelle – CMY(K)



- subtraktives Farbmodell
- für Ausgabe auf Druckern
- Grundfarben Türkis (Cyan), Magenta, Gelb (Yellow)
- beim Druck Hinzunahme von reinem Schwarz (K) – Vierfarbdruck

Konvertierung RGB ↔ CMY

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

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

- gilt nur theoretisch
- kompliziertere Verfahren in der Druckindustrie

(Schlechtweg 2001)

YIQ-Modell

- Das YIQ-System ist das Farbmodell des amerikanischen Fernseh Systems, NTSC (National Television Standard Committee)
- Die Y-Komponente stellt die Helligkeit dar und entspricht exakt der Y-Komponente des CIE-Normfarbsystems. Nur diese Y-Komponente wird von Schwarz-Weiss Fernsehern ausgewertet, dadurch konnte eine Kompatibilität mit dem Schwarz-Weiss Fernsehen erreicht werden. Die Farbinformation wird in I und Q codiert.

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} .299 & .587 & .114 \\ .500 & -.230 & -.270 \\ .202 & -.500 & .298 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1.139 & .650 \\ 1 & -.325 & -.677 \\ 1 & -1.317 & 1.780 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix}$$

YUV/YCrCb-Modell

Beim europäischen PAL-System (Phase Alternating Line) wird statt der Parameter I und Q die Farbdifferenz R-Y und B-Y übertragen.

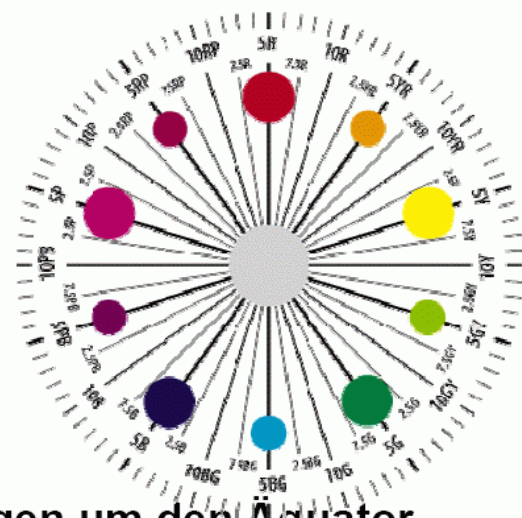
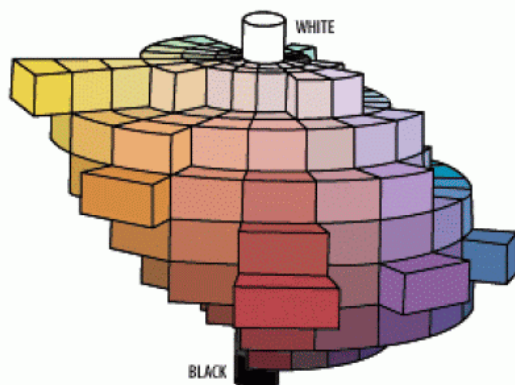
Bei diesem Format ergeben sich einfache Möglichkeiten der Komprimierung, z.B. beim YUV-4:2:2 Format, hier teilen sich zwei benachbarte Pixel die Farbinformation oder 4:1:1, hier wird nur jedes vierte Pixel die Farbinformation aktualisiert.

(Woessner, o.J.)

Munsell Farbsystem (1905)

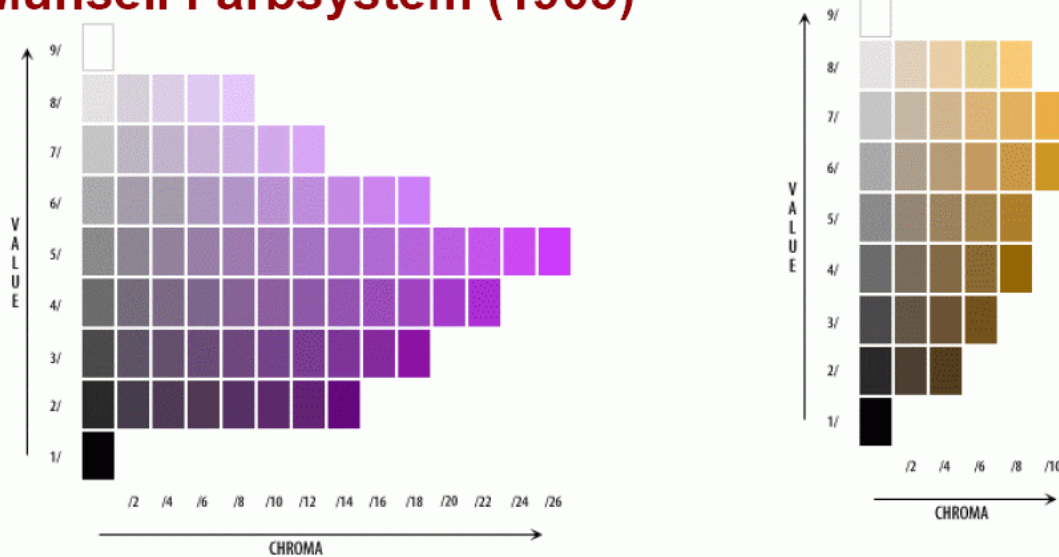
- „describe color in a rational way“ in der Kunst
- Farbglobus nach menschlicher Unterscheidungsmöglichkeit abgestuft:
 - **Farbton (hue)** um Äquator: 100 Schritte, 10 Buchstabenkategorien zu je 10 Unterteilungen
 - **Helligkeit (value)** von unten nach oben: 10 Unterteilungen: 1 = schwarz, 10 = weiß
 - **Sättigung (chroma)** von Achse horizontal nach außen: von 0 bis zum Maximum, das von Helligkeit abhängt

Munsell Farbsystem (1905)



Links: Farbtonabstufungen um den Äquator
Rechts: Darstellung des Munsell-Farbglobus

Munsell Farbsystem (1905)



Links: Sättigungs- und Helligkeitsabstufungen des Farbtons 5RP

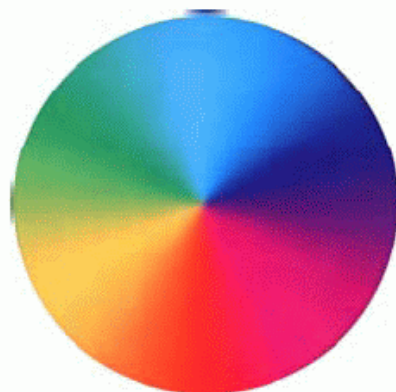
Rechts: Sättigungs- und Helligkeitsabstufungen des Farbtons 10YR
(Bartz 2005)

Statt des Munsell-Farbsystems ist heute eher das etwas einfachere HSV-Farbsystem in Gebrauch:

Das HSV-Modell

Definition Farbton (hue)

Der Farbton einer Farbe ist eine der unmittelbar empfundenen Eigenschaften. Er kann durch eine farbtongleiche Wellenlänge oder den Bezug auf einen Farbkreis angegeben werden.



Definition Sättigung (saturation, purity)

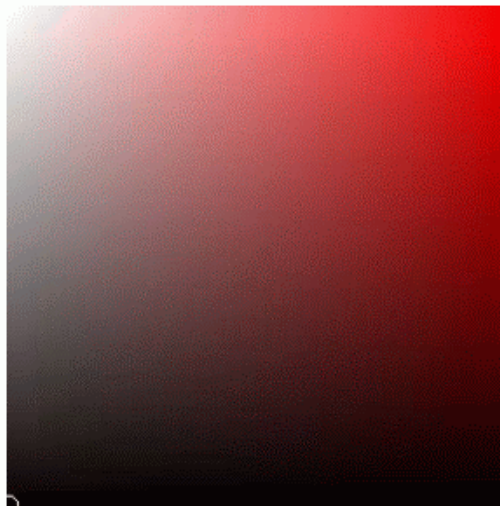
Die Sättigung oder Reinheit einer Farbe ist die zweite der unmittelbar empfundenen Eigenschaften. Die Sättigung beschreibt, wie rein oder ausgewaschen eine Farbe erscheint. Eine Farbe erscheint umso reiner, je weniger unterschiedliche Wellenlängen zu ihr beitragen.

