



# „Ordnung der Farben“

WS 24/25

Prof. Dr. Elke Hergenröther

*Computergrafik und  
Informationsvisualisierung*

Norwegen

# Prüfungstermine

Vorschlag:

- Donnerstag, 12.02.2025
- Dienstag, 17.02.2025
- Donnerstag, 19.02.2025

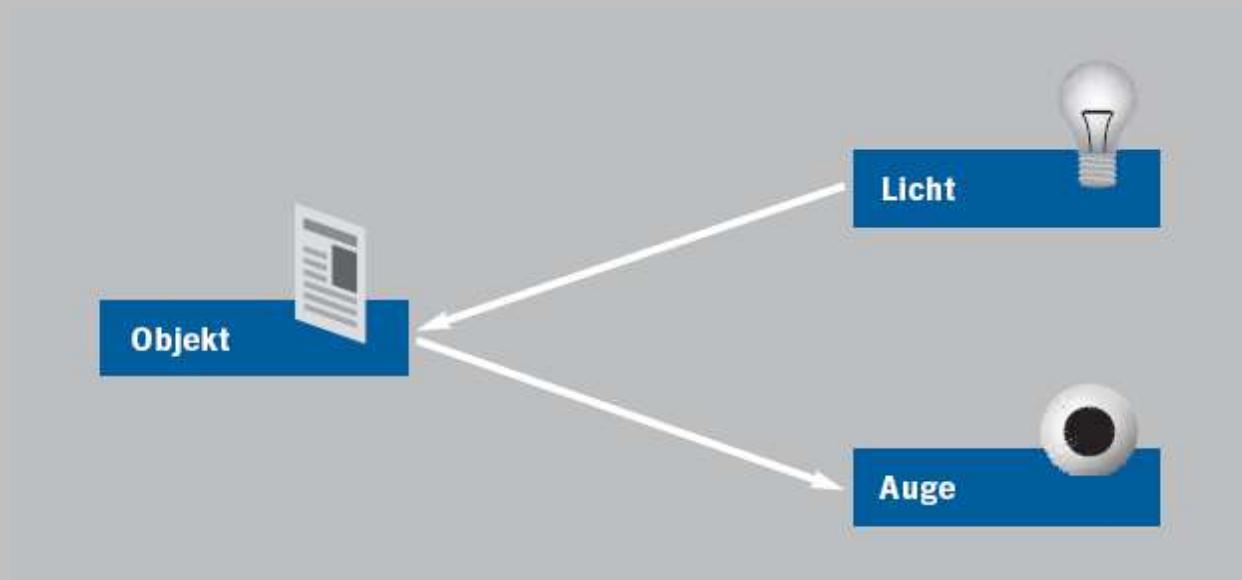
Beisitzer: Viktor Kretzschmar



