

Bildverarbeitung 1 Vom Pixel zum Objekt

Dr. Andrea Miene

Verarbeitungsstufen der Bildanalyse

- ▶ **Bildgebung**
 - Bilderfassung durch verschiedene Sensoren
- ▶ **Vorverarbeitung**
 - Bildverbesserung, ...
- ▶ **Segmentierung**
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- ▶ **Merkmalsextraktion**
 - Farbe, Kontur, Textur...
- ▶ **Klassifikation**
 - Diskriminantenfkt., Abstand, Wahrscheinlichkeit, ...

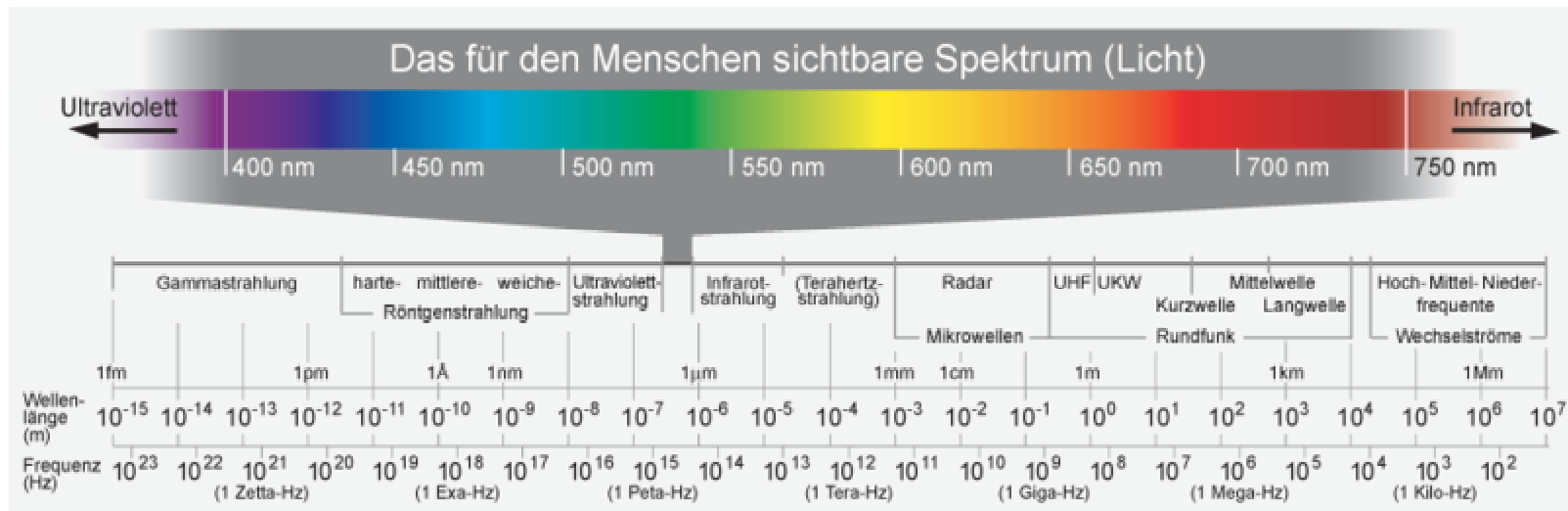
**Mustererkennungs-
Paradigma**

Merkmalsextraktion

- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
 - Was ist Farbe?
 - Farbmodelle
 - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

Farbwahrnehmung

- ▶ Nur ein kleiner Teil des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung ist für das menschliche Auge sichtbar
- ▶ Wellenlängenbereich ca. 380 bis 780 Nanometer



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Spektrum.png>

Farbwahrnehmung

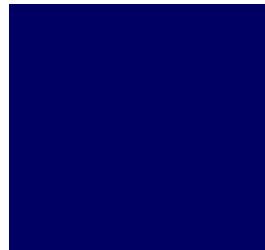
- ▶ Farbempfindung hängt ab von
 - Dominanter Frequenz (ausgesendet oder reflektiert von Objekt): Farbe (hue)
 - Reinheit der Farbe: Sättigung (saturation)
 - Intensität des Lichts: Helligkeit (brightness)



Reines Blau,
max. Sättigung,
mittlere Helligkeit



Reines Blau,
max. Sättigung,
größere Helligkeit



Reines Blau,
max. Sättigung,
geringe Helligkeit



Reines Blau,
mittlere Sättigung,
mittlere Helligkeit



Reines Blau,
geringe Sättigung,
mittlere Helligkeit

Merkmalsextraktion

- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
 - Was ist Farbe?
 - Farbmodelle
 - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

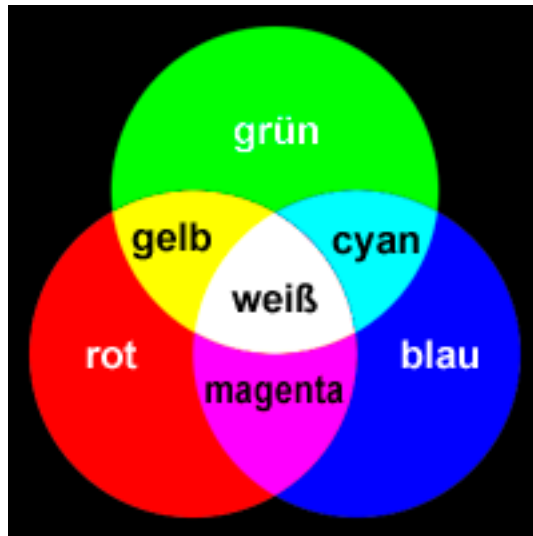
Farbmodelle

- ▶ Technisch motiviert
 - RGB (Rot, Grün, Blau, z.B. Monitore)
 - CMY(K) (Cyan, Magenta, Yellow, (+Schwarz), z.B. Drucker)
- ▶ Perzeptuell motiviert, an die menschliche Wahrnehmung angepasst
 - CIE-Normfarbtafel
 - HSV (Hue, Saturation, Value)
 - HLS (Hue, Lightness, Saturation)

Farbmischung

► Additive Farbmischung

- RGB-Modell (Rot, Grün, Blau)
- Alle Farben= weiß



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/e/e0/AdditiveFarbmischung.png>

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/f/f7/SubtraktiveFarbmischung.png>

