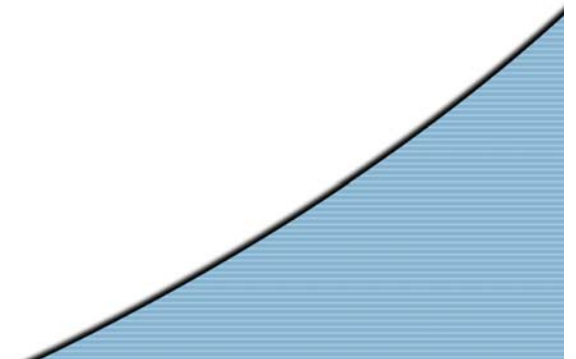




T1 – Light & Colors





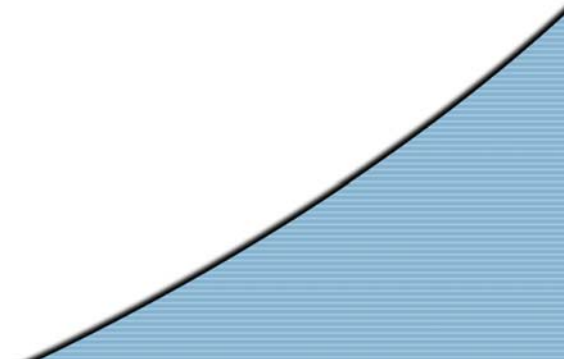
T1 – Light and Colors

- Good for your exam ;-)
- Goals
 - Definitions (Task 1)
 - Color Spaces (Tasks 2 - 5)
 - CIE chromaticity diagram (Task 6)



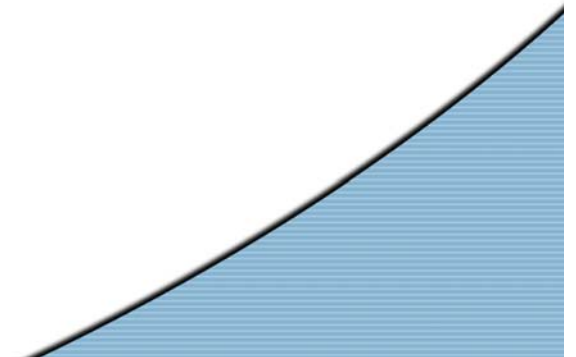
1) Definitionen

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





Definitions (Repetition from Lecture)





Measuring Light

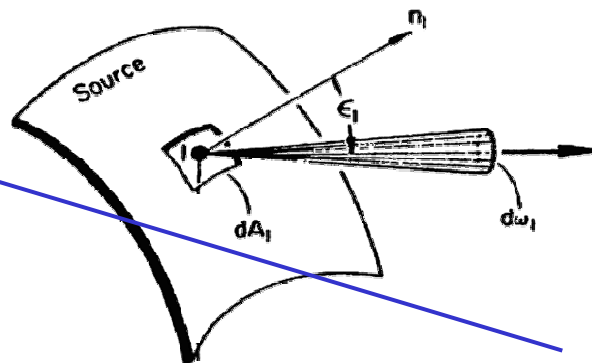
- Luminous Flux F [lumen] (*Lichtfluss*)

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*)