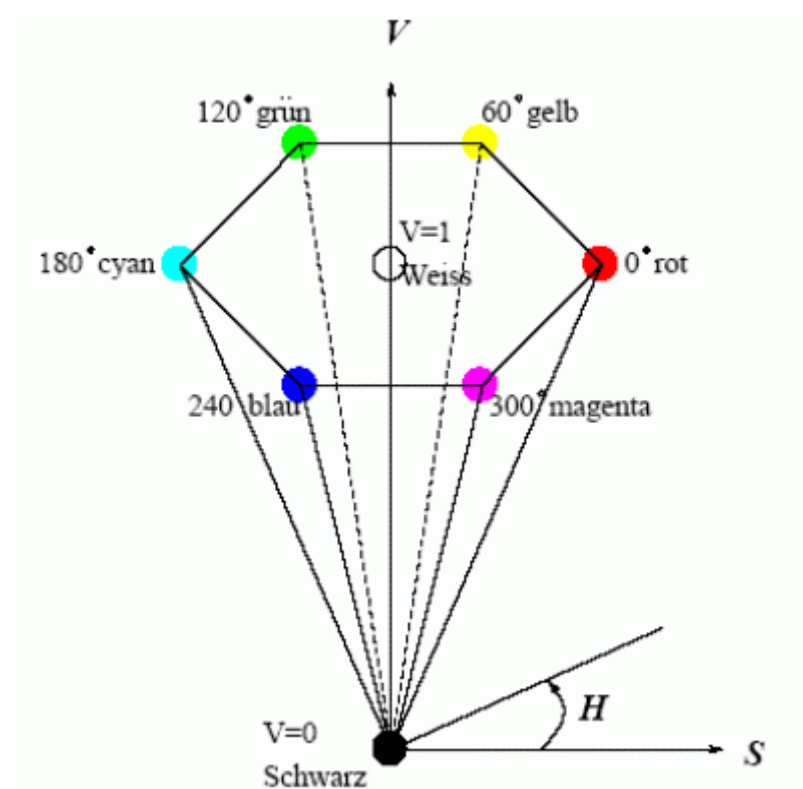
Spektralfarben haben maximale Sättigung



Definition Helligkeit (Value, Lightness, Brightness)

Auch die Helligkeit einer Farbe wird unmittelbar empfunden. Sie entspricht der Intensität des einfallenden Lichtes.





HSV-Farbmodell (hue - saturation - value)

Vorteil:

- Gut geeignet für die interaktive Komposition von Farben, da es sich an der menschlichen Wahrnehmung orientiert.

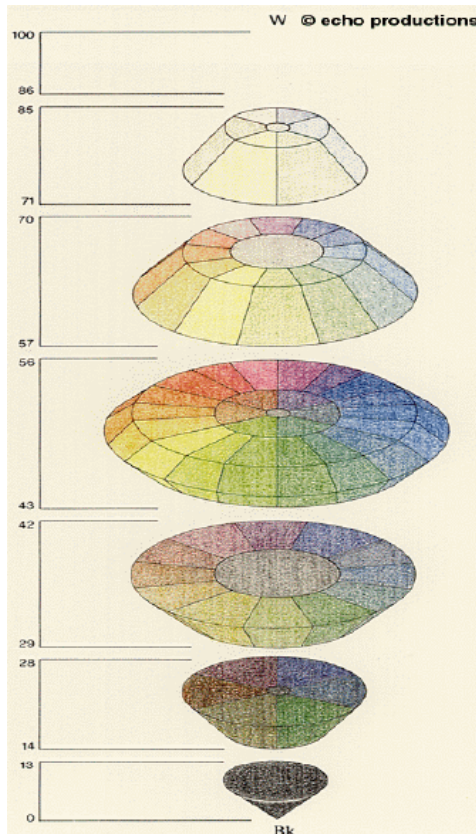
Nachteile:

- Singularität an der V-Achse, d.H. der Farbwinkel für unbunte Farben (Schwarz/Weiss/Grau) ist nicht definiert
- Unsichere Werte für H und S bei kleinen Intensitäten
- Unstetigkeit bei 360°

(Woessner, o.J.)

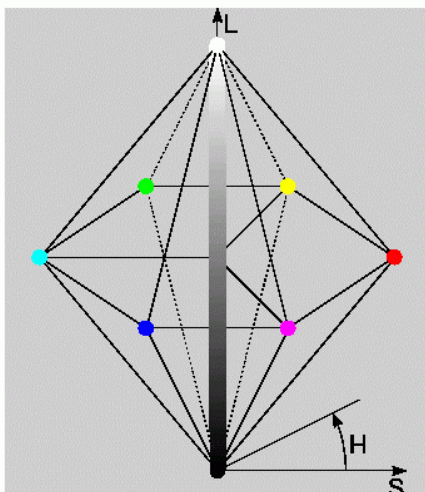
HLS Farbsystem

- Hue, 0..360 [rot..rot]
- Luminance, L : 0..100
- Saturation, S : 0..100



(aus Bartz 2005) (↓ Schlechtweg 2001)

Farbmodelle – HLS



- Hue / Lightness / Saturation
- Strategie von Malern: nimm reines Pigment (H), Weiß dazu (S), Schwarz dazu (1-L)
- Komponenten nicht unabhängig voneinander
- Graustufen: $S = 0$
- vollgesättigte Farben:
 $L = 0.5, S = 1$

Umrechnung:

Für die Konvertierung von RGB in HLS oder HSV sind zunächst 4 Hilfsgrößen zu bestimmen:

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

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

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

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

Dann erhält man

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

$$S = m_1 - m_2$$

$$V = m_1$$

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

(nach Henning 2000)

Konvertierung von Farbräumen:

CIE XYZ und **Rec. 709 RGB** (Monitore) mit definiertem Weißpunkt D65 lauten:

$$\begin{bmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{bmatrix}$$

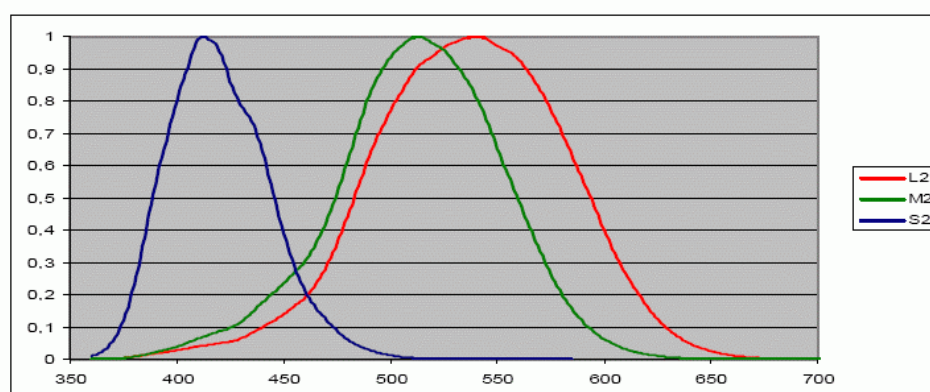
(Bartz 2005)

Farbfehlsichtigkeit – ein Problem für die Visualisierung mit Farben!

Arten der Fehlsichtigkeit:

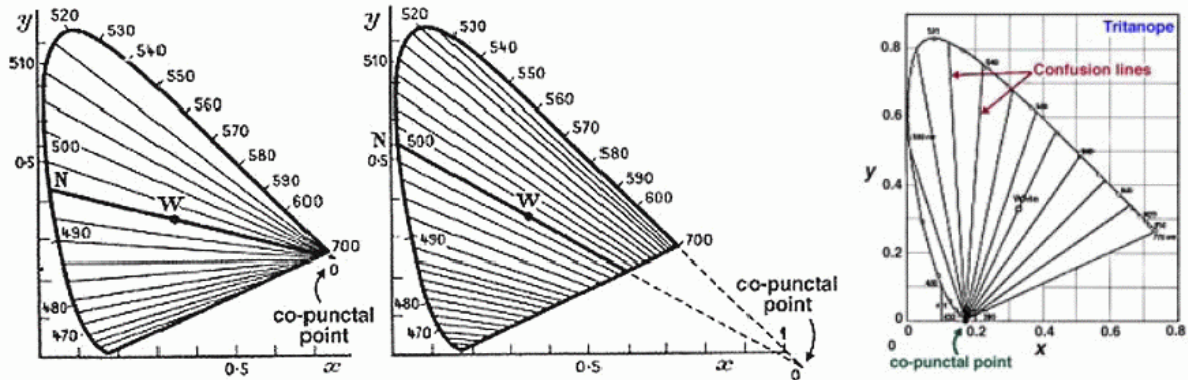
- anomale Trichromasie (Unterempfindlichkeit)
 - Protanomalie: Rot-Schwäche (1%)
 - Deuteranomalie: Grün-Schwäche (5-6%)
 - Tritanomalie: Blau(-Gelb)-Schwäche
- Dichromasien (partielle Farbblindheit)
 - Protanopie: Rot-Blindheit (1%)
 - Deuteranopie: Grün-Blindheit (1%)
 - Tritanopie: Blau-Gelb-Blindheit (0.004%)
- Monochromasie: keine Farben (0.003%)