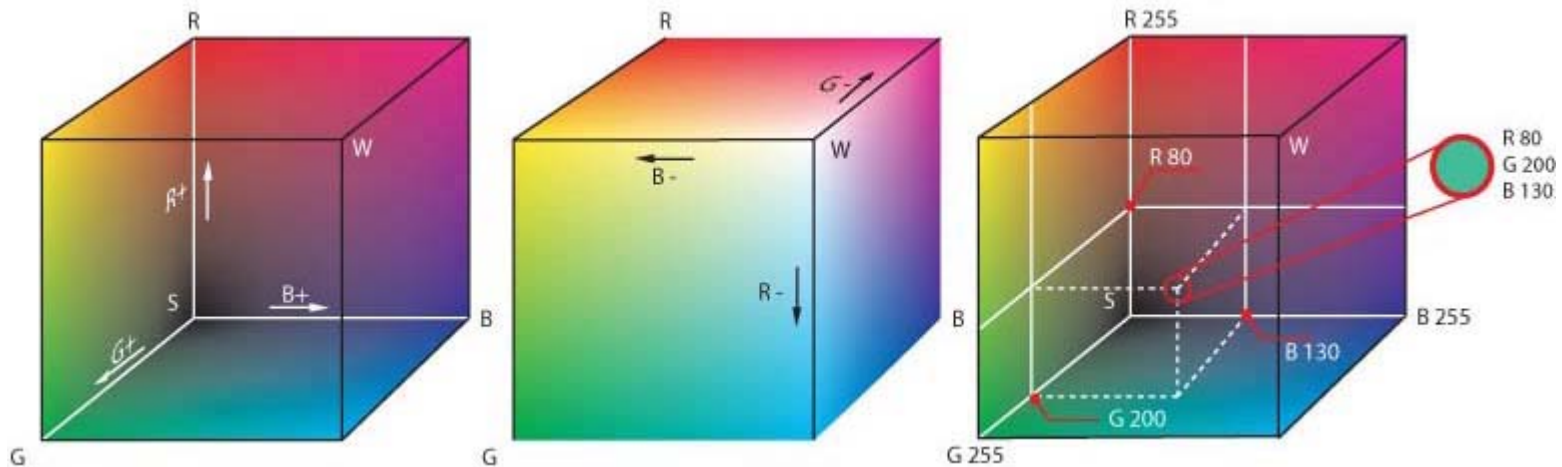
► Subtraktive Farbmischung

- Cyan, Magenta, Yellow (CMYK)
- Alle Farben= schwarz



Farbmodelle: RGB

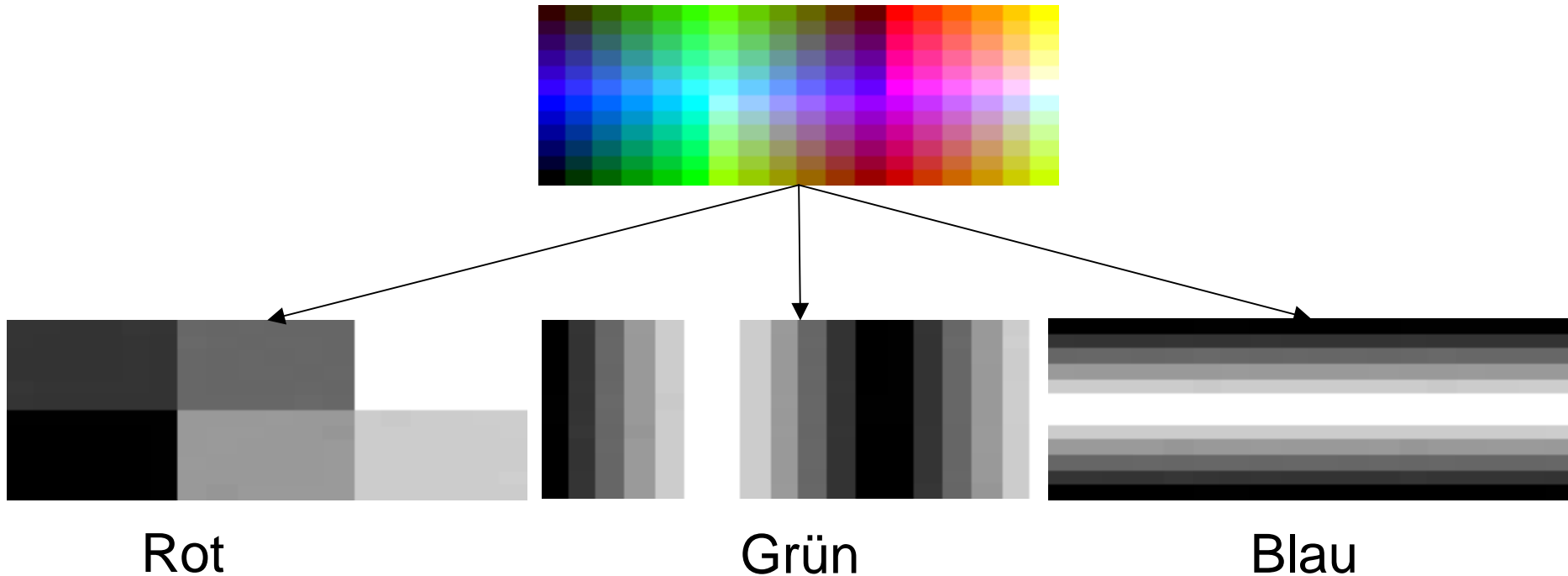
- ▶ RGB-Modell (Rot, Grün, Blau)
 - Darstellung als Einheitswürfel
 - Ursprung = Schwarz
 - Additive Farbmischung



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/RGB_farbwuerfel.jpg

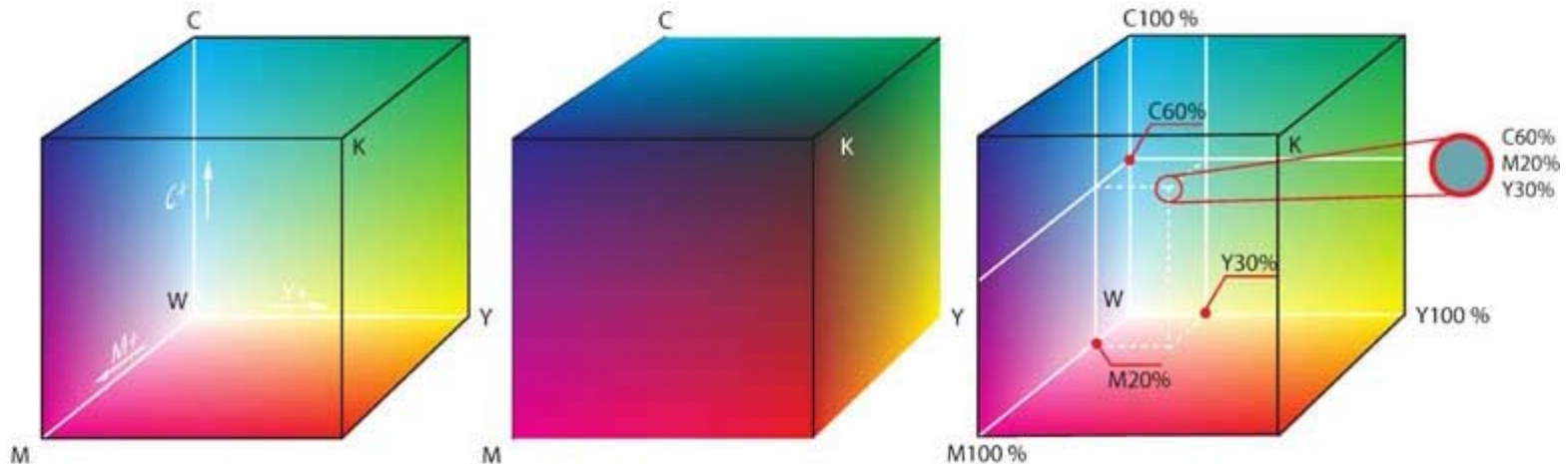
Farbmodelle: RGB

► RGB Farbkanäle



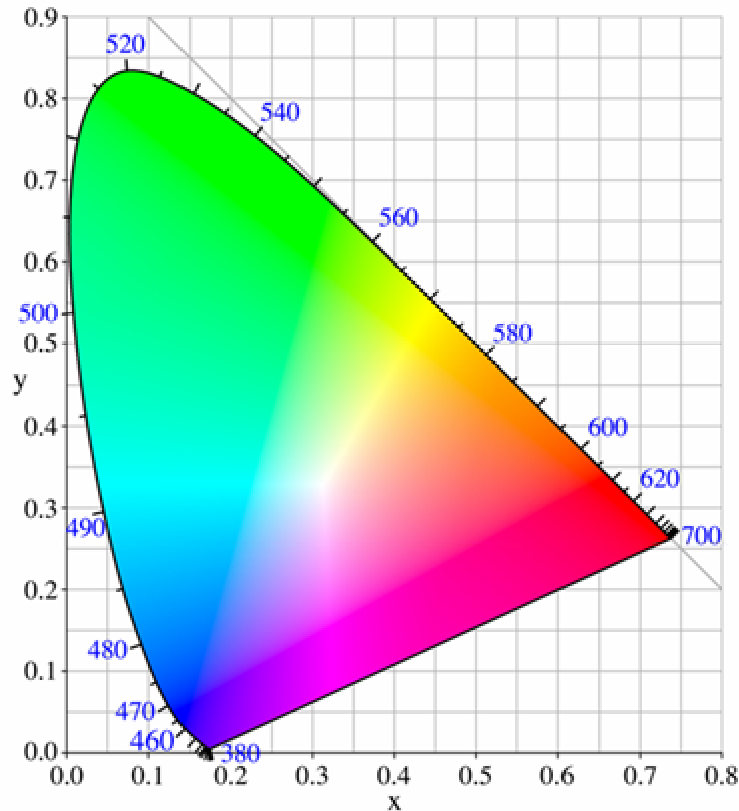
Farbmodelle: CMYK

- ▶ CMYK-Modell (Cyan, Magenta, Yellow, Key)
- Darstellung als Einheitswürfel
- Ursprung = Weiß
- Subtraktive Farbmischung



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/CMYK_farbwuerfel.jpg

Farbe: CIE-Normfarbtafel



<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CIExy1931.png>

- ▶ CIE-Standard (Commission Internationale de l'Eclairage, 1931)
- ▶ Wellenlängen auf der Kurve abgetragen
- ▶ Geräteunabhängige Darstellung
- ▶ Wahrnehmungsorientierte Anordnung der Farben aufgrund von Experimenten (CIE-Normalbeobachter)
- ▶ x-Achse: Rotwert
- ▶ y-Achse: Grünwert
- ▶ Y (dritte Dimension, nicht dargestellt): Hellbezugswert

Farbe: CIE-XYZ

- ▶ Kegelförmiger Farbraum
- ▶ Umfasst alle sichtbaren Farben
- ▶ X , Y und Z sind die Anteile der Farbe an den CIE-Grundfarben Rot, Grün und Blau
- ▶ Prinzipiell vergleichbar mit RGB, aber andere Anordnung der Farben im Raum, Umrechnung gemäß

$$X = 2,3646 \cdot R - 0,51515 \cdot G + 0,0052 \cdot B$$

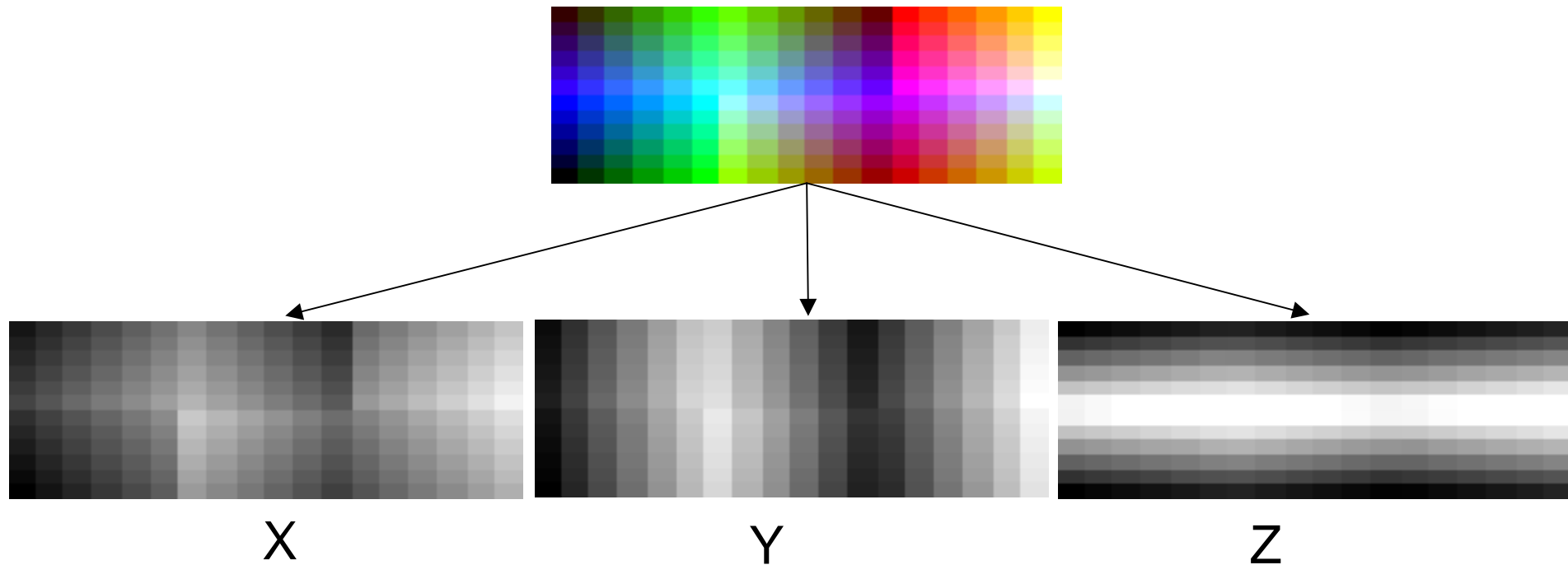
$$Y = -0,89653 \cdot R + 1,42640 \cdot G - 0,01441 \cdot B$$