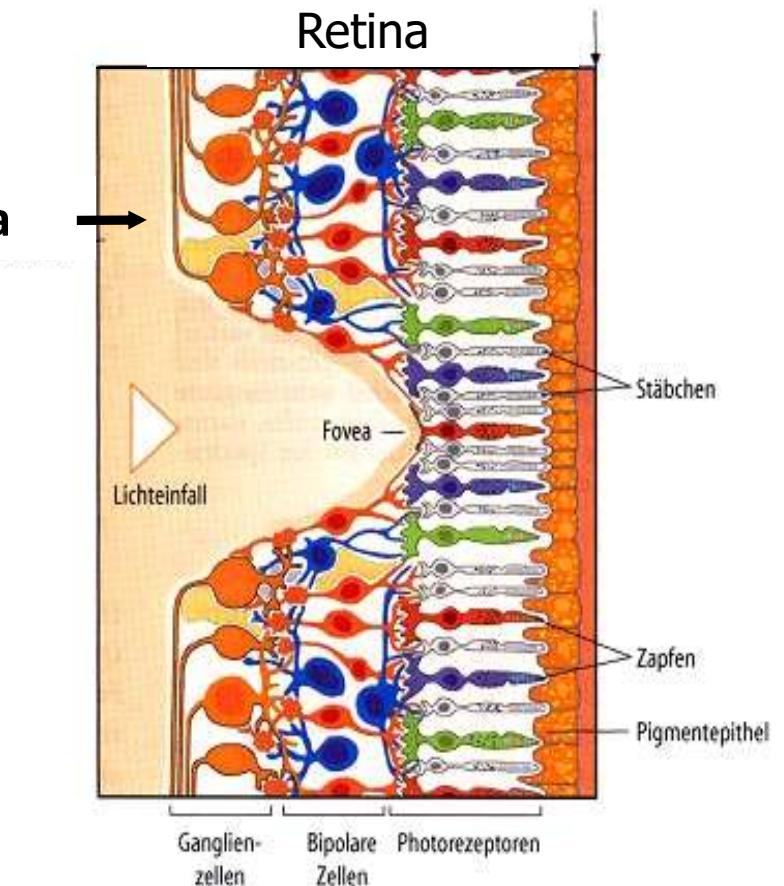
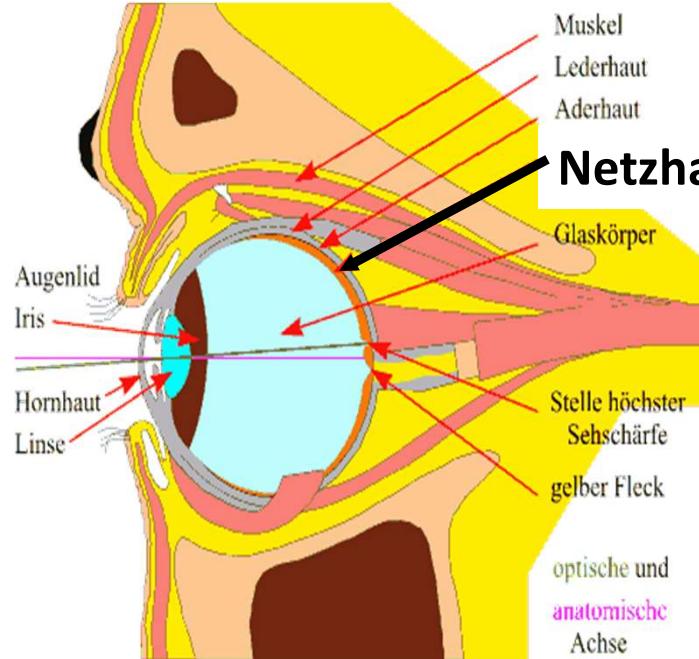
# Ordnung der Farben

- Farbwahrnehmung
- Entwicklung der Farbsysteme
- CIE Farbdiagramme
- LAB-Farbmodell
- Anwendungsgebiete

# 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
- Helligkeitsunterschiede (Grauwerte)
- Liegen am Rand der Retina