SML-Farbraum: die Primärvalenzen werden entsprechend der spektralen Empfindlichkeiten der drei Zapfenarten gewählt (S/M/L ... short / medium / long wavelength)



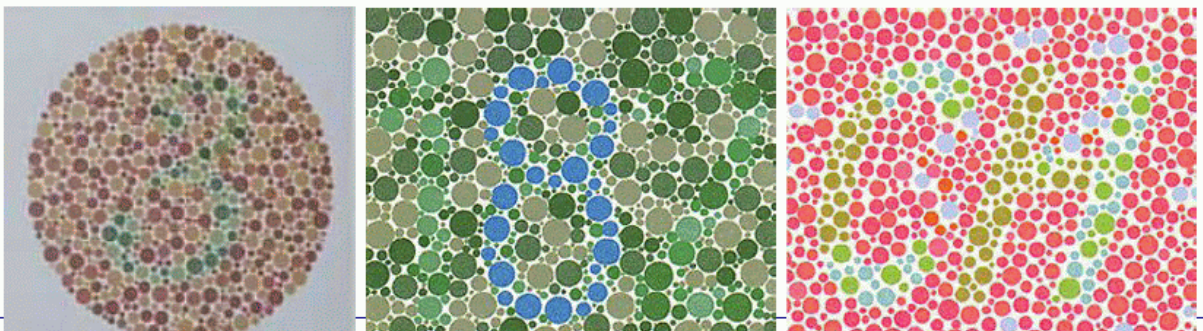
Verwirrungslinien: bei Dichromasien können im CIE-Diagramm Farben entlang von Verwirrungslinien nicht unterschieden werden.

Die Verwirrungslinien schneiden sich in der Richtung die den SML-Primärvalenzen entsprechen



Farbsehtests:

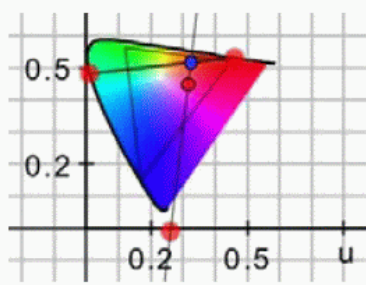
- **Farnsworth-Munsell Test:** die Testperson ordnet das in 100 Farbtöne diskretisierte Spektrum, das in zufälliger Reihenfolge gegeben ist. Als Ergebnis wird der Positionsabstand über dem Farbtönen analysiert.
- **Klecksbilder:** in einem Bild mit verschiedenfarbigen Klecksen sieht ein Normalsichtiger ein anderes Symbol als ein Farbenblinder.



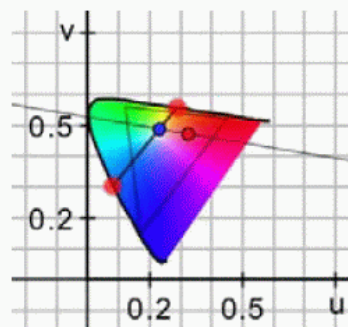
Simulation von Fehlsichtigkeit:

Welche Farbe auf der Verwechslungslinie sieht ein Farbenblinder ?

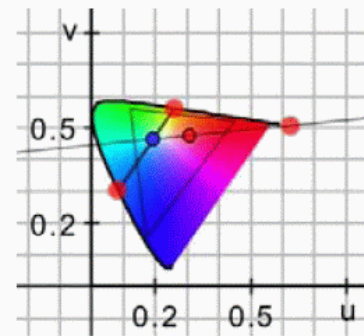
Test mit Personen, die nur ein farbenblindes Auge haben, zeigen, dass man die empfundenen Farben auf einer Geraden findet.



Tritanopie



Deuteranopia



Protanopia

normalsichtig

rot/grün
deuteranopia

rot/grün
protanopia



Simulation von Fehlsichtigkeit

normalsichtig



rot/grün
deuteranopia

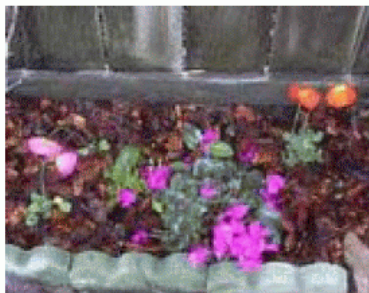


blau/gelb
tritanopia



Simulation von Fehlsichtigkeit

normalsichtig



blau/gelb
tritanopia



rot/grün
protanopia

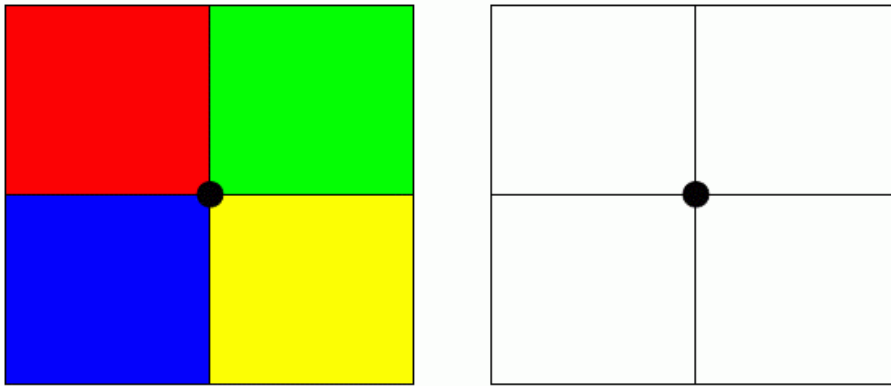


Simulation von Fehlsichtigkeit

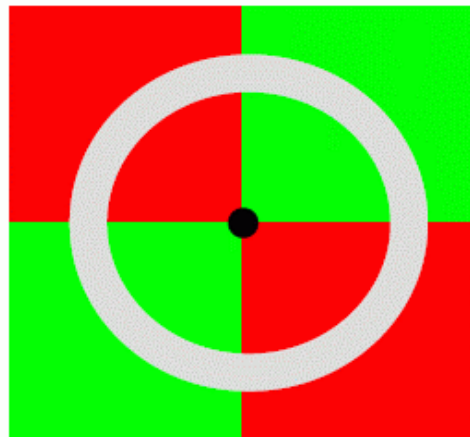
(Bartz 2005)

Farbtäuschungen

Gegenfarben: bei längerer Betrachtung erscheint eine weiße Fläche danach in den Gegenfarben

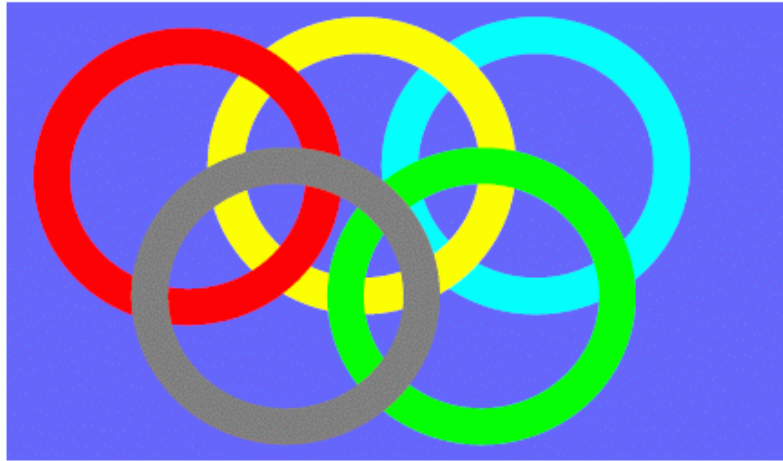


Color Bleeding: umgebende gesättigte Farben wirken in ungesättigte Bereiche hinein