$$Z = -0,46807 \cdot R + 0,08875 \cdot G + 1,00921 \cdot B$$

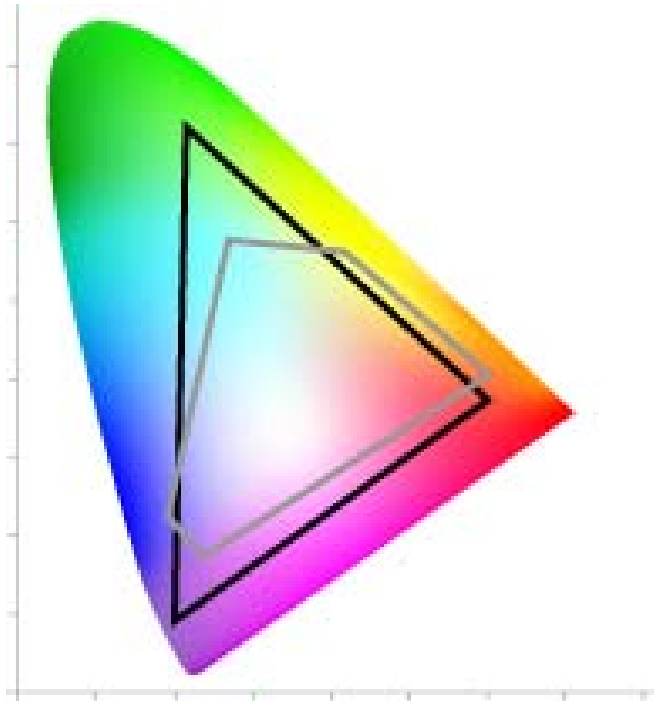
- ▶ Farben mit $X+Y+Z=1$, liegen auf der als Ebene dargestellten CIE-Normfarbtafel

Farbe: CIE-XYZ

► CIE-XYZ Farbkanäle



Farbe: CIE-XYZ

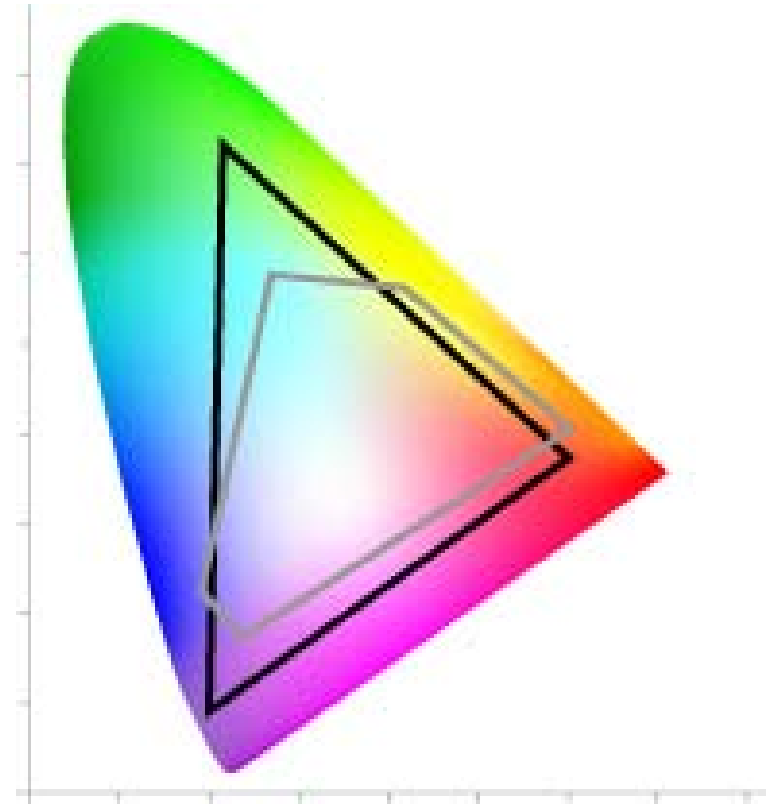


http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/2d/CIE_Lab_RGB_CMYK.jpg

- ▶ Präzise Angabe von Farben durch Position
- ▶ Austausch von Farbinformationen zwischen Systemen mit verschiedenen Primärfarben
- ▶ Z.B.: RGB-Grundfarben x,y-Koordinaten
 - Rot = (0.626,0.346)
 - Grün = (0.268,0.588)
 - Blau= (0.150,0.070)
- ▶ $Z = 1 - X - Y$

Farbmodelle: RGB vs. CMYK

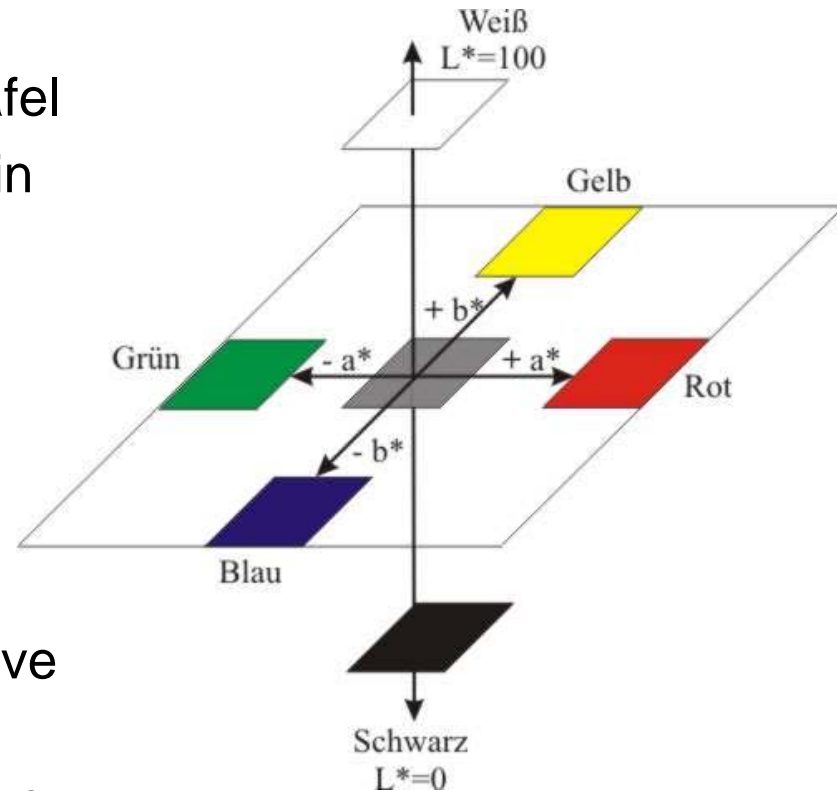
- ▶ CMYK-Modell (grau)
 - Subtraktive Farbmischung
 - Ursprung weiß
 - Vierfarbdruck:
 - 100 %: Volltonfarbe
 - 0%: unbedruckt
- ▶ RGB-Modell (schwarz)
 - Additive Farbmischung
 - Ursprung schwarz
 - Monitore