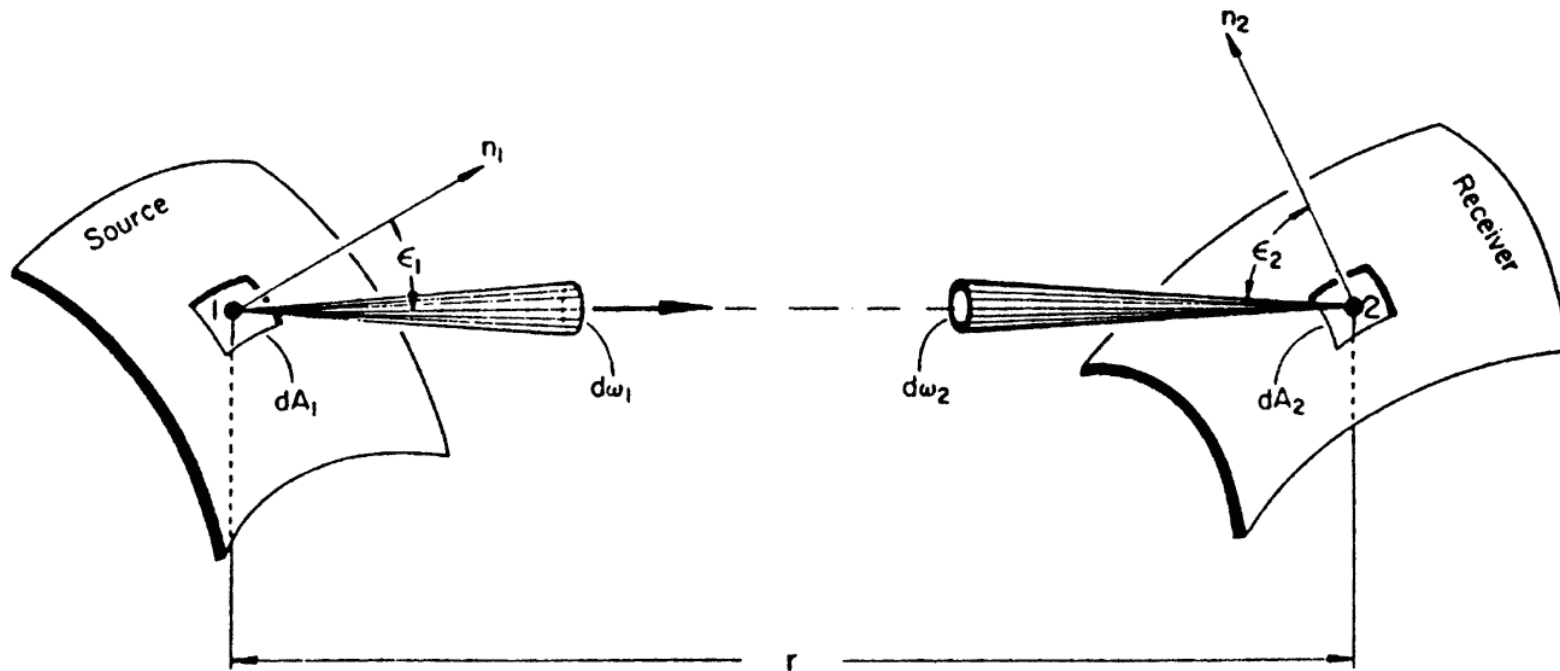
$$I = \frac{dF}{d\omega_1}$$



angle



Two Radiant Surface Patches





Measuring Light

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

surface „out“

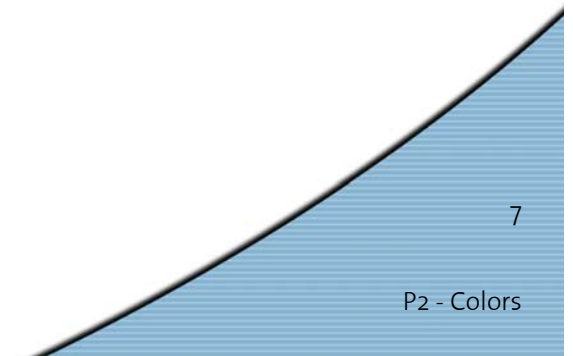
$$Y = \frac{d^2F}{dA_1 \cos \varepsilon_1 d\omega_1}$$

direction

- Illumination B [lux] (*Beleuchtungsstärke*)

