

T1 – Light & Colors

- T1 – Light and Colors**
- Good for your exam ;-)
 - Goals
 - Definitions (Task 1)
 - Color Spaces (Tasks 2 - 5)
 - CIE chromaticity diagram (Task 6)

1) Definitionen
 Erklären Sie in jeweils einem Satz die Begriffe Lichtfluss, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Farbvalenz.

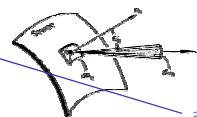
**Definitions
 (Repetition from Lecture)**

Measuring Light

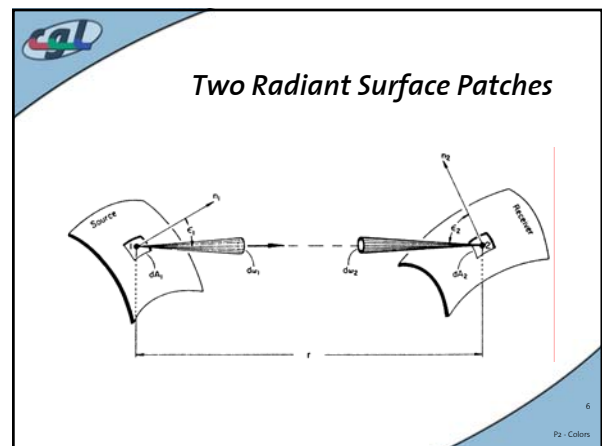
- Luminous Flux F [lumen] (*Lichtfluss*) human brightness sensitivity

$$F = \text{const} \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \text{const} : 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

- Luminous Intensity I [candela] (*Lichtstärke*)

$$I = \frac{dF}{d\omega_1}$$


angle



Measuring Light

- Luminance Y [candela/m²] (*Leuchtdichte*)

surface „out“ → $Y = \frac{d^2F}{dA_1 \cos \varepsilon_1 d\omega_1}$ → direction

- Illumination B [lux] (*Beleuchtungsstärke*)

surface „in“ → $B = \frac{dF}{dA_2}$

7
P2 - Colors

Color Spaces

Color Spaces

- Task 2: Properties of various color spaces – script, slides

2) Farbsysteme

- Wie rechnet man eine Farbspezifikation in RGB in eine Spezifikation in CMY um?
- Zu welchem Zweck wurden die Farbmodelle RGB, CMY(K), YIQ und HLS eingeführt und in welchen technischen Bereichen oder Anwendungen werden sie verwendet?
- Geben Sie für die Farbmodelle RGB, CMY, CMYK, YIQ und HSV jeweils die Kodierung für ein mittleres Grau an!

9
P2 - Colors

Color Spaces

- Task 3: sRGB color space and color temperature – script, slides

3) sRGB-Farbraum und Weisspunkt-Kalibrierung

Der sRGB-Farbraum ist ein auf elektronische Displays zugeschnittener Teilraum des XYZ-Farbraums. Die Basisvektoren orientieren sich an einem Satz von Phosphorvarianten, der häufig in Monitoren verwendet wird, bekannt als ITA4 (RT20) Standard. Die Farbwertanteile x und y der sRGB-Basisvektoren sind in nachfolgender Tabelle angegeben.

	x	y	z
R	0.64	0.30	0.15
G	0.33	0.60	0.06

ferner wird von Tagelichtverhältnissen nach D65 ausgegangen (siehe Skript), insbesondere wird der Display-Weisspunkt mit (0,9945, 1,000, 1,000) identifiziert.

- Nennen Sie je einen Vor- und Nachteil von sRGB-Farbräumen. Listen Sie außerdem je einen weiteren Farbraum auf, welcher den genannten Vor- oder Nachteil nicht aufweist.
- Berechnen Sie die z-Farbwertanteile der sRGB-Basisvektoren.
- Stellen Sie das Gleichungssystem zur Weisspunkt-Kalibrierung auf (siehe Skript). Nennen Sie hierbei die Kalibrierungsparameter C_R, C_G, C_B an.
- Sei als Lösung $C_R = 0.644$, $C_G = 1.070$ und $C_B = 1.207$ gegeben. Berechnen Sie die Transformationsmatrix vom linearen sRGB-Farbraum in den XYZ-Farbraum.