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/2d/CIE_Lab_RGB_CMYK.jpg

Farbe: CIE- $L^*a^*b^*$

- ▶ Abgeleitet aus der CIE-Normfarbtafel
- ▶ Verzerrung des Raums, so dass ein gleichabständiges Modell entsteht
- ▶ Euklidischer Abstand zwischen Werten entspricht dem wahrgenommenen Farbabstand
- ▶ L^* : Helligkeit ($L^*=0 \rightarrow$ Schwarz, $L^*=100 \rightarrow$ Weiß)
- ▶ a^* : Position zwischen Grün (negative Werte) und Rot (positive Werte)
- ▶ b^* : Position zwischen Blau (negative Werte) und Gelb (positive Werte)



http://www.copyshop-tips.de/img_luf/lab.jpg

Farbe: CIE-L*a*b*

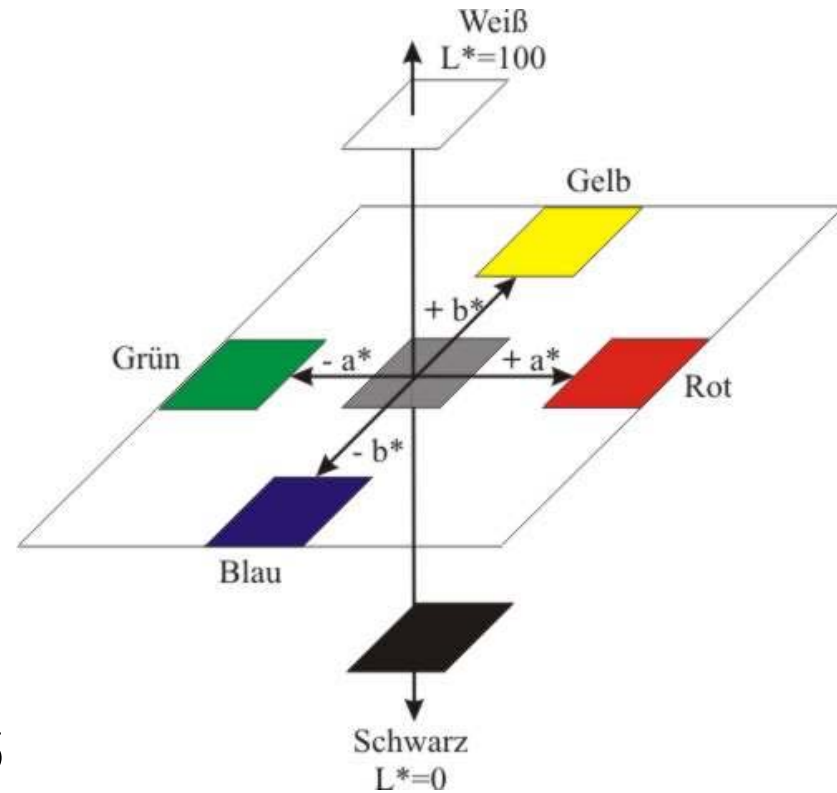
- Berechnung aufgrund von CIE-XYZ

$$L^* = \begin{cases} 116 \cdot \sqrt[3]{Y}; Y > 0.008856 \\ 903.3 \cdot Y; Y \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \cdot (f(X) - f(Y))$$

$$b^* = 200 \cdot (f(Y) - f(X))$$

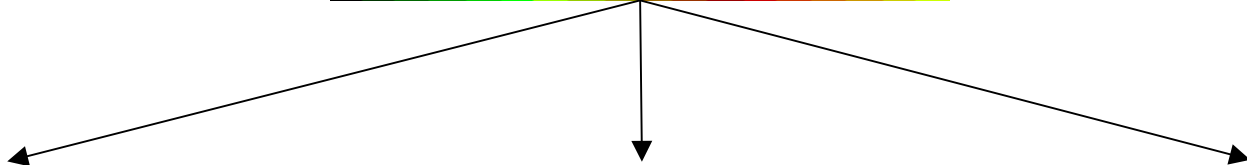
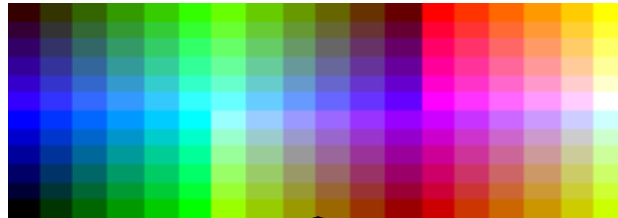
$$f(t) = \begin{cases} \sqrt[3]{t}; & t > 0.008856 \\ 7.787 \cdot t + \frac{16}{116}; & t \leq 0.008856 \end{cases}$$



http://www.copyshop-tips.de/img_luf/lab.jpg

Farbe: CIE-L*a*b*

► CIE-L*a*b* Farbkanäle

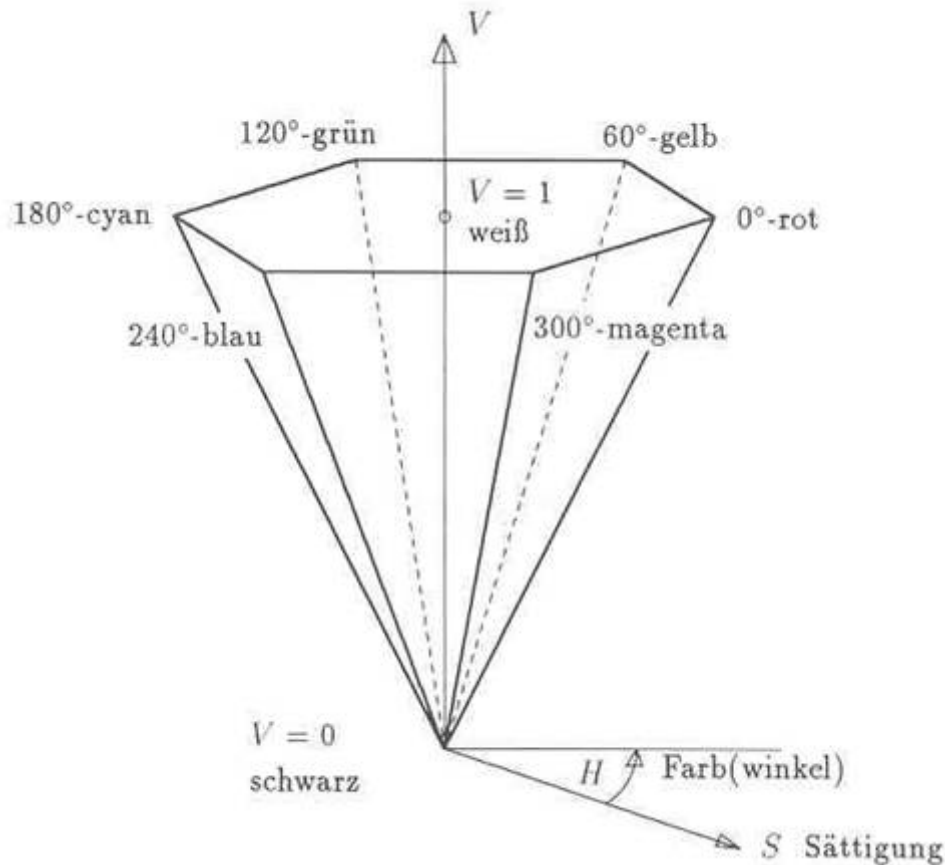


L*

a*

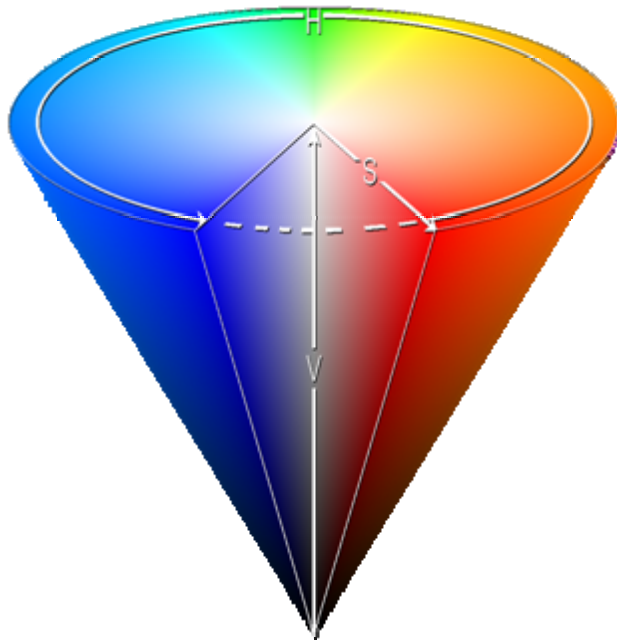
b*

Farbmodelle: HSV



- ▶ Hue, Saturation, Value
- ▶ Intuitiv orientiert
- ▶ Projektion des RGB-Würfels entlang der Diagonalen von Weiß nach Schwarz – Sechseck
- ▶ Sechseck ist Basis der HSV Pyramide

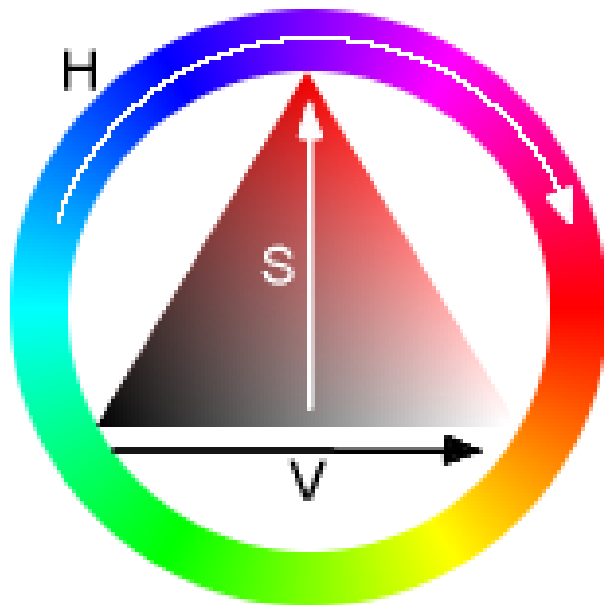
Farbmodelle: HSV



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/HSV_cone.png

- ▶ Sechseck als Farbkreis
- ▶ Farbe als Winkel (0° = Rot, 120° =Grün, 240° =Blau)
- ▶ S = Reinheitsgrad der Farbe, maximalen Reinheit ($S=1$) ganz außen
- ▶ Grauwerte (minimale Reinheit, $S=0$): Vertikalen Achse,
 - H undefiniert!
- ▶ V = Helligkeit: Farben an der Basis der Pyramide können die höchste Helligkeit besitzen

Farbmodelle: HSV



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/6/64/HSV_sample.png

- Berechnung aufgrund von R, G und B (OpenCV)