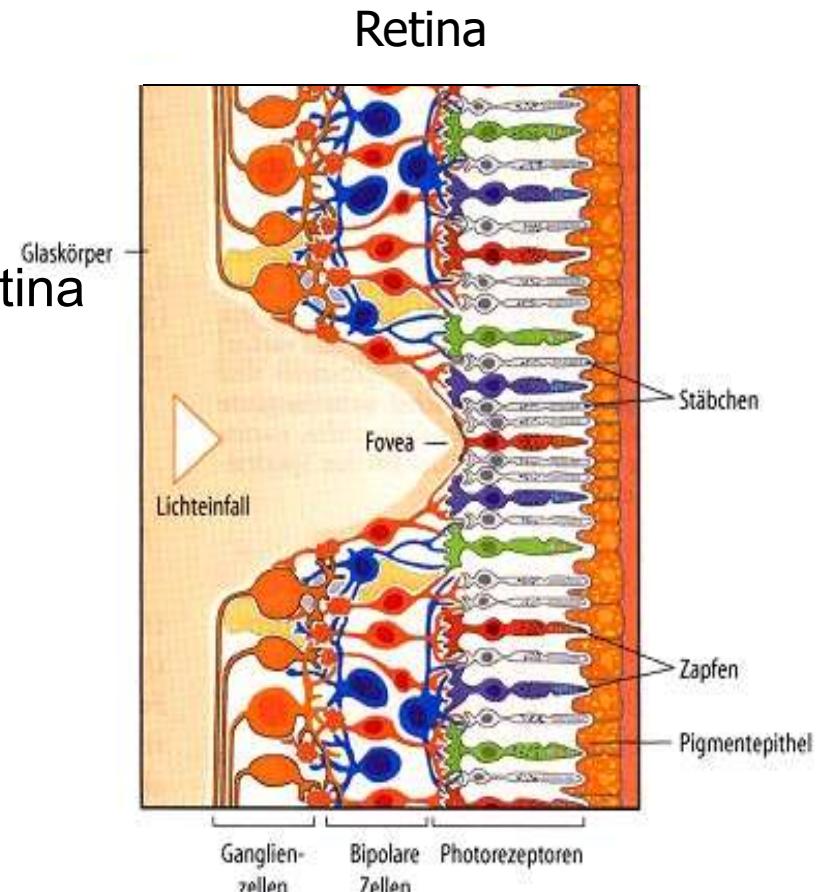
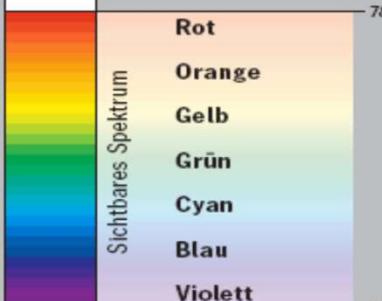


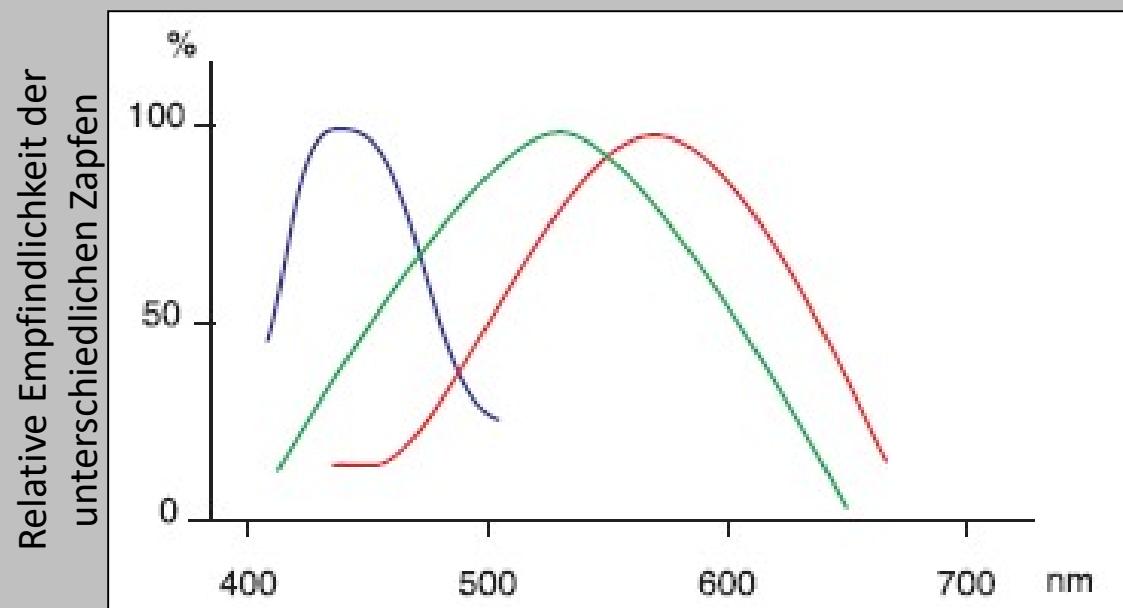
Abbildung: [www.psychologie.uni-heidelberg.de](http://www.psychologie.uni-heidelberg.de)