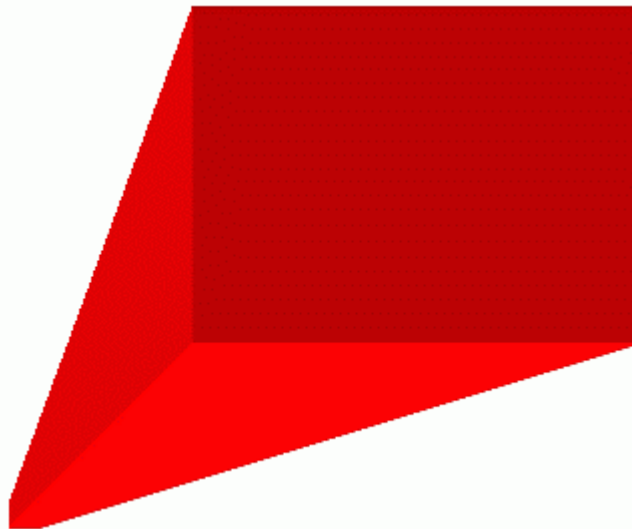


Bei Betrachtung der einzelnen Quadrate erscheint der Teilring farbig.
Bei Betrachtung des Rings als Ganzes, wirkt dieser grau

Glüheffekt: gesättigte Farben wirken im Vergleich zu ungesättigten heller (ausgenommen Gelb)



Farbkonstanz: Farben, die durch veränderte Beleuchtung auseinander hervorgehen können, erscheinen gleich



Reaktionszeit: unterschiedliche Farben werden schneller oder langsamer erkannt. Wichtige Details sollten deshalb in schnell erkennbaren Farben dargestellt werden. Z.Bsp.:

- gelb
- weiß
- rot
- grün
- blau

schneller



langsamer

Kinetischer Effekt: dargestellt auf Hintergrund unterschiedlicher Helligkeit erscheinen Farben zu schweben. Z.Bsp.:

gelb auf schwarz
orange auf schwarz
rot auf schwarz
grün auf schwarz
blau auf schwarz

mehr



weniger

Dispersionseffekt: Farben, die im Spektrum weit auseinander liegen, können nicht gleichzeitig scharf gestellt werden.

Extreme Beispiele sind blau und rot.

Verwende deshalb nie rote Schrift auf blauem Hintergrund oder

blaue Schrift auf rotem Hintergrund !!!

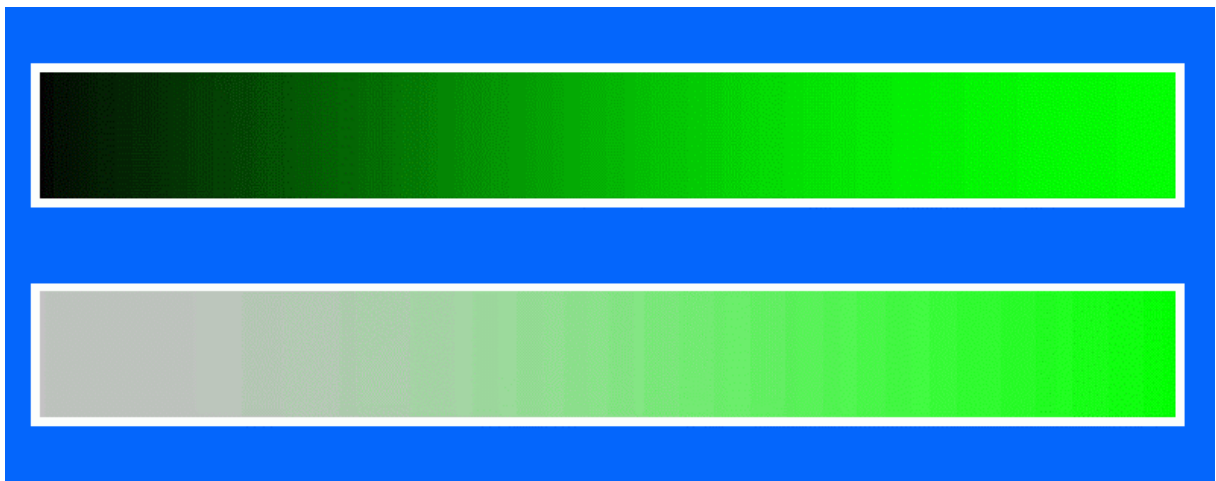
Möglichkeiten der Farbinterpolation

- Grau-Skala
- Intensitätsinterpolation
- Sättigungsinterpolation
- Interpolation zwischen zwei Farben
- Regenbogen-Farbskala
- Farbskala eines erwärmten Körpers

Grauskala (Graukeil):



Intensitäts- und Sättigungsskala:



Interpolation zwischen zwei Farben:



(hängt vom Farbsystem ab!)

Spektral-Farbskala:

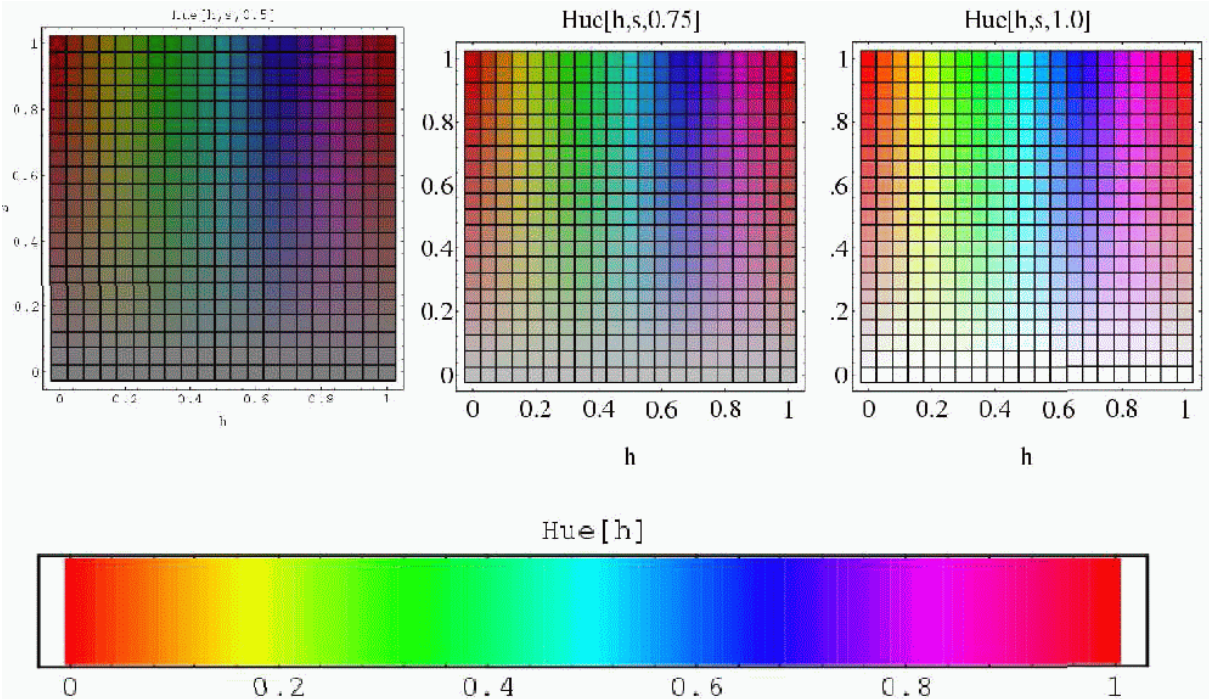


Farbskala erwärmter Objekte:



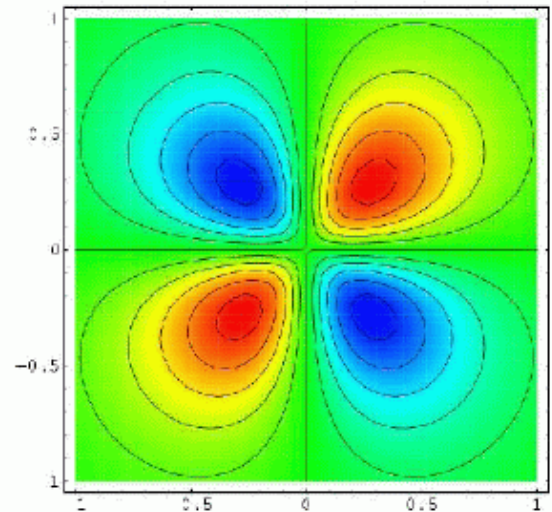
(Woessner, o.J.)