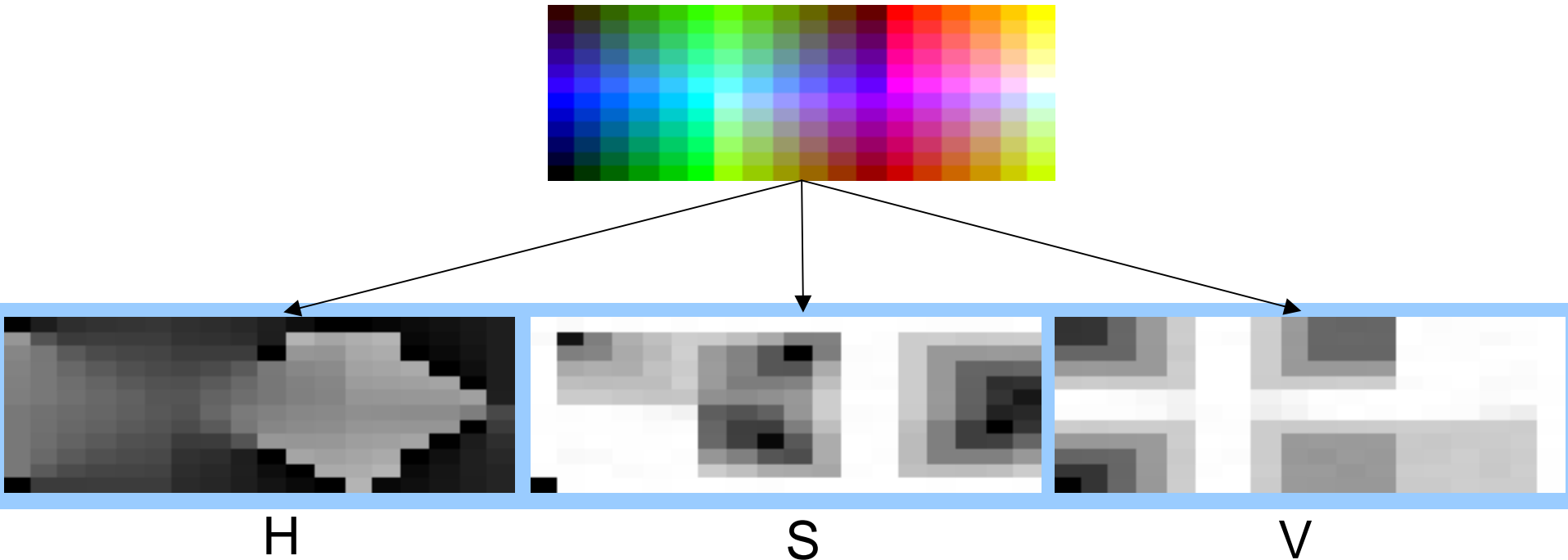
$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} (V - \min(R, G, B)) / V; & V \neq 0 \\ 0; & \text{sonst} \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \frac{(G - B) \cdot 60}{S}; & S \neq 0, V = R \\ 120 + \frac{(B - R) \cdot 60}{S}; & S \neq 0, V = G \\ 240 + \frac{(R - G) \cdot 60}{S}; & S \neq 0, V = B \end{cases}$$

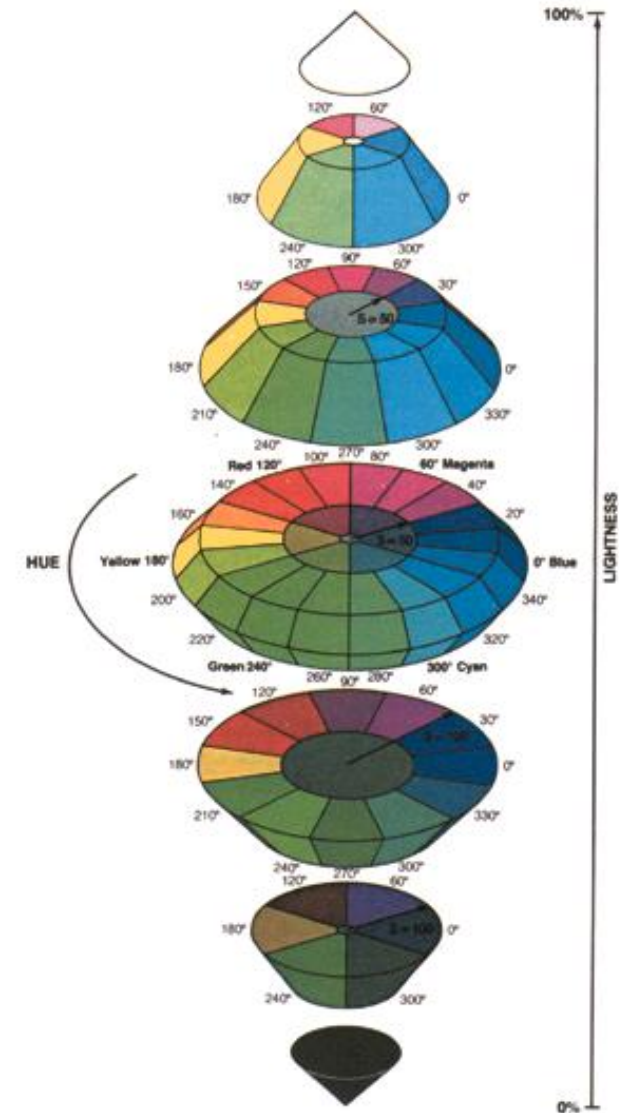
Farbmodelle: HSV

► HSV Farbkanäle



Farbmodelle: HLS

- ▶ Hue, Lightness, Saturation
- ▶ Darstellung als Doppelkegel
- ▶ intuitiv orientiert
- ▶ Farbselektion durch Farbwinkel H (Spektralfarben für $L=0.5$, $S=1$)
- ▶ Farben = Winkel auf dem Farbenkreis
- ▶ S repräsentiert Reinheit (wie HSV)
- ▶ L bestimmt die Helligkeit:
 - $L=0$:= Schwarz, $L=1$:= Weiß
 - maximale Sättigung bei $L=0,5$



<http://www.hrz.uni-dortmund.de/computerPostille/September1999/farb6.jpg>

Farbmodelle: HLS

- Berechnung aufgrund von R, G und B

$$V_{\max} = \max(R, G, B)$$

$$V_{\min} = \min(R, G, B)$$

$$L = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2}$$

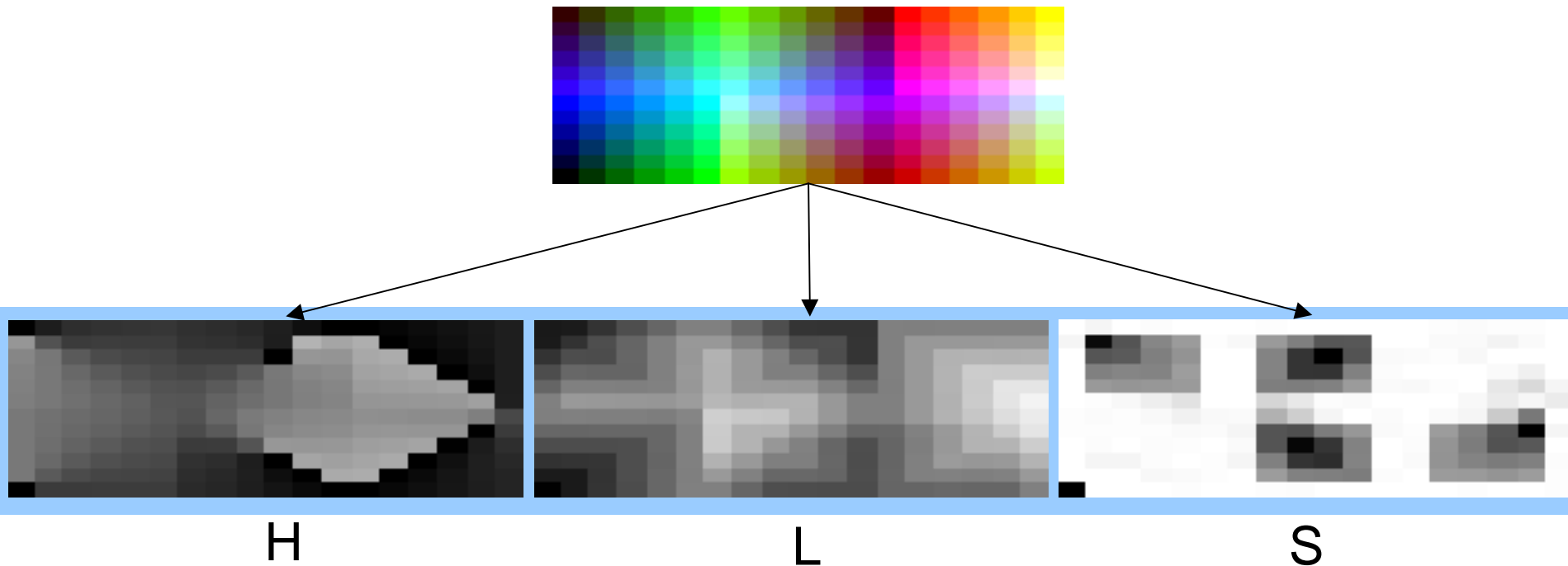
$$S = \begin{cases} \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2 - (V_{\max} + V_{\min})}; & L \geq 0.5 \\ 0; & L = 0 \\ \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}; & 0 < L < 0.5 \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \frac{(G - B) \cdot 60}{n}; & S \neq 0, V_{\max} = R \\ 120 + \frac{(B - R) \cdot 60}{n}; & S \neq 0, V_{\max} = G \\ 240 + \frac{(R - G) \cdot 60}{n}; & S \neq 0, V_{\max} = B \end{cases}$$

$$n = \begin{cases} (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\max}; & V_{\max} \neq 0 \\ 0; & \text{sonst} \end{cases}$$