# → Elektromagnetisches Spektrum →

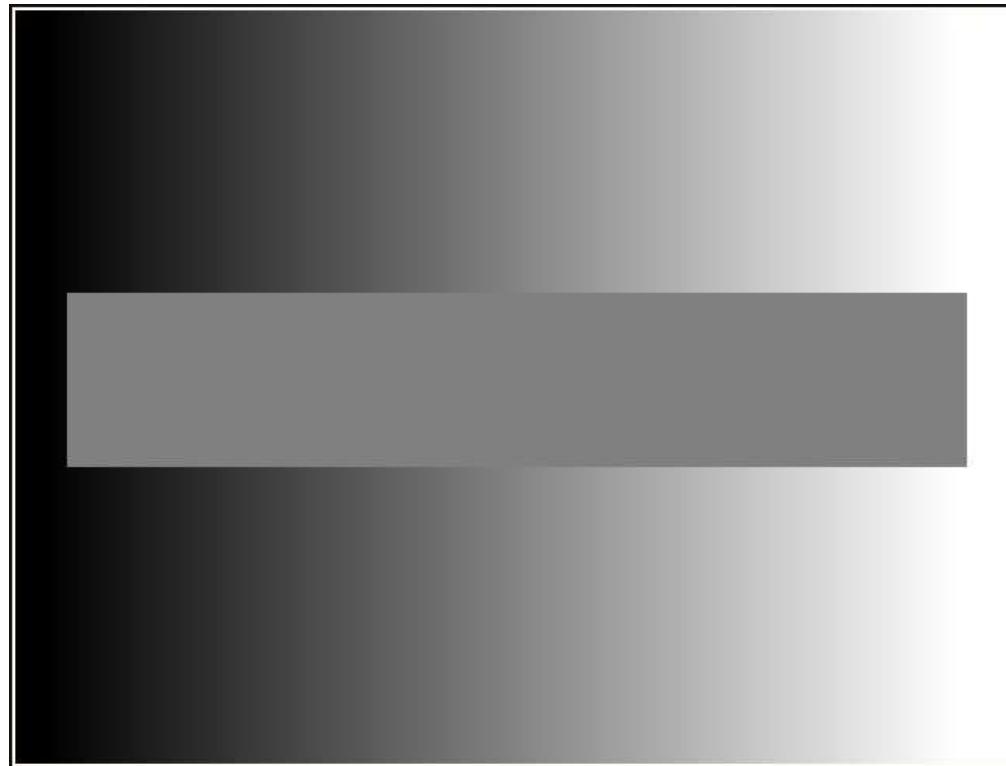
Wechselstrom
Langwellen
Mittelwellen
Kurzwellen
Ultrakurzwellen
Infrarote Strahlen
 Sichtbares Spektrum Rot Orange Gelb Grün Cyan Blau Violett
Ultraviolette Strahlen
Röntgen-Strahlen
Gamma-Strahlen
Kosmische Strahlen