10
P2 - Colors

Color Spaces

- Task 4: PAL & NTSC – following slides

4) Farbraumtransformation nach PAL und NTSC (aus GDV-Prüfung 2004)

Vor bemerken Sie, dass Aufgaben die Umrechnung von Koordinaten von linearem sRGB-Farbraum in die beiden anderen Farbräume der Farbformate, nämlich den RGB-Farbraum und den XYZ-Farbraum.

- Wie aus den folgenden Schwarzmatrix-Systemen kompakt zu sein, sind beim europäischen RGB-Farbraum die drei Kanäle gerade die Primäranteile des Kompositorsystems verwendet. Die Z -Koordinate

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

einen dominierenden Grünanteil aufweist, werden die beiden Koordinaten C_1 und C_2 in gerader, also der Ebene, wie die Matrix angegeben.

$$C_1 = R - Y, C_2 = G - Y$$

Eine abschließende Normierung des C_1 und des C_2 Kanals führt schliesslich zum RGB-Farbraum.

$$T = 0.885C_1, V = 0.885C_2$$

Stellen Sie die Transformationsmatrix für die Umwandlung aus dem sRGB-Farbraum in den RGB-Farbraum auf.

- Der RGB-Farbraum wird von analogen Farbformaten verwendet. Er besteht aus dem RGB-Farbraum, wobei nur die R und G Kanäle verwendet und zusätzlich eine Steuerung von B über die Zeile ausgeht. Berechnen Sie die Transformationsmatrix für die Umwandlung von RGB zum NTSC-System. Angegebene Funktionen brauchen Sie nicht auszurechnen.
- Bei der Umwandlung von NTSC-Farbräumen treten sich die R und G Kanäle die Bandbreite etwa im Verhältnis 1:1. Berechnen Sie eine geeignete Bandbreitenbegrenzungsmatrix!

11
P2 - Colors

Task 4: PAL & NTSC

- Part a)

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- Part b)
 - rotation matrix: algebra
 - order of matrix multiplication!

12
P2 - Colors

Color Spaces

Task 5: Coloring
– cf. Exercise 1

5) Falschfarben

Gegeben sei ein Algorithmus, der ein Grauwertbild liefert (z.B. ein Mandelbrot). Die Intensitäten liegen zwischen 0 und 2^{24} . Wie würden Sie das Bild farblich kodieren, so dass der angegebene Intensitätsbereich farblich abgebildet wird? Dabei sollen hohe Intensitätswerte warmen (roten) Farben und niedrige kalten (blauen) Farben entsprechen.
Bemerkung: Eine Kodierung mit Graustufen lässt in True-Color-Systemen nur 256 Stufen zu, ist also für die meisten Anwendungen ungeeignet.

13
P2 - Colors

CIE
(Task 6, slides adapted from David Luebke @ UVA)

Physiology of Vision

- The center of the retina is a densely packed region called the *fovea*.
 - Cones much denser here than the *periphery*

15
P2 - Colors

Physiology of Vision: Cones

- Three types of cones:
 - R, most sensitive to red light (610 nm)
 - G, most sensitive to green light (560 nm)
 - B, most sensitive to blue light (430 nm)

16
P2 - Colors

Color Spaces

- Three types of cones suggests color is a 3D quantity. How to define 3D color space?

Amount of R,G,B needed to match a given wavelength.

17
P2 - Colors

CIE Color Space
(Commission Internationale d'Éclairage)

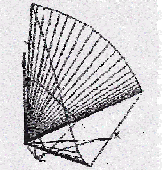
- Three hypothetical lights X, Y, and Z.
- Any wavelength λ can be matched perceptually by *positive* combinations of X,Y,Z.

Amount of X,Y,Z needed to match a given wavelength.

18
P2 - Colors

CIE Color Space

- The *gamut* of all colors perceivable is thus a three-dimensional shape in X,Y,Z:



Human Perceptual Gamut

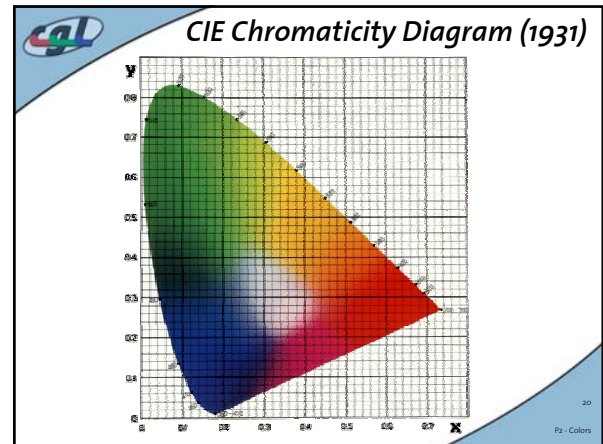
- For simplicity, we often project to the 2D plane $X+Y+Z=1$

$$x = X / (X+Y+Z)$$

$$y = Y / (X+Y+Z)$$

$$z = 1 - X - Y$$

19 P2 - Colors

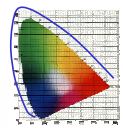


CIE Chromaticity Diagram (1931)