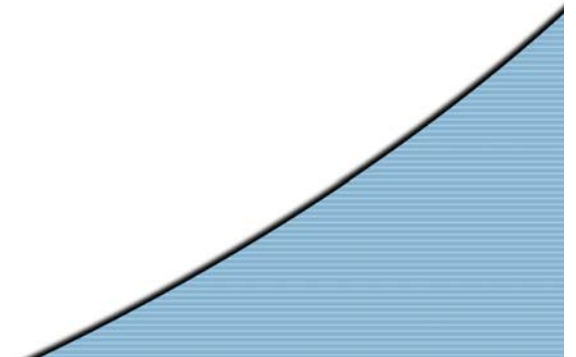
surface „in“

$$B = \frac{dF}{dA_2}$$





Color Spaces





Color Spaces

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

2) Farbsysteme

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



Color Spaces

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

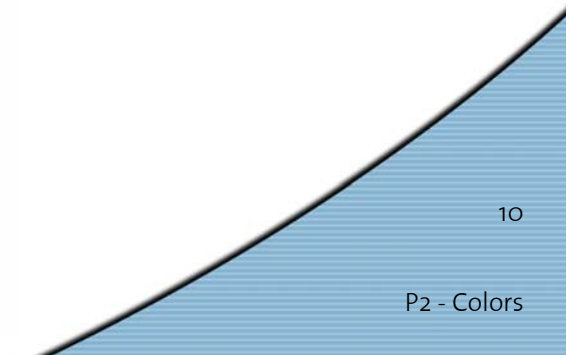
3) sRGB-Farbraum und Weisspunkt-Kalibrierung

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 ITU-R BT.709-Standard. Die Farbwertanteile x und y der sRGB-Basisvektoren sind in nachfolgender Tabelle angegeben.

	R	G	B
x	0.64	0.30	0.15
y	0.33	0.60	0.06

Ferner wird von Tageslichtverhältnissen nach D65 ausgegangen (siehe Skript), insbesondere wird der Display-Weisspunkt mit (0.9505, 1.000, 1.0890) identifiziert.

- Nennen Sie je einen Vor- und Nachteil von RGB-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). Benennen Sie hierbei die Kalibrationsparameter C_R , C_G und C_B .
- Sei als Lösung $C_R = 0.6445$, $C_G = 1.1919$ und $C_B = 1.2031$ gegeben. Berechnen Sie die Transformationsmatrix vom linearen sRGB-Farbraum in den XYZ-Farbraum.





Color Spaces

- Task 4: PAL & NTSC
– following slides

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

Wir betrachten in dieser Aufgabe die Umrechnung von Farbvalenzen vom linearisierten *sRGB*-Farbraum in die beiden verbreiteten Farbräume des Farbfernsehens, nämlich den *PAL*-Raum und den *NTSC*-Raum.

- a) Um zu den früheren Schwarzweiss-Systemen kompatibel zu sein, wird beim europäischen *PAL*-Farbraum als erste Koordinate gerade die *Y*-Koordinate des Normvalenzsystems verwendet. Da die *Y*-Koordinate

$$Y = 0.2126 \cdot R + 0.7152 \cdot G + 0.0722 \cdot B$$

einen dominierenden Grünanteil aufweist, werden die beiden Koordinaten C_b und C_r so gewählt, dass der Blau- resp. der Rotanteil überwiegen:

$$C_b = B - Y, C_r = R - Y.$$

Eine abschliessende Normierung des C_b - und des C_r -Kanals führt schliesslich zum *YUV*- oder *PAL*-Raum:

$$U = 0.49C_b, V = 0.88C_r.$$

Setzen Sie die Transformationsmatrix für die Umwandlung aus dem *sRGB*-Farbraum in den *YUV*-Farbraum auf.

- b) Der *YIQ*- oder *NTSC*-Farbraum wird vom amerikanischen Farbfernsehen verwendet. Er entsteht aus dem *PAL*-Farbraum, indem man die *U*- und *V*-Koordinaten vertauscht und anschliessend eine Drehung um -33 Grad um die *Y*-Achse ausführt. Berechnen Sie die Transformationsmatrix für die Konvertierung von *PAL* nach *NTSC*. Trigonometrische Funktionen brauchen Sie nicht auszuwerten.
- c) Bei der Uebertragung von *NTSC*-Farbsignalen teilen sich die *YIQ*-Kanäle die Bandbreite etwa im Verhältnis 8:5:2. Weshalb wird diese ungleiche Bandbreitenverteilung vorgenommen?



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!