## Farbwahrnehmung durch Zapfen und Stäbchen

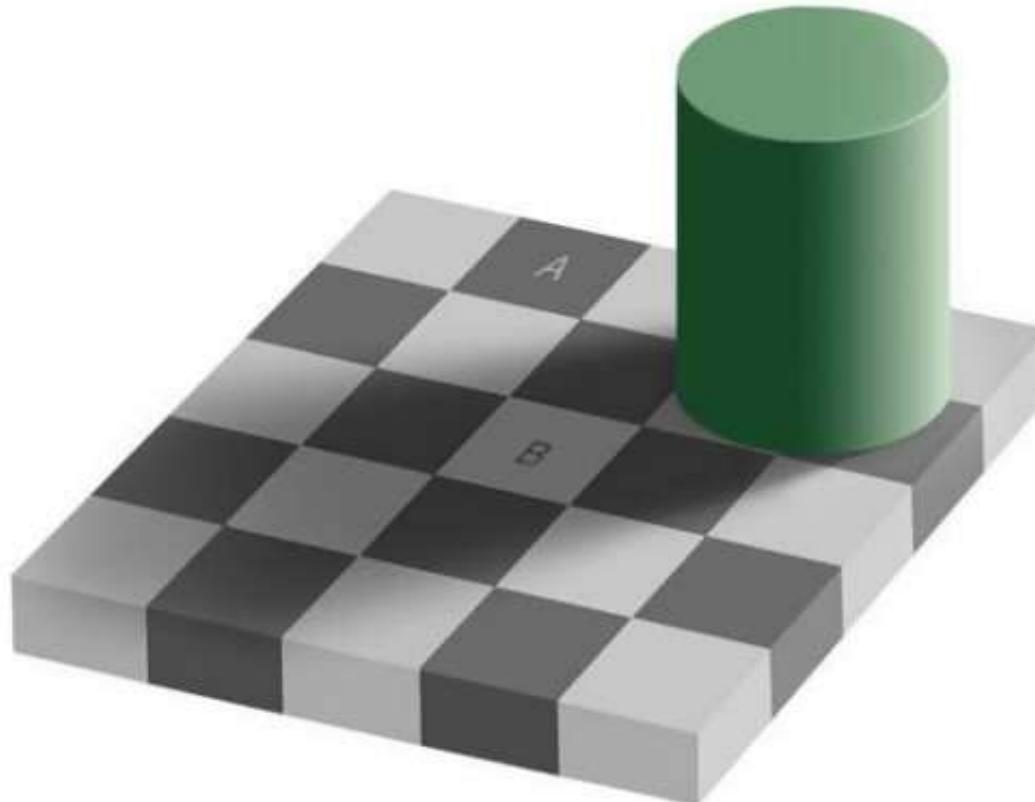
Wellenlänge des Lichtes entscheidet über die Intensität der Innervierung der Farbsensoren (Zapfen).



# Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung

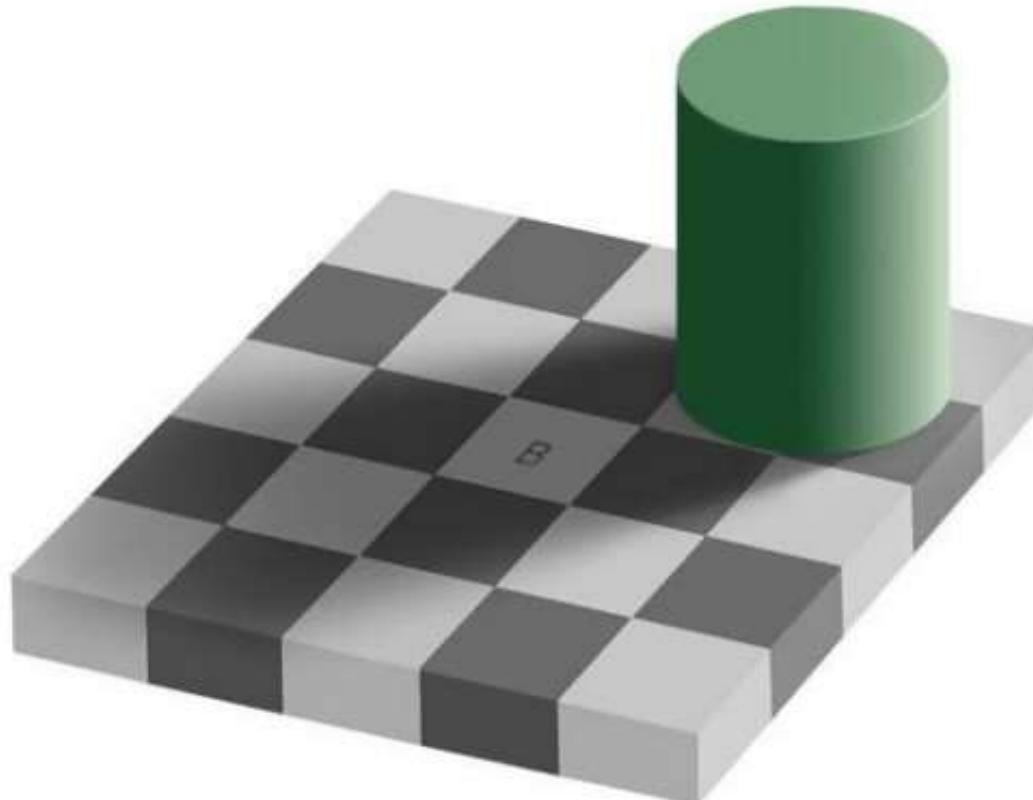


# Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung



(Wikipedia)

# Einflussfaktoren subjektiver Farbwahrnehmung: Farbliche Umgebung



(Wikipedia)

# Elektromagnetisches Spektrum →

Wechselstrom

Langwellen

Mittelwellen

Kurzwellen

Ultrakurzwellen

Infrarote Strahlen

Rot

Orange

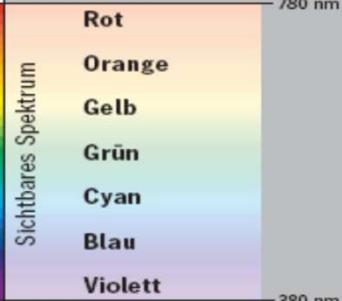
Gelb

Grün

Cyan

Blau

Violett



# Was sind Farben?

**Umgangssprachlich:**  
Farbstoffe (Pigmente)

**In der Farblehre (*Farbmatrik*):**

Sinneseindrücke, die unser Gehirn erzeugt, wenn Strahlung auf die Netzhaut trifft

# Elektromagnetisches Spektrum →

Wechselstrom

Langwellen

Mittelwellen

Kurzwellen

Ultrakurzwellen

Infrarote Strahlen

Rot

Orange

Gelb

Grün

Cyan

Blau

Violett

Sichtbares Spektrum

780 nm

380 nm

Ultraviolette Strahlen

Röntgen-Strahlen

Gamma-Strahlen

Kosmische Strahlen

# Was sind Farben?

Farbe = subjektiver Eindruck  
hervorgerufen durch physikalische  
Strahlung

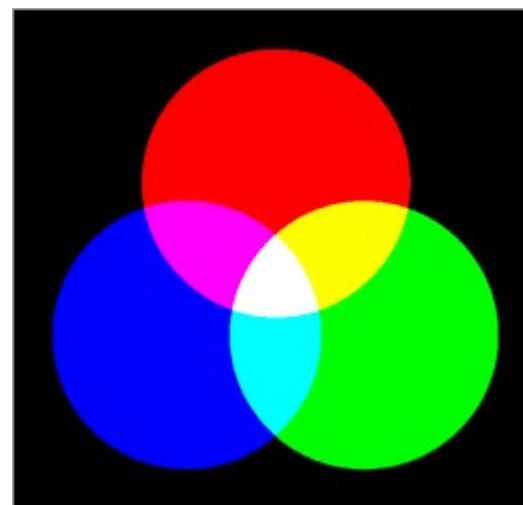
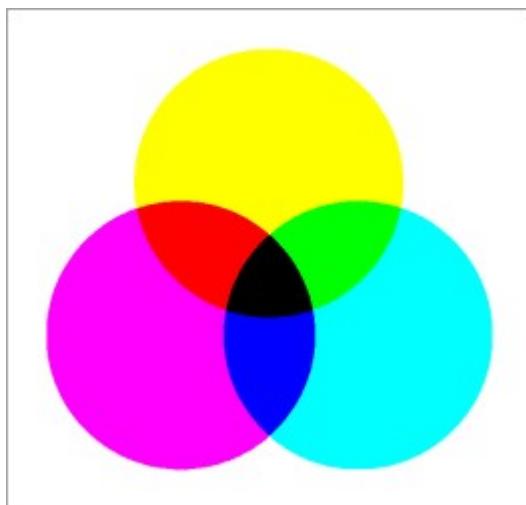
In der Farbmektrik soll dieser subjektive  
Eindruck objektiv beschrieben werden.