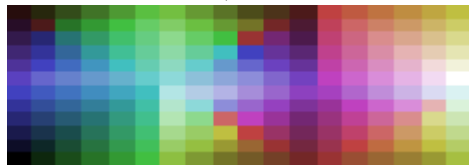
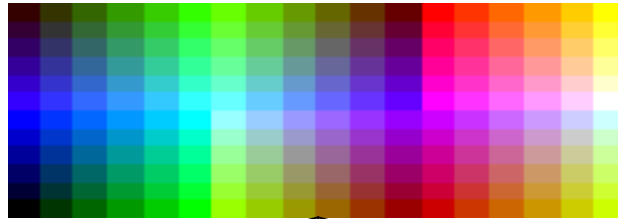
Farbmodelle: HLS

► HLS Farbkanäle

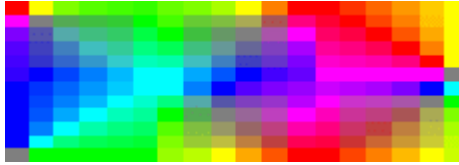


Farbmodelle: HLS

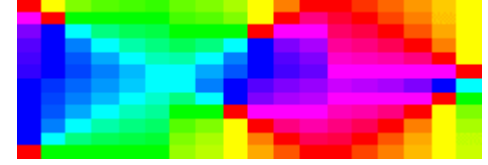
- ▶ Variation der Helligkeit und Sättigung
 - Setzen konstanter Werte



Sättigung $S=0,5$ bei
unveränderter Helligkeit



Helligkeit $L=0,5$ bei
unveränderte Sättigung



Helligkeit $L=0,5$ und
Sättigung $S=1,0$

Farbmodelle: HLS

- Manipulationen der Sättigung: $S = 0$



Farbmodelle: HLS

- Manipulationen der Sättigung: $S = 1$, $L = 0,5$



Farbmodelle: HLS

- ▶ Variation der Helligkeit oder Sättigung z.B. durch lineare Histogrammskalierung (vgl. Vorverarbeitung)

$$A(x, y) = \begin{cases} 0; & E(x, y) \cdot s + c < 0 \\ 255 & E(x, y) \cdot s + c > 255 \\ E(x, y) \cdot s + c; & \text{sonst} \end{cases}$$

- $E(x, y)$ Intensität an der Stelle (x, y) im Eingabebild
- $A(x, y)$ neue Intensität an der Stelle (x, y) im Ausgabebild
- s Skalierungsfaktor, c Verschiebungsfaktor
- Clipping, falls Werte außerhalb des Wertebereichs von 0 bis 255 liegen

Farbmodelle: HLS

- Skalierung der Sättigung mit Faktor $s=0,5$



Farbmodelle: HLS

- Skalierung der Sättigung mit Faktor $s=2$



Farbmodelle: HLS

- Skalierung der Helligkeit mit Faktor $s=1,5$



Farbmodelle: HLS

- Verschiebung der Helligkeit um $c=50$



Farbmodelle: HLS

- Verschiebung der Helligkeit um $c = -50$



Farbmodelle: HLS

- Verschiebung der Sättigung um $c = -100$



Farbmodelle: HLS

- Verschiebung des Farbwinkels um $c = -30$



Farbmodelle: HLS

- ▶ Selektives Verschiebung des Farbwinkels
 - Farbwinkel seien auf 180° diskretisiert (Darstellung mit 8Bit)

$$H_{tmp} = \begin{cases} H + c; & I_{\min} < H \leq I_{\max} \\ H & \text{sonst} \end{cases}$$

Hier zyklischen
Wertebereich beachten
für H um 0°

$$H_{new} = \begin{cases} H_{tmp} + 180; & H_{tmp} < 0 \\ H_{tmp} - 180; & H_{tmp} \geq 180 \\ H_{tmp}; & \text{sonst} \end{cases}$$

Farbmodelle: HLS

- ▶ **Selektives Verschiebung des Farbwinkels – Beispiel**
 - Aufgabe: Magentafarbene Lilie Blau färben
 - Farbwinkel seien auf 180° diskretisiert (Darstellung mit 8 Bit)
 - Rot= 0° (abweichend zum Modell auf Folie 24)
 - Dann ist Rot= 0° , Grün= 60° und Blau= 120°
 - Für alle Winkel im Intervall $[140^\circ \dots 180^\circ]$ verschiebe Farbwinkel um -60°
 - Winkel liegen dann im Intervall $[80^\circ \dots 120^\circ]$ (Blautöne)
 - Den selben Effekt erhält man durch eine Verschiebung der Farbwinkel um $+120^\circ$.
 - Winkel liegen dann zunächst im Intervall $[260^\circ \dots 300^\circ]$ und nach Korrektur um -180° ebenfalls im Intervall $[80^\circ \dots 120^\circ]$ (Blautöne)

Farbmodelle: HLS

► Verschiebung selektiver Farbwinkel



- Farbwinkel im Intervall $[140;180]$ um $c = -60$ verschoben

Merkmalsextraktion

- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
 - Was ist Farbe?
 - Farbmodelle
 - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

Beschreiben von Farben: CNS

- ▶ CNS: Color Naming System
- ▶ Benutzerfreundliches Systems zur Farbbeschreibung über drei Parameter:
 - Farbe
 - Reinheit (Sättigung)
 - Helligkeit
- ▶ Umgangsprachliche Ausdrücke (einfach oder zusammengesetzt)
- ▶ Literatur: [Berk, Brownston & Kaufmann 1982]

Beschreiben von Farben: CNS

▶ Werte für Farbtöne

- Blau (blue)
- Violett (purple)
- Rot (red)
- Orange (orange)
- Braun (brown)
- Gelb (yellow)
- Grün (green)

▶ Achromatische Farben

- Schwarz (black)
- Grau (gray)
- Weiß (white)

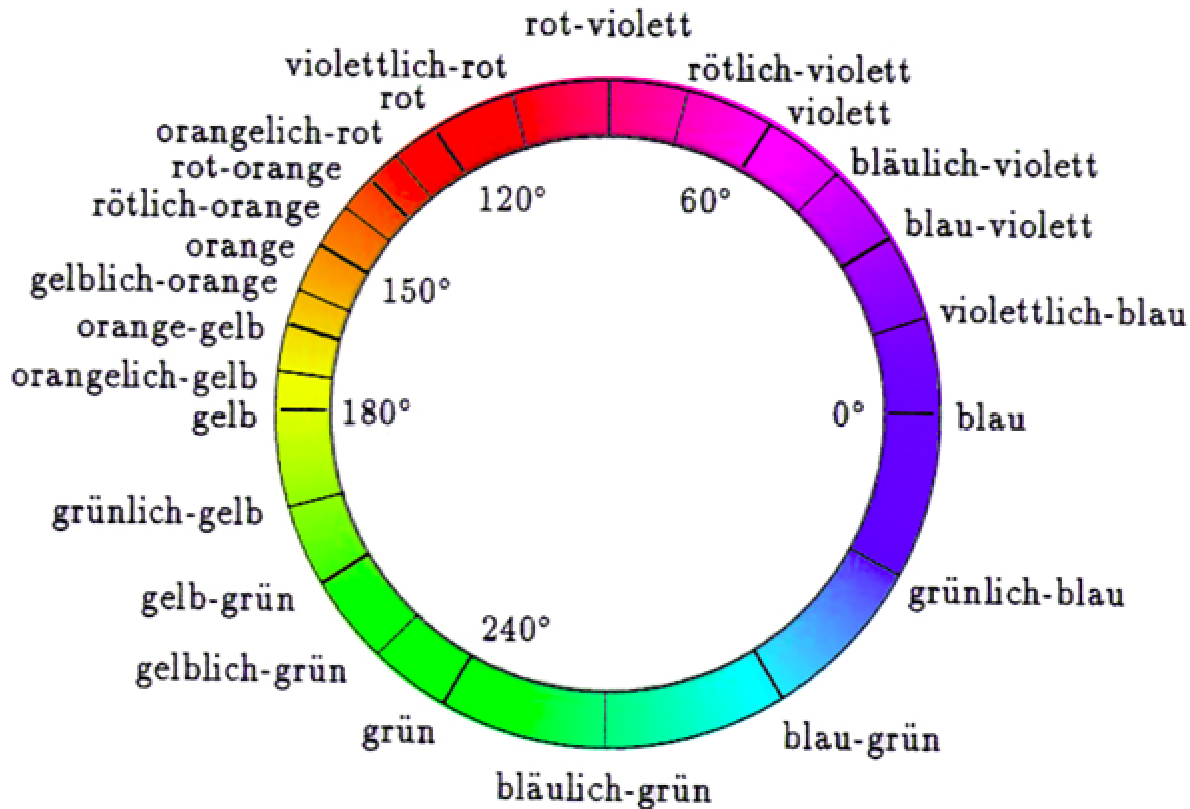
▶ Werte für Helligkeit

- Sehr dunkel (very dark)
- Dunkel (dark)
- Mittel (medium)
- Hell (light)
- Sehr hell (very light)

▶ Werte für Sättigung

- Gräulich (grayish)
- Gemäßigt (moderate)
- Stark (strong)
- Lebendig (vivid)