HSL-Farben:

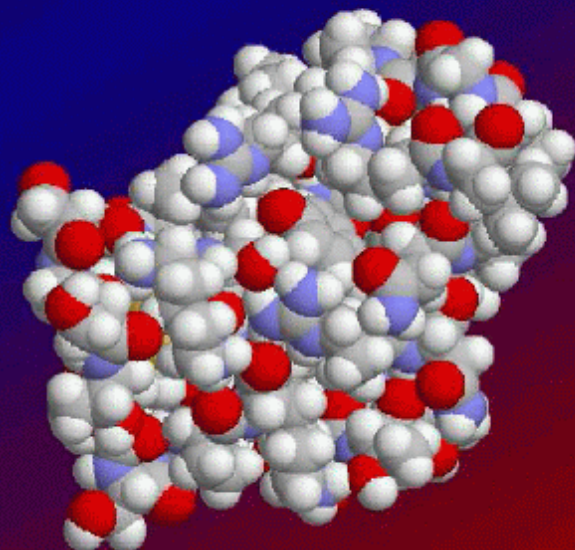


Projektion von Farben

- Beleuchtung: heller Raum (Tageslichtprojektor)
 - ♦ Hintergrund: hell
 - ♦ Text: dunkel
 - ♦ Daten: gesättigte Farben



- Beleuchtung: dunkler Raum (Dia, Video)
 - ♦ Hintergrund: blau, schwarz
 - ♦ Text: gelb, weiß, rosa
 - ♦ Daten: Pastelle, helle Farben



(Weimar 2005)

Typische Farbassoziationen:

- **Rot**
 - Stopp, Gefahr, heiß, Sauerstoff, Geldverlust
- **Grün**
 - An, Pflanzen, Kohlenstoff, gehen, Gewinn
- **Blau**
 - Kalt, sicher, Stickstoff

(Woessner, o.J.)

Farbe	Ingenieure	Finanzwesen	Medizin
Blau	Kalt	Firma, zuverlässig	tod
Cyan	Dampf	kühl	Sauerstoffmangel
Grün	normal, sicher	profitabel	infiziert
Gelb	Achtung	wichtig	Gelbfieber
Rot	Gefahr	Verluste	gesund
Lila	heiss, radioaktiv	wohlhabend	bedenklich

(Weimar 2005)

Merke:

Nicht gegen gängige Farbbedeutungen ankämpfen!

3.2. Textur



Wahrnehmungspsychologie: was vom Mensch visuell spontan als strukturiertes aber einheitliches Gebiet wahrgenommen wird.

Computer Graphik: 2- oder 3-dimensionale Struktur eines Erscheinungsattributs zur Codierung feinen Details.

Visuelle Textur (Englert 93): Gesichtsempfindung (Sinneseindruck des Auges), durch die sich angrenzende, möglicherweise strukturierte Gebiete des Gesichtsfeldes bei unbewegtem Auge unterscheiden

Erkennungszeit: 160-200 ms, schneller als kognitiv kontrollierte Wahrnehmung (> 300 ms)

→ geringere Belastung des Beobachters

Kriterien zur Unterscheidung (Tamura 78):

- Grobheit (Coarseness)
 - Rauigkeit (Roughness)
 - Kontrast (Contrast)
 - Gerichtetheit (Directionality)
 - Linienartigkeit (Line-Likeness)
 - Regelmäßigkeit (Regularity)
- } (Rao 93)
Komplexität
- } Orientierung
- } Wiederholungsgrad

Rauigkeit oft nur durch mentale Abbildung auf taktil erfahrene Oberflächeneigenschaften erfassbar

Textons (Julesz 81):

Einführung von Grundelementen:

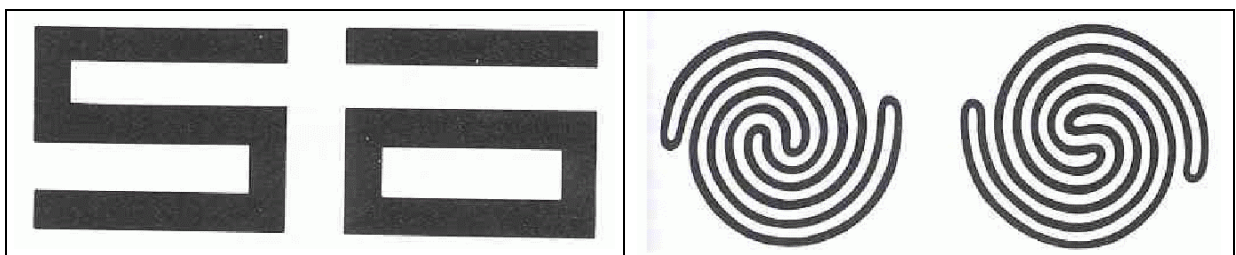
- orientierte Liniensegmente
- Kreuzungen
- Enden

(Bartz 2005)

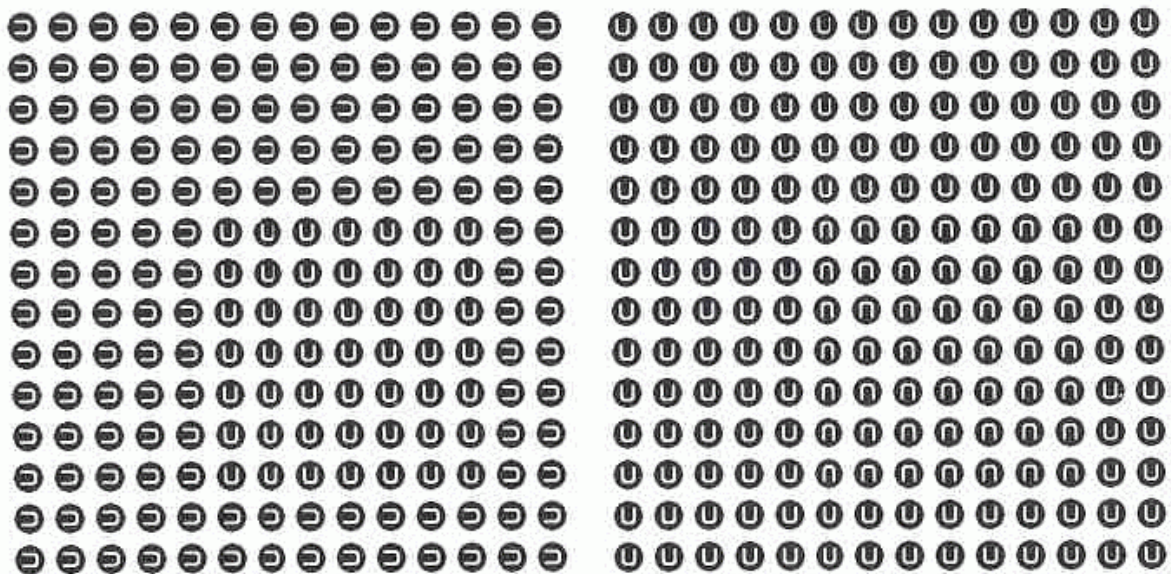
Man unterscheidet zwischen sog. präattentiver (gewissermaßen unwillkürlicher) und attentiver Wahrnehmung – letztere erfordert eine bewusste Erkennungsanstrengung.

Beispiel:

das Merkmal "Zusammenhang" wird im linken Beispiel präattentiv wahrgenommen, rechts nur attentiv

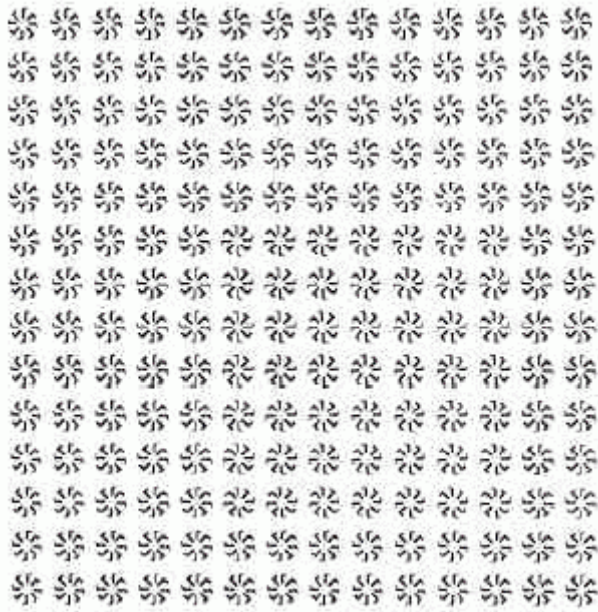


Einige Texturmerkmale und -unterschiede werden präattentiv wahrgenommen, einige nur attentiv:



präattentiv

attentiv



attentiv

(aus Hermes 2002)

Texturbeschreibung / -merkmale:

Grobe Unterscheidung in

➤ statistisch/stochastisch

- rein stochastisch
- Punkt-basierte Statistiken n-ter Ordnung
- Globale Statistiken
- Filter-basierte (lokale)

➤ strukturelle Verfahren

- Strukturierende Elemente (Texel)
- Aufbauregeln

3.3. Tiefenwahrnehmung

Tiefen- (Entfernungs-) Eindruck wird aus verschiedenen Faktoren gewonnen.