Color Spaces

Task 5: Coloring – cf. Exercise 1

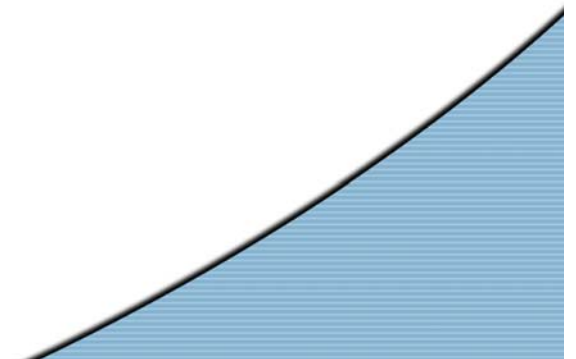
5) Falschfarben

Gegeben sei ein Algorithmus, der ein Grauwertbild liefert (z.B. ein Mandelbrot). Die Intensitäten liegen zwischen 0 und $2^{24}-1$. 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.

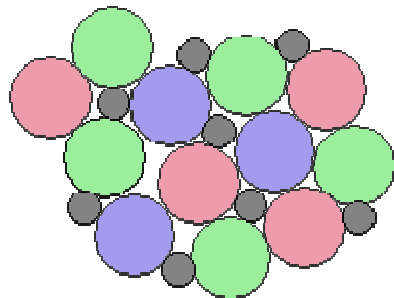


CIE
*(Task 6, slides adapted from
David Luebke @ UVA)*

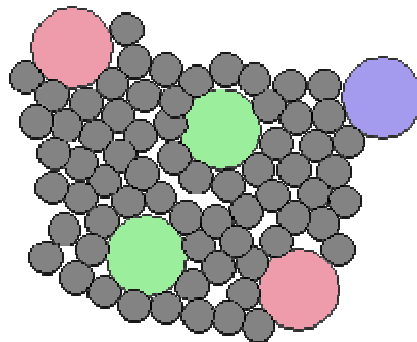


Physiology of Vision

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



1.35 mm from retina center

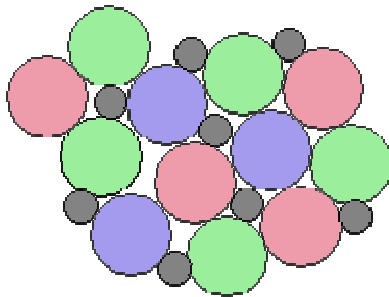


8 mm from retina center



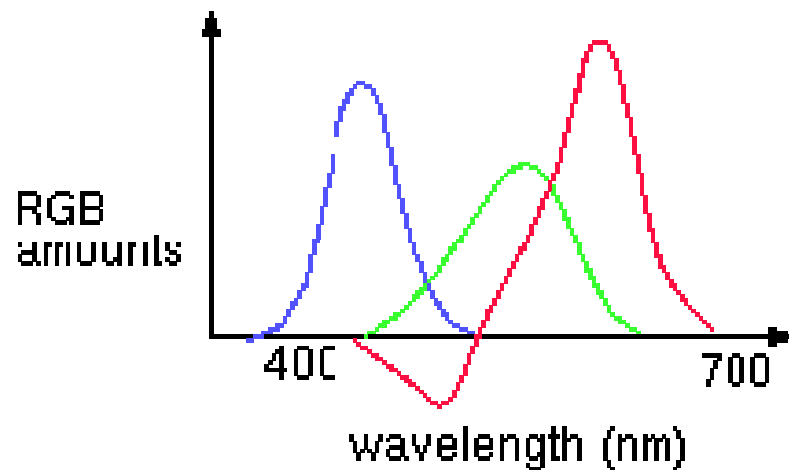
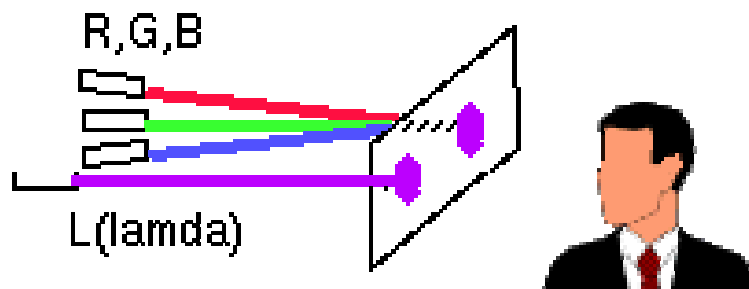
Physiology of Vision: Cones