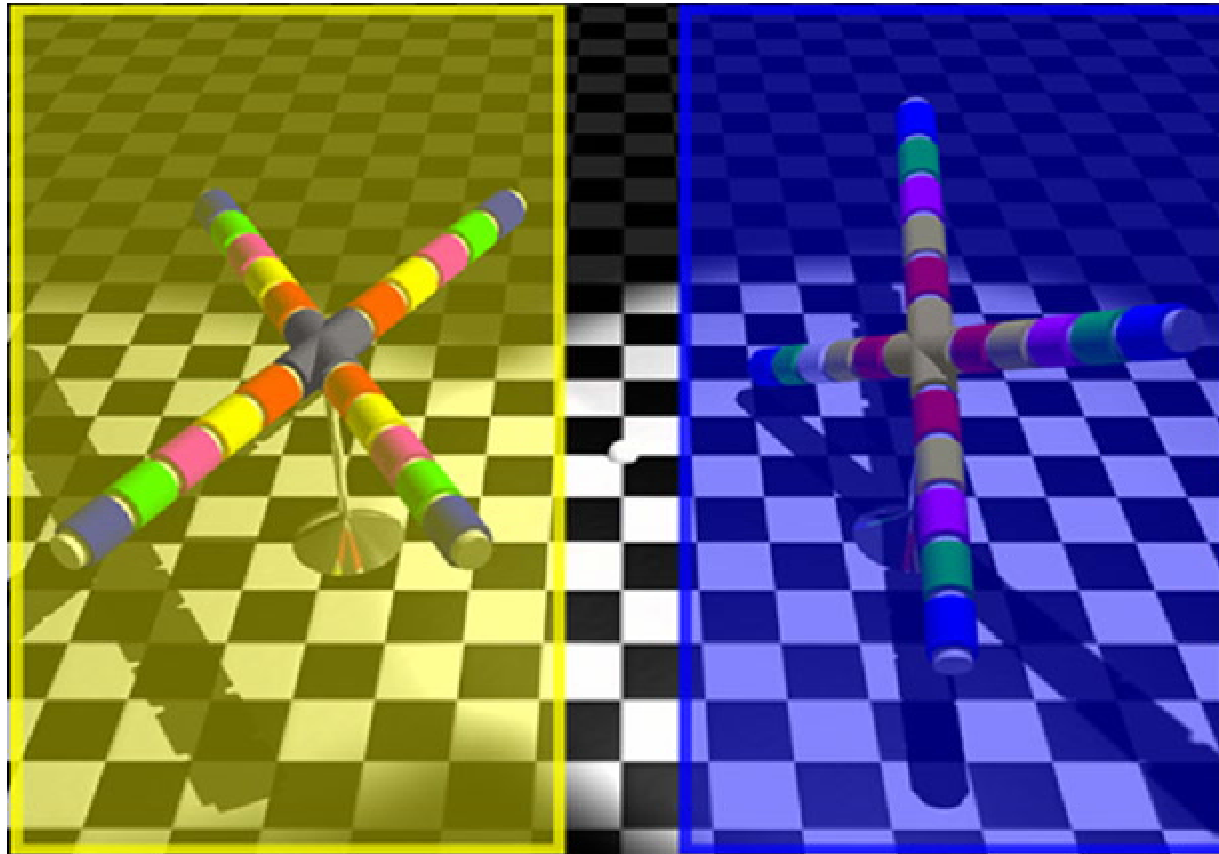
Beschreiben von Farben: CNS



[Fellner 92]

- ▶ Halbe Farbtöne := zusammengesetzte Farben
- ▶ Viertel Farben := Suffix „lich“
- ▶ Dadurch Entstehung von Kunstwörtern, wie „orangefarben“ oder „violettlich“

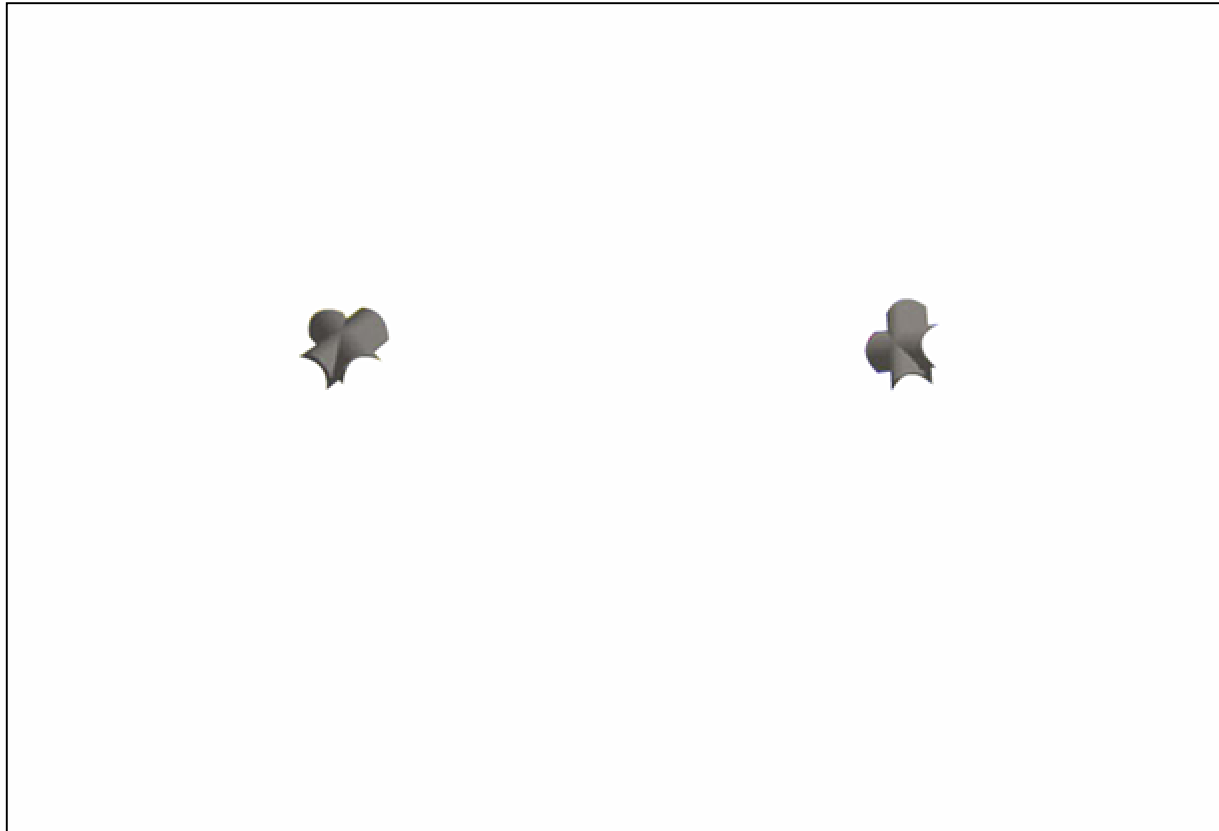
Farbwahrnehmung



<http://www.echalk.co.uk/amusements/OpticalIllusions/colourPerception/colourPerception.html>

- ▶ Farben werden im Kontext unterschiedlich wahrgenommen
- ▶ Die beiden mittleren Flächen haben denselben Grauton

Farbwahrnehmung



- ▶ Farben werden im Kontext unterschiedlich wahrgenommen
- ▶ Die beiden mittleren Flächen haben denselben Grauton

<http://www.echalk.co.uk/amusements/OpticalIllusions/colourPerception/colourPerception.html>

Farbbildverarbeitung

► Literatur

- [Fellner 92] W.D. Fellner. *Computergrafik*. BI Wissenschaftsverlag, 1992.
- [Fellner 07] W.D. Fellner. *Computer Grafik*. Springer, 2007
- [Foley 82] J.D. Foley and A. van Dam. *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*. Addison-Wesley, 1982.
- [Ford 98] Adrian Ford, Alan Roberts. Colour Space Conversions. <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>
- [Berk, Brownston & Kaufmann 1982] T. Berk, L. Brownston, A. Kaufman. *A new color-naming system for graphics languages*. IEEE Computer Graphics and Applications. Vol. 2, pp. 37-42, 44. May 1982.

Merkmalsextraktion

- ▶ Einführung
- ▶ Textur: Analyse von Texturen und Merkmalsextraktion
- ▶ Formmerkmale
- ▶ Grauwertverteilung: Densitometrische Merkmale
- ▶ Farbe
 - Was ist Farbe?
 - Farbmodelle
 - Beschreibung von Farbe
- ▶ Zusammenfassung

Merkmalsextraktion Zusammenfassung

- ▶ Merkmalsextraktion baut auf der Segmentierung auf, indem sie beschreibende Eigenschaften der segmentierten Regionen bestimmt
 - Texur, Form, Grauwert, Farbe, ...
- ▶ Bildhafte Information wird auf Beschreibung reduziert
- ▶ Eine Menge von Merkmalen beschreibt eine Region im Bild
- ▶ Diese Beschreibung bildet die Basis für die daran anschließende Klassifikation

Verarbeitungsstufen der Bildanalyse

- ▶ **Bildgebung**
 - Bilderfassung durch verschiedene Sensoren
- ▶ **Vorverarbeitung**
 - Bildverbesserung, ...
- ▶ **Segmentierung**
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- ▶ **Merkmalsextraktion**
 - Farbe, Kontur, Textur...
- ▶ **Klassifikation**
 - Diskriminantenfkt., Abstand, Wahrscheinlichkeit, ...