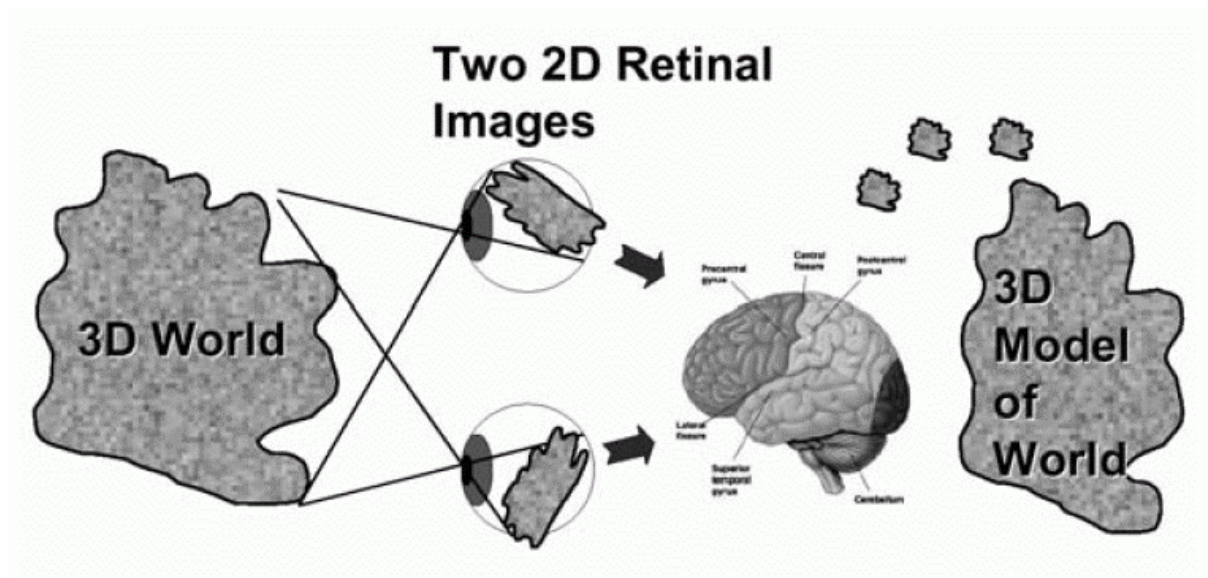
Monokulare Faktoren

- Bewegungsfaktoren
 - Bewegungsparallaxe
- Bildliche Faktoren
 - relative Größe
 - Perspektive
 - Beleuchtung
 - Schatten
 - Verdeckung

Binokulare Faktoren

- Fusion
- Disparität

Prinzip der binokularen (stereoskopischen) Tiefengewinnung:



Fusion: Neuronaler Prozess zur Zusammenführung des linken und rechten Bildes innerhalb des Panum'schen Fusionsbereichs.

Unterdrückung: blendet unvereinbare Regionen aus.

Überlagerung: vereint gleiche Regionen.

Bei **Retinaler Rivalität** wechselt unvereinbares linkes und rechtes Bild.

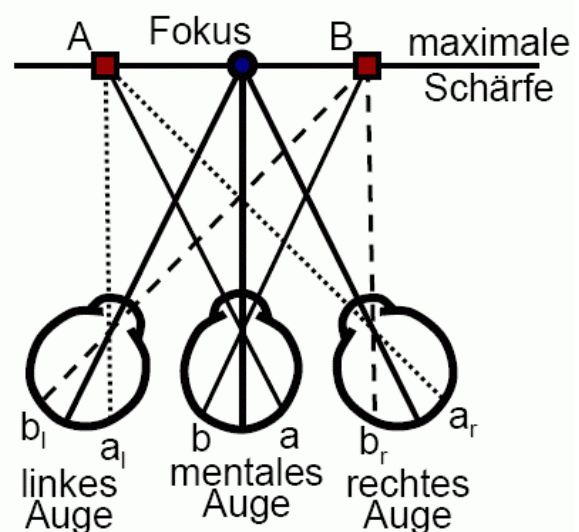


Fokus: Raumpunkt, auf den Augen gerichtet und akkomodiert sind.

Retinale Position: Für jedes Auge die relative Position zur opt. Achse

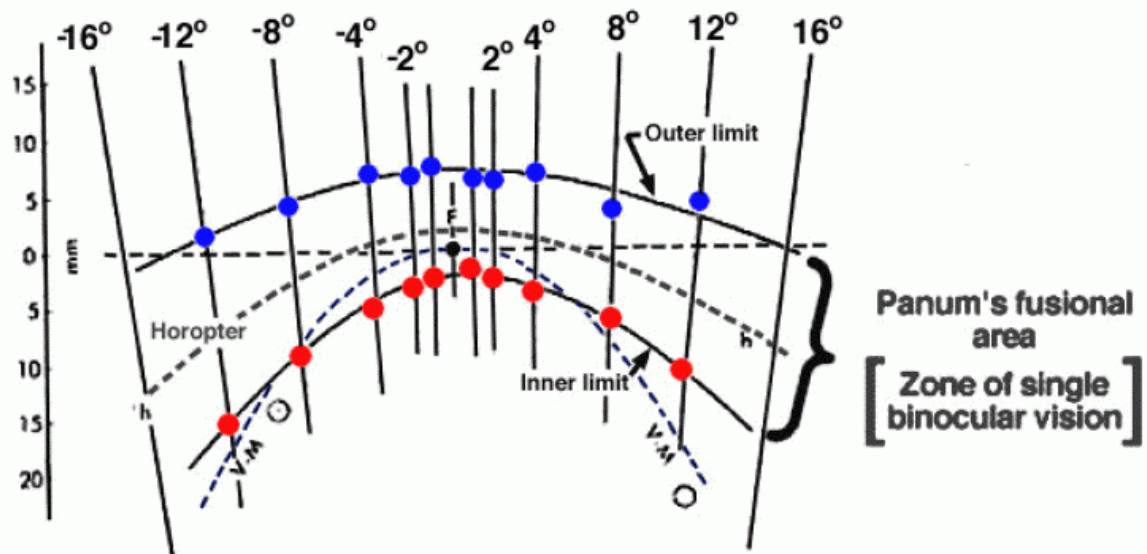
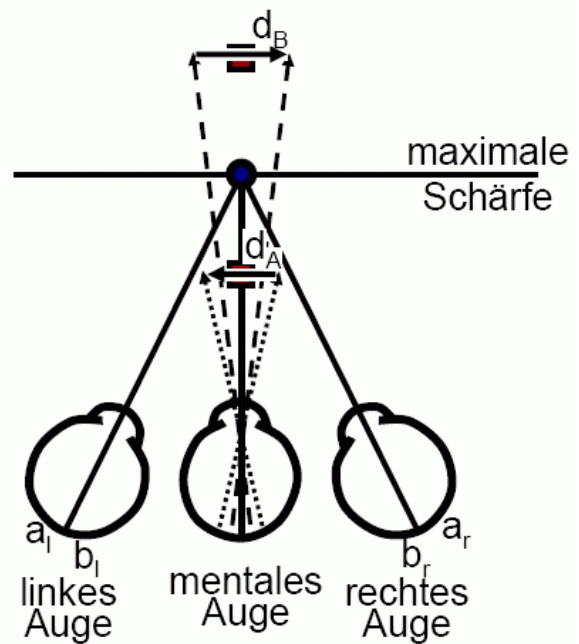
Übereinstimmung: Bildpunkte auf gleicher retinaler Position liegen auf Bildebene und sind Kandidaten für Fusion

Mentales Auge: Durch Fusion kombinierte Infos



Überkreuzung: Retinale Position eines Raumpunkt auf unterschiedlicher Seite der opt. Achse

Disparität: Unterschied der retinalen Position von fusionierten Punkten im mentalen Auge. Aus Disparität kann relative Entfernung vom Fokus berechnet werden.