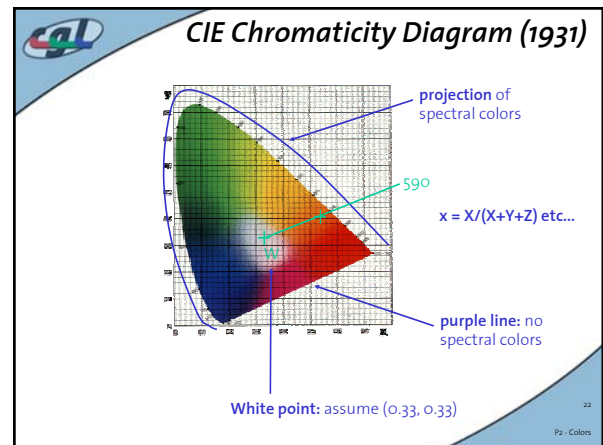
a) Welche Eigenschaft hat im CIE-Chart eine Mischfarbe bezüglich ihrer Grundfarben?
 b) Welche Bedeutung hat die Verbindungslinie zwischen 770 nm und 380 nm in diesem Diagramm?
 c) Das untenstehende Bild zeigt ein CIE-Chart. Tragen Sie die folgenden Farbwerten in das Chart ein!

	x	y	Y
C ₁	0.1	0.8	12
C ₂	0.6	0.3	26
C ₃	0.2	0.05	10

d) Bestimmen Sie die dominanten Wellenlängen λ_1 , λ_2 und λ_3 der 3 Valenzen!
 e) Wie verlaufen Isolinien gleicher Sättigung in dem Chart? Skizzieren Sie eine Isolinie, die durch die vorgegebenen Farbwerten geht.
 f) Bestimmen Sie die Valenz C₁₂₃, die aus der Mischung der 3 Valenzen C₁, C₂ und C₃ hervorgeht. Tragen Sie diese in das Chart ein!
 g) Sind alle Spektralfarben in voller Sättigung aus 3 linear unabhängigen Spektrallichtern mischbar?

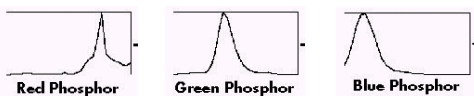


21 P2 - Colors



Device Color Gamuts

- Since X, Y, and Z are hypothetical light sources, no real device can produce the entire gamut of perceivable color
- Example: CRT monitor

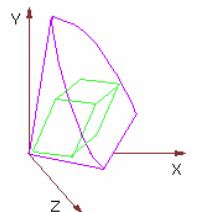


Red Phosphor **Green Phosphor** **Blue Phosphor**


23 P2 - Colors

Device Color Gamuts

- The RGB color cube sits within CIE color space something like this:

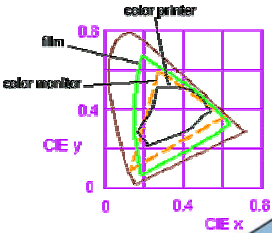


24 P2 - Colors




Device Color Gamuts

- We can use the CIE chromaticity diagram to compare the gamuts of various devices:
- Note, for example, that a color printer cannot reproduce all shades available on a color monitor



The diagram shows three overlapping color gamuts on a CIE chromaticity diagram. The x-axis is labeled 'CIE x' and ranges from 0 to 0.8. The y-axis is labeled 'CIE y' and ranges from 0 to 0.6. The 'film' gamut is the largest, extending from approximately x=0.1 to x=0.7 and y=0.1 to y=0.5. The 'color monitor' gamut is smaller, roughly from x=0.1 to x=0.6 and y=0.1 to y=0.4. The 'color printer' gamut is the smallest, roughly from x=0.1 to x=0.5 and y=0.1 to y=0.3. Arrows point from the labels to their respective gamuts.

P2 - Colors 25



Additional Reading

http://www.panimex.de/MeinWeb/lect/cho8/gran1_3.html

P2 - Colors 26