- 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)



Color Spaces

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

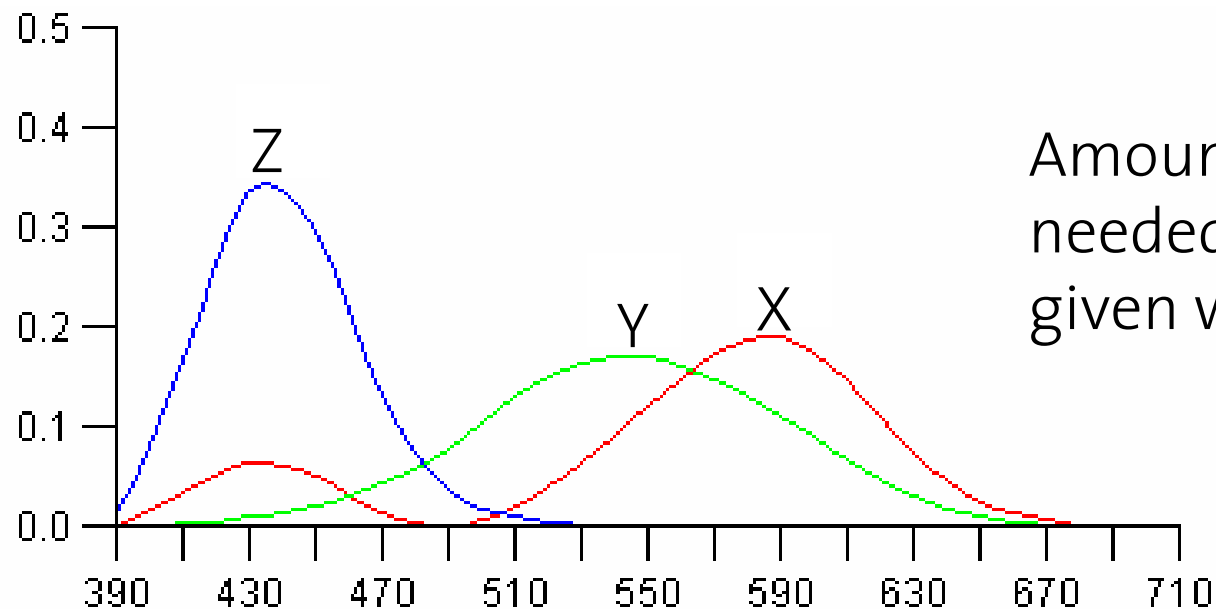


Amount of R,G,B needed to match a given wavelength.



CIE Color Space (Commission Internationale d'Eclairage)

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

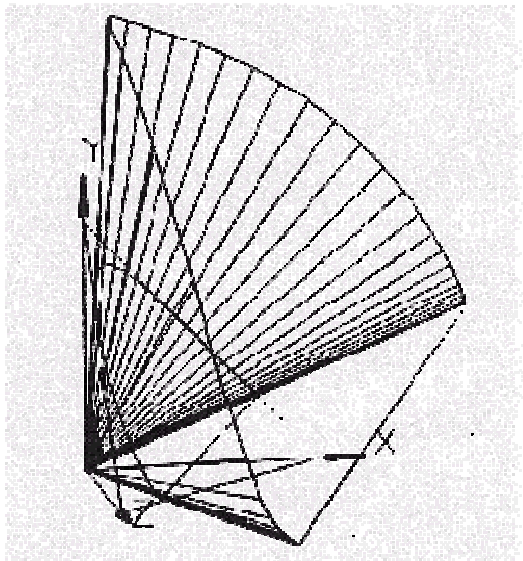


Amount of X,Y,Z
needed to match a
given wavelength.