**Mustererkennungs-
Paradigma**

Klassifikation

- ▶ Einführung
- ▶ Klassifikationsverfahren
 - Distanzfunktionen
 - Diskriminantenfunktionen
 - Bayes Klassifikator
 - Entscheidungsbaum
 - Clusteranalyse
- ▶ Zusammenfassung

Klassifikation - Einführung

- ▶ Zuordnung unbekannten Bildobjekte zu Klassen (Kategorien)
 - ▶ Vorbedingung: Segmentierung und Merkmalsextraktion
 - ▶ Voraussetzung ist die Wahl signifikanter Merkmale
 - ▶ n (signifikante) Merkmale bilden einen n -dimensionalen Merkmalsvektor
 - ▶ Merkmalsvektor beschreibt Lage des Objektes im n -dimensionalen Merkmalsraum
 - ▶ Wolken- oder Clusterbildung durch ähnliche Vektoren
 - ▶ Pro Klasse wird eine Stichprobe von Objekten und ihre Merkmalsvektoren benötigt
 - ▶ Trainings- und Klassifikationsphase
- ⇒ Ziel der Klassifikation: Cluster erkennen und voneinander trennen

Klassifikation - Arbeitsschritte

- ▶ Schritt 1: Definition von Klassen
 - Ideal ist eine Definition der Klassen anhand von objektiv zu bewertenden Kriterien
 - Klassen sollten sich nach Möglichkeit nicht überschneiden und keine fließenden Grenzen haben
- ▶ Schritt 2: Festlegung von Merkmalen
 - Merkmale müssen eine Unterscheidung der Klassen ermöglichen
 - Merkmale müssen ggf. normiert werden
- ▶ Schritt 3: Bestimmung der Klassengrenzen
 - Z.B. Lernverfahren (überwacht oder unüberwacht)
- ▶ Schritt 4: Klassifikation unbekannter Objekte

Abstandsmaße

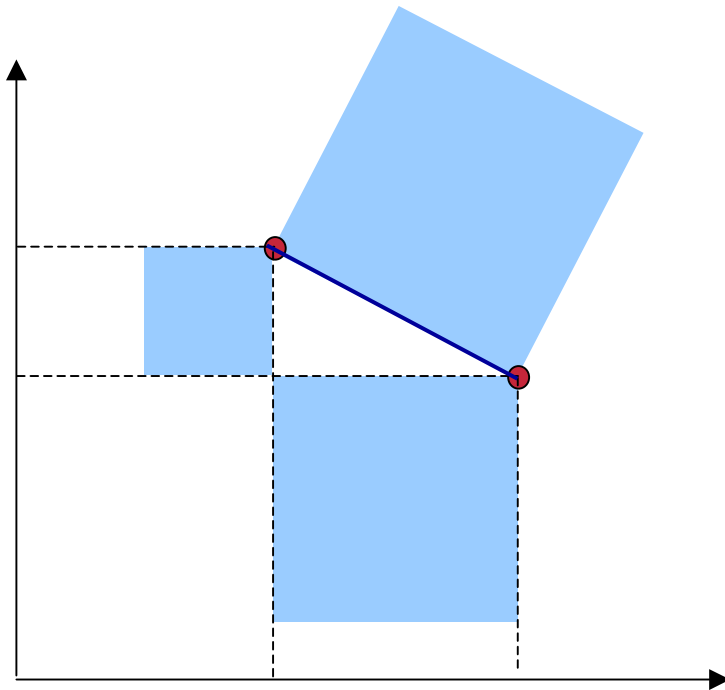
- ▶ Vergleich von n -dimensionalen Merkmalsvektoren
- ▶ Ggf. Normierung der Merkmale, um unabhängig von der Skalierung zu werden
- ▶ Berechnung des Abstandes im der Vektoren Merkmalsraum
 - Allgemein: L_p Distanz (Minkowski-Metrik)

$$L_p(x, y) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^p}$$

- x und y sind n -dimensionale Merkmalsvektoren

Abstandsmaße

- Euklidischer Abstand: Wurzel aus der Summe der quadratischen Differenzen (Minkowski-Metrik mit $p=2$)

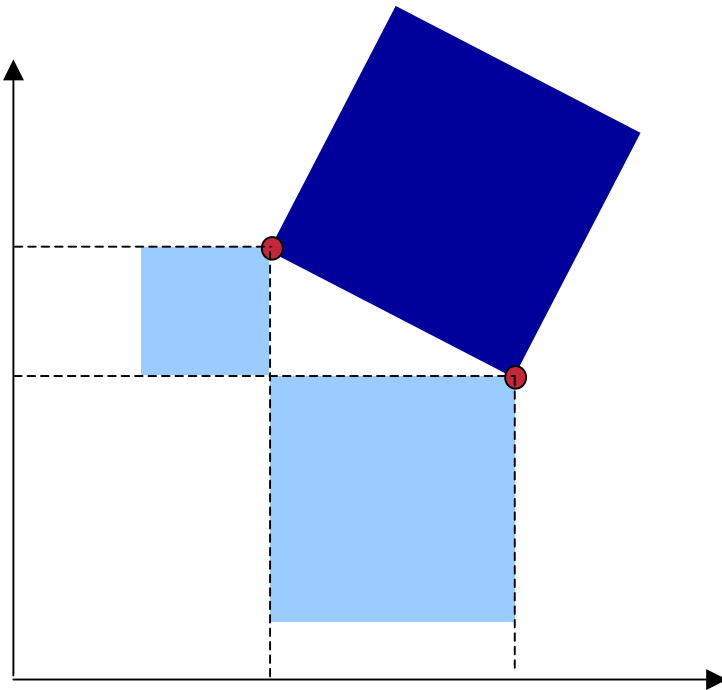


$$d(x, y) = L_2(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Entfernung entspricht der
Luftlinie

Abstandsmaße

- Quadratischer euklidischer Abstand: Summe der quadratischen Differenzen



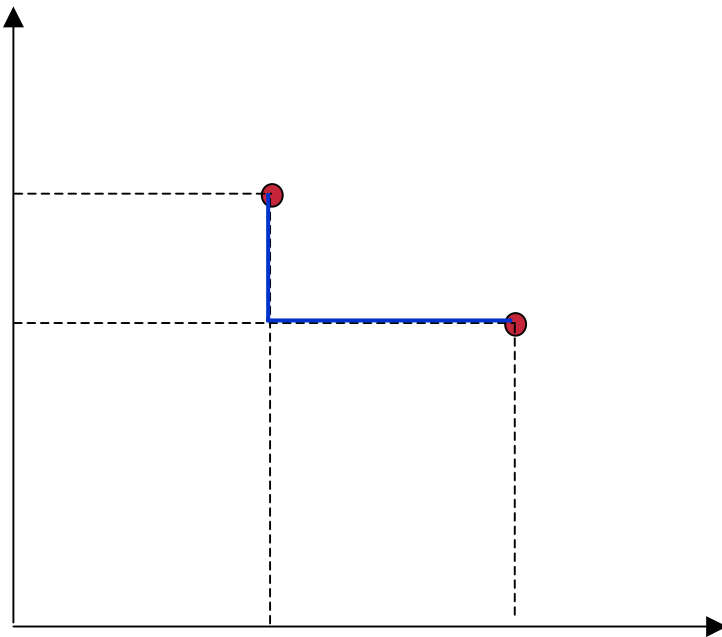
$$d(x, y) = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$$

Große Entfernungen fallen stärker in Gewicht

Abstandsmaße

- ▶ Manhattan, City block: Summe der absoluten Differenzen (Minkowski-Metrik mit $p=1$)

$$d(x, y) = L_1(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$



Länge des Weges,
wenn man sich auf den
Koordinatenachsen bewegt

Normierung von Merkmalen

- ▶ Normierung verhindert, dass verschieden große Merkmale unterschiedlich stark berücksichtigt werden
- ▶ Extremwertnormierung

$$m' = \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}}$$

- m_{\min} minimaler Merkmalswert, m_{\max} maximaler Merkmalswert
- Werte liegen nach der Normierung zwischen 0 und 1
- Voraussetzung: minimaler und maximaler Merkmalswert bekannt

Normierung von Merkmalen

▶ Relevanznormierung

- Gewichtung des Merkmals mit einem Faktor w in Hinblick auf seine Relevanz (Wichtigkeit) für das Klassifikationsproblem

$$m' = w \cdot m$$

- ▶ Die Wichtigkeit des Merkmals muss bekannt sein
- ▶ Relevanznormierung findet in der Regel zusätzlich zu einer vorherigen Extremwertnormierung statt

Gütekriterien für die Klassentrennung

► Fishers Discrimination Ratio

- Bewertung der Eignung eines Merkmals m zur Trennung zweier Klassen i, j

$$FDR = \frac{(\bar{m}_i - \bar{m}_j)^2}{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}$$

- \bar{m}_i Mittelwert und σ_i^2 Varianz des Merkmals m für die Klasse i , berechnet über die Merkmalsausprägungen einer Stichprobe der Klasse
- Voraussetzung: Signifikante Stichprobe vorhanden

Ursachen für Fehlklassifikationen

- ▶ Klassen überschneiden sich oder haben fließende Grenzen
 - Z.B. Klassifikation von Farben
 - Hier können u.U. Fuzzy Klassifikationsverfahren helfen
- ▶ Zu wenige oder nicht hinreichend signifikante Merkmale führen zu zufälligen Ergebnissen
 - Beispiel: Unterscheidung von Äpfeln und Birnen anhand der Farbe
- ▶ Messfehler bei der Merkmalsextraktion
- ▶ Unzureichendes Training eines Lernverfahrens
- ▶ Ungeeigneter Trainingsdatensatz
 - Z.B. ungleichmäßige Verteilung der Stichproben auf die Klassen