Die Farbmektrik beschäftigt sich mit der  
*„Ordnung der Farben“*

# Entwicklung der Farbsysteme

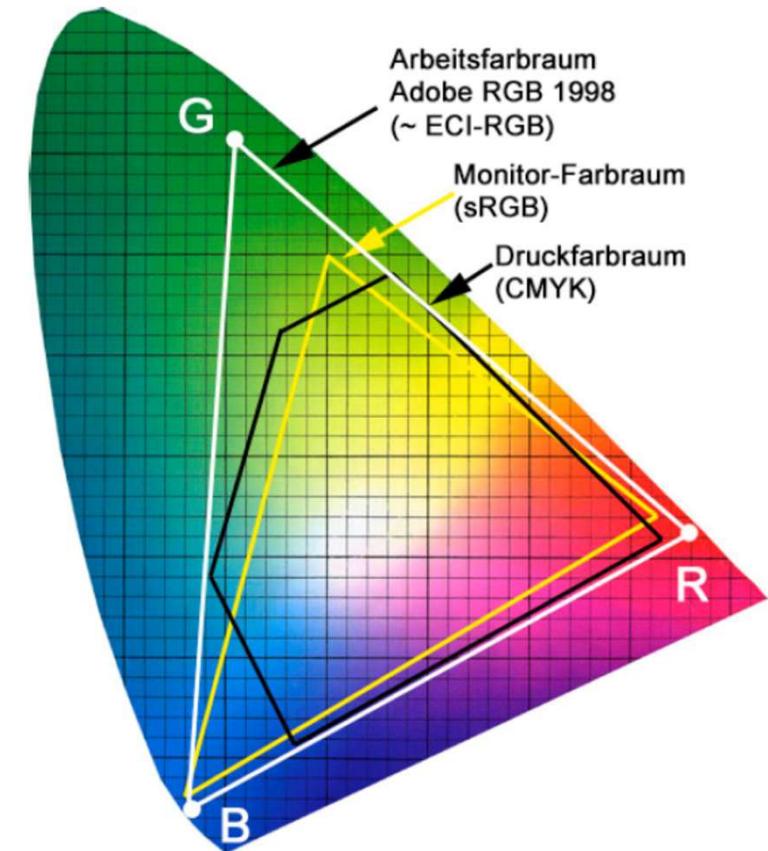
**Physiker James Clerck Maxwell (1831-1879):**

- bewies mathematisch-physikalisch die additive und die subtraktive Farbmischung.



# Entwicklung der Farbsysteme

- Diese Entwicklungen begründeten die Entstehung der modernen dreidimensionale Farbmodelle
- Einer der wichtigsten Vertreter:  
**CIE Farbdigramme**