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 $X+Y+Z=1$

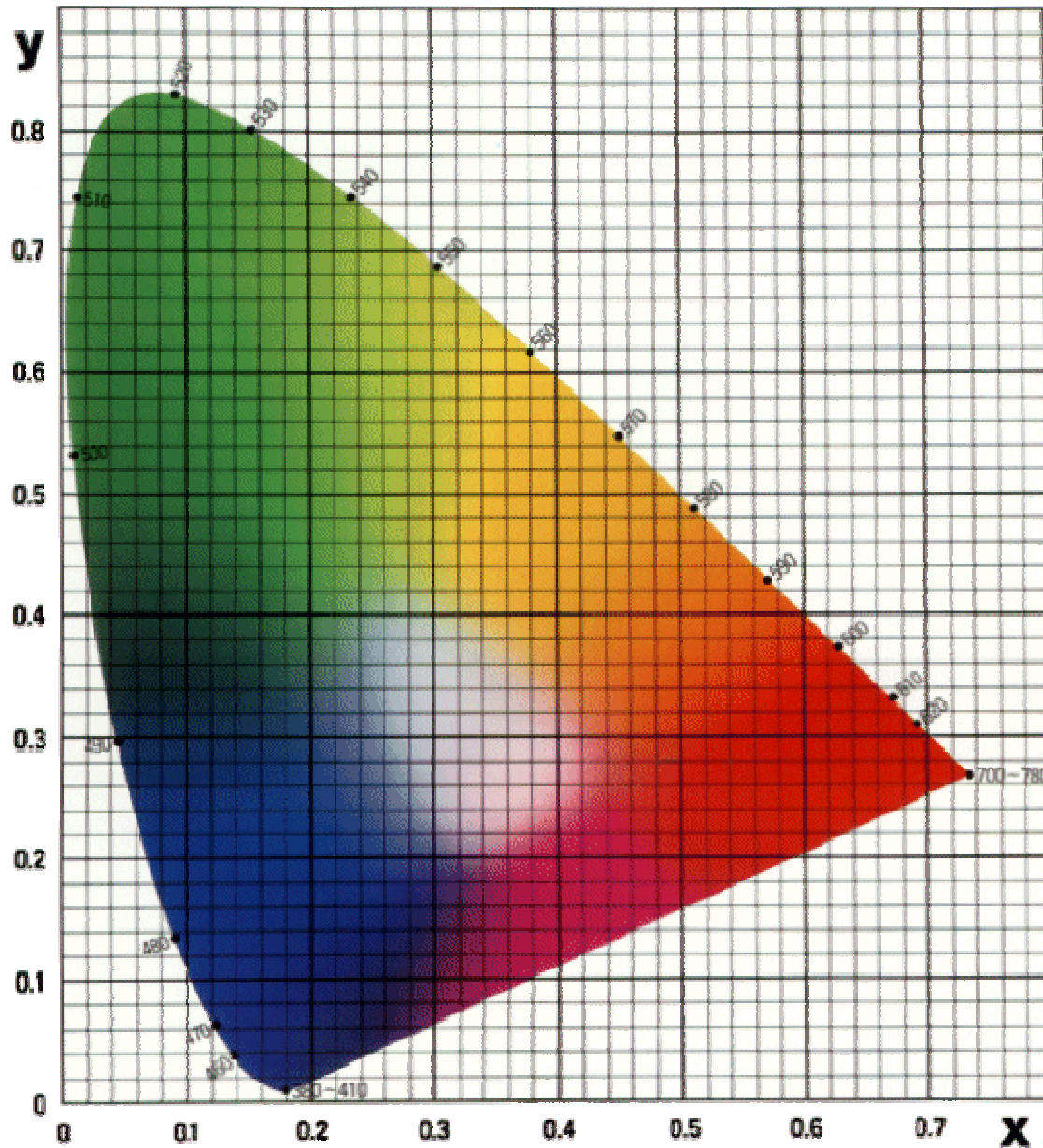
$$x = X / (X+Y+Z)$$

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

$$z = 1 - X - Y$$

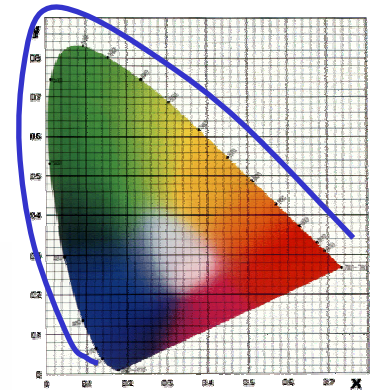


CIE Chromaticity Diagram (1931)