Panum'scher Fusionsbereich; Punkte auf Horopter haben die selbe retinale Position.

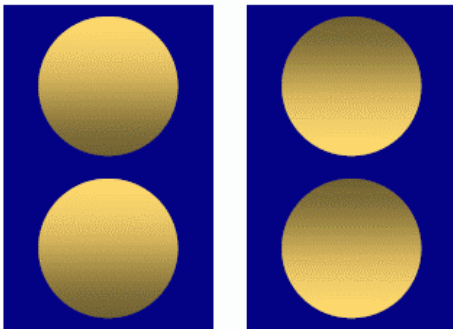
Weitere Indikatoren räumlicher Tiefe:



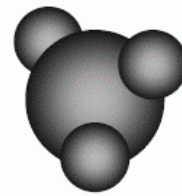
lineare Perspektive



Atmosphärische Perspektive



Beleuchtung



Verdeckung



Höhe im Gesichtsfeld



Textur



Beleuchtung



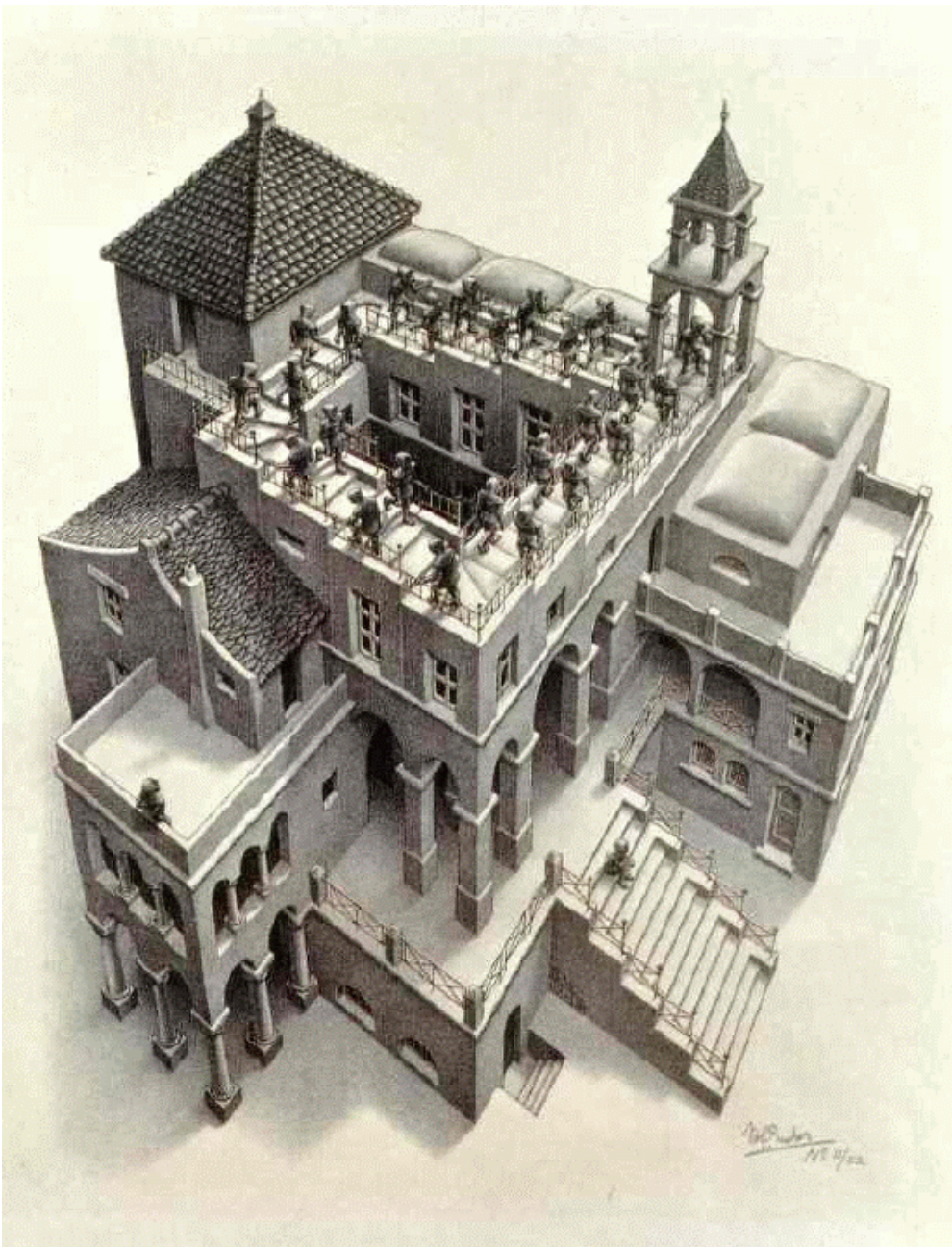
Verdeckung

(Bartz 2005, mit Bildquellen:
Augusta State University, <http://www.aug.edu/psychology/>
Color and Gamma: <http://www.poynton.com/>)

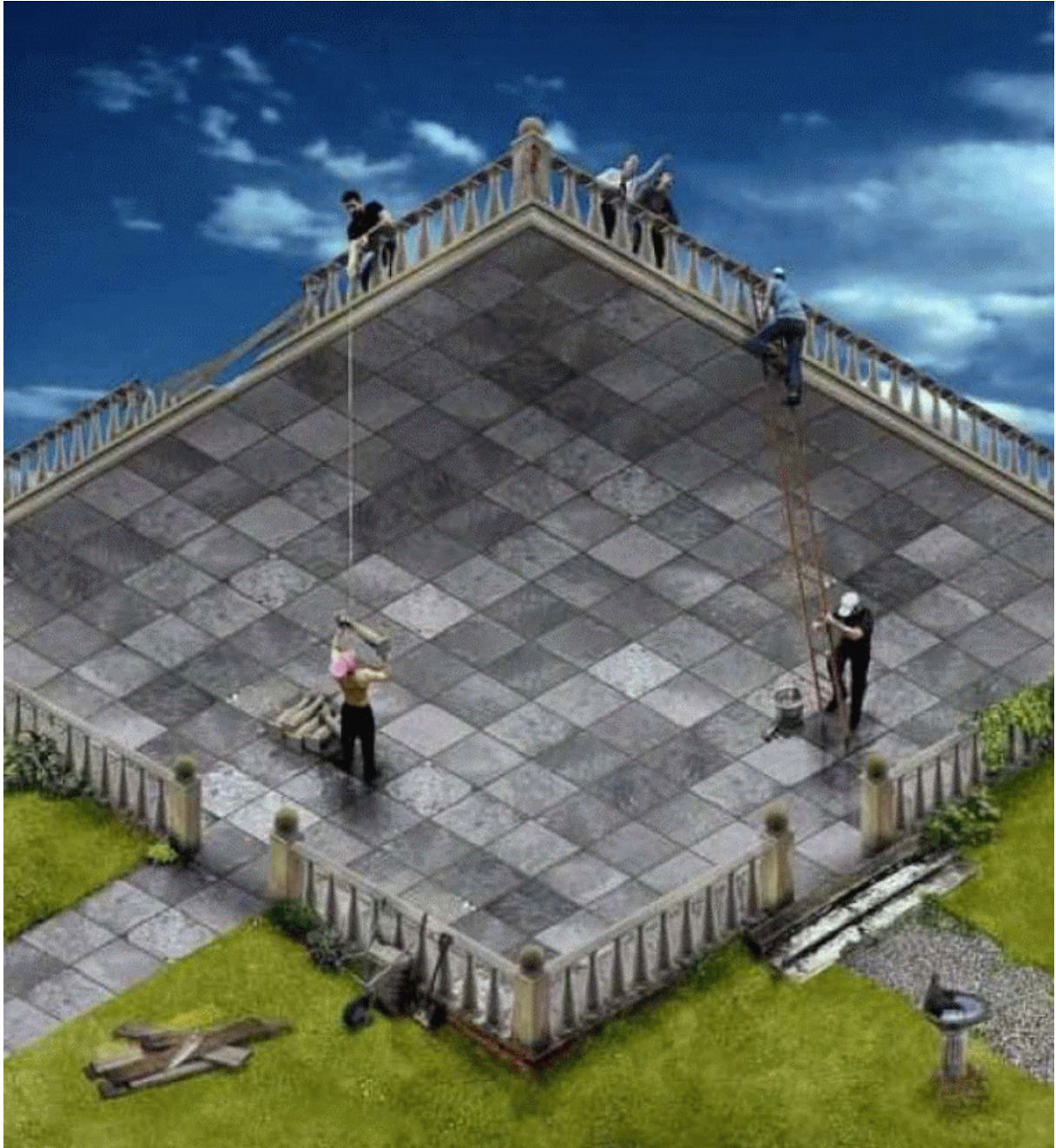
Schattierung



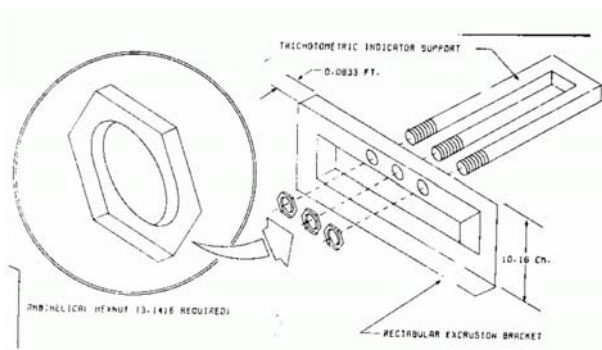
Missbrauch von Perspektive:



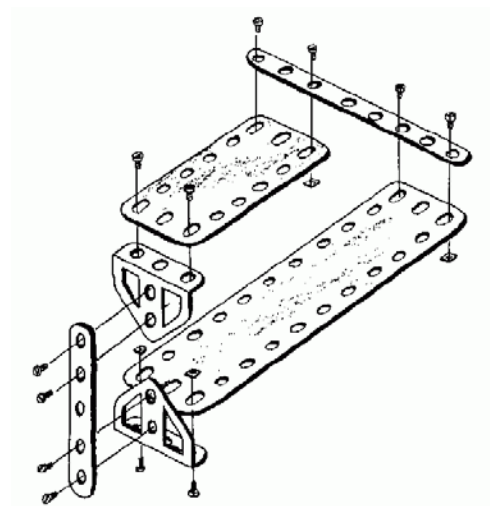
(M. C. Escher, "Treppauf und Treppab")



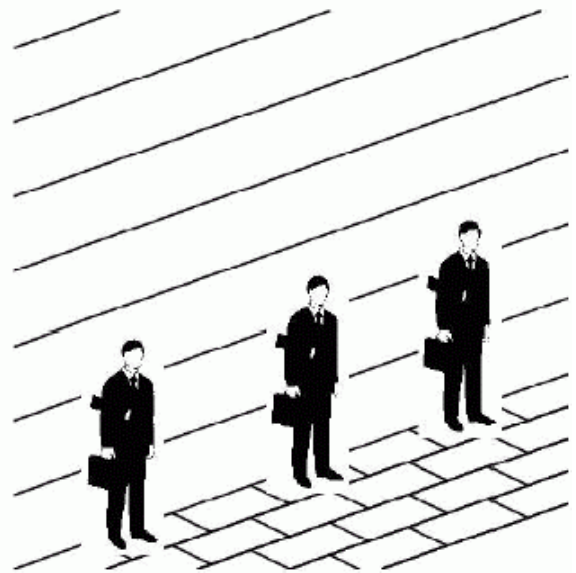
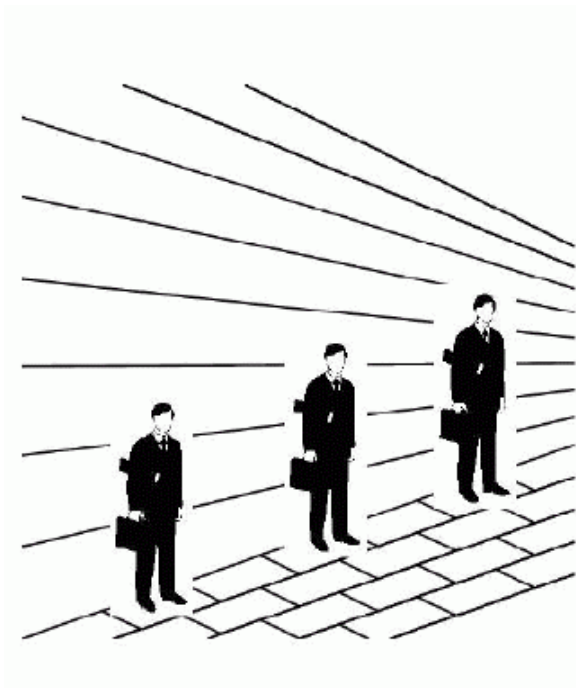
(aus Woessner, o.J.)



(aus Weimar 2005)



Täuschung der Längenwahrnehmung durch die Illusion von Perspektive



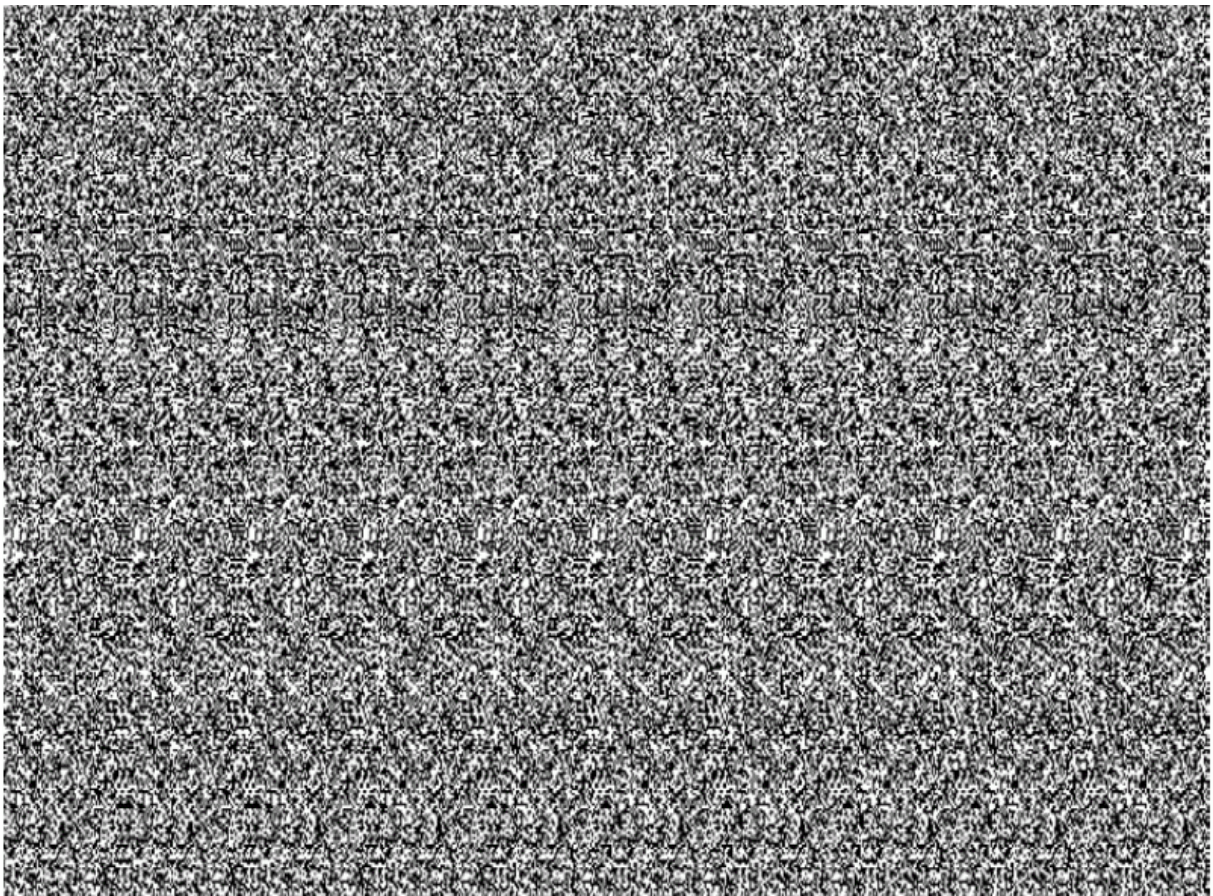
(aus Weimar 2005)



(aus Woessner, o.J.)

Prinzip des *Single-Image Random Dot Stereogramms*:

Die in einem "Zufallsmuster" verborgenen, zusammengehörenden Punkte werden bei richtiger Fokussierung der Augen von unserem visuellen System automatisch zu einem Bild zusammengefügt



(aus Woessner, o.J.)