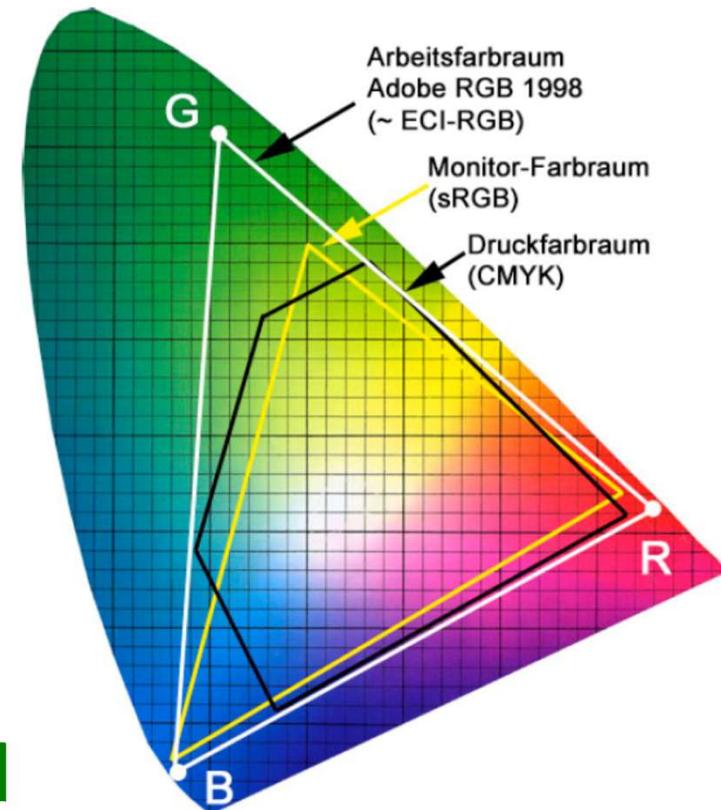
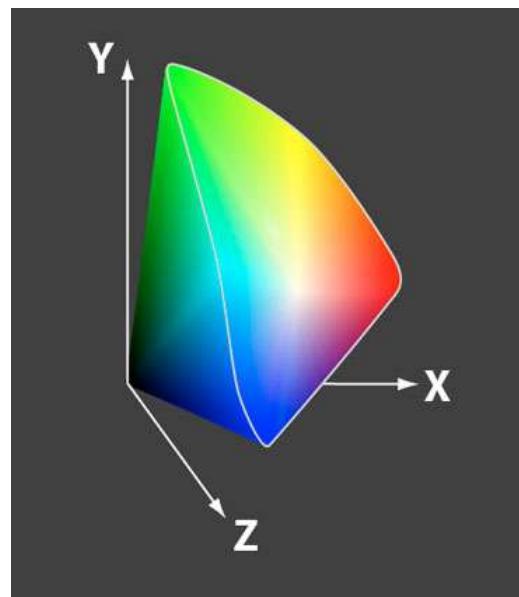


# Ordnung der Farben

- Farbwahrnehmung
- Entwicklung der Farbsysteme
- CIE Farbdiagramme
- LAB-Farbmodell
- Anwendungsgebiete

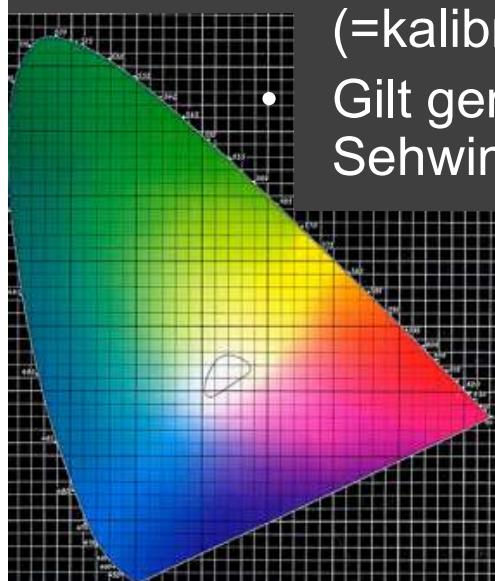
# Das CIE-Farbmodell

- Integration aller wahrnehmbaren Farben
- Geräte unabhängig
- Ermöglicht daher den Vergleich von darstellbaren Farben:
  - ... auf verschiedenen Geräten
  - ... in verschiedenen Modellen