CIE Chromaticity Diagram (1931)



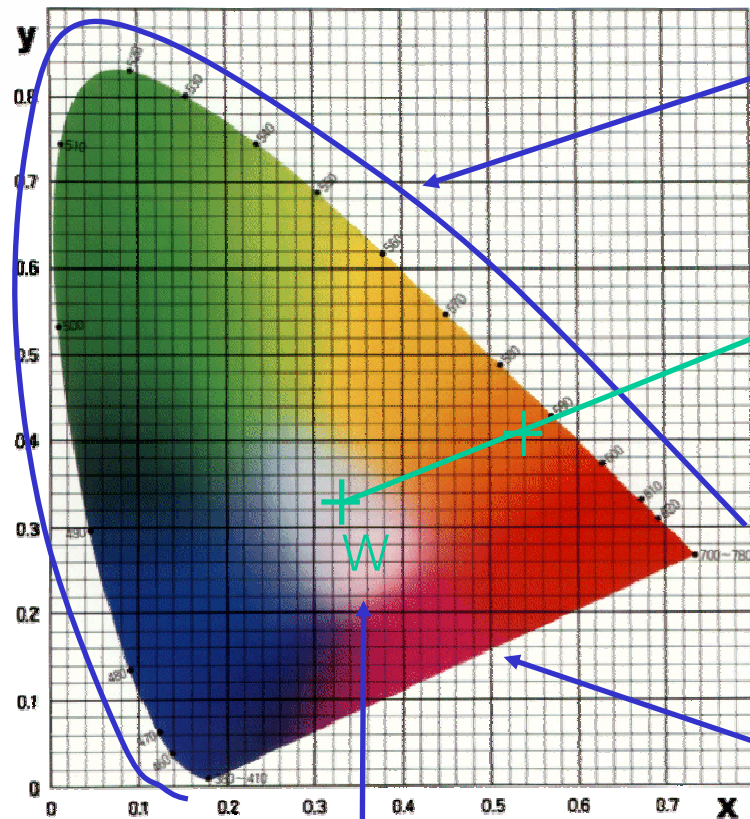
- a) Welche Eigenschaft hat im CIE-Chart eine Mischfarbe bezüglich ihrer Grundfarben?
- b) Welche Bedeutung hat die Verbindungslinie zwischen 770 nm und 380 nm in diesem Diagramm?
- c) Das untenstehende Bild zeigt ein CIE-Chart. Tragen Sie die folgenden Farbvalenzen in das Chart ein!

	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 Farbvalenzen 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?



CIE Chromaticity Diagram (1931)



projection of spectral colors

590

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

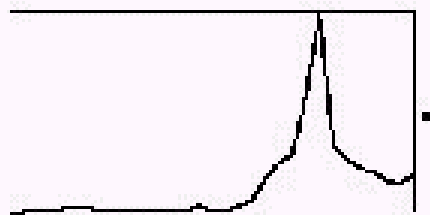
purple line: no spectral colors

White point: assume (0.33, 0.33)

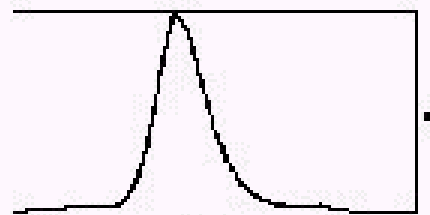


Device Color Gamuts

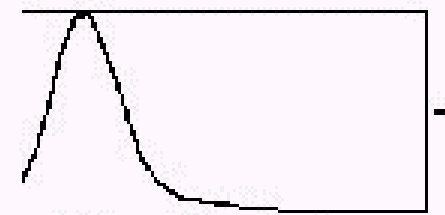
- Since X, Y, and Z are hypothetical light sources, no real device can produce the entire gamut of perceivable color
- Example: CRT monitor



Red Phosphor



Green Phosphor

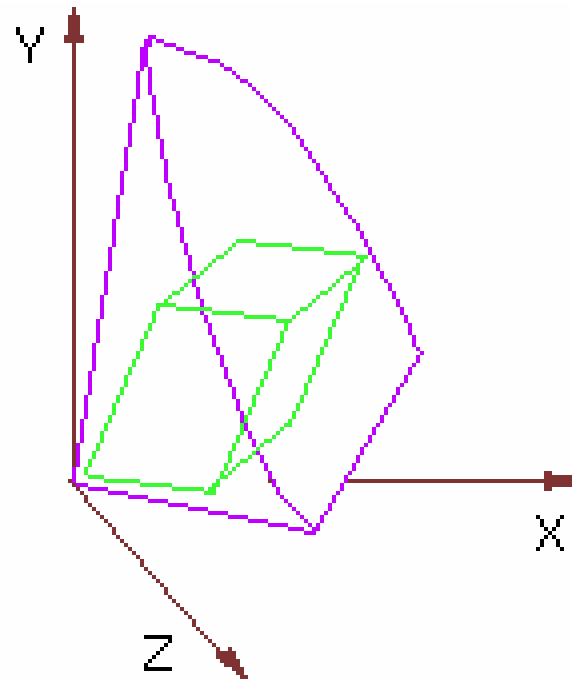


Blue Phosphor



Device Color Gamuts

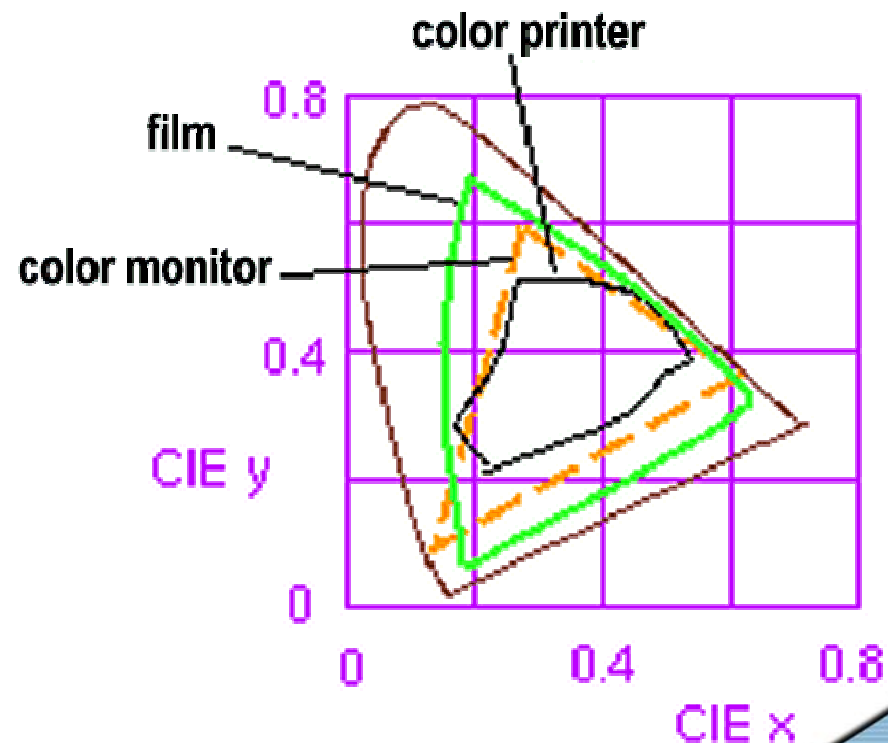
- The RGB color cube sits within CIE color space something like this:





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





Additional Reading

http://www.panimex.de/MeinWeb/lect/cho8/gra11_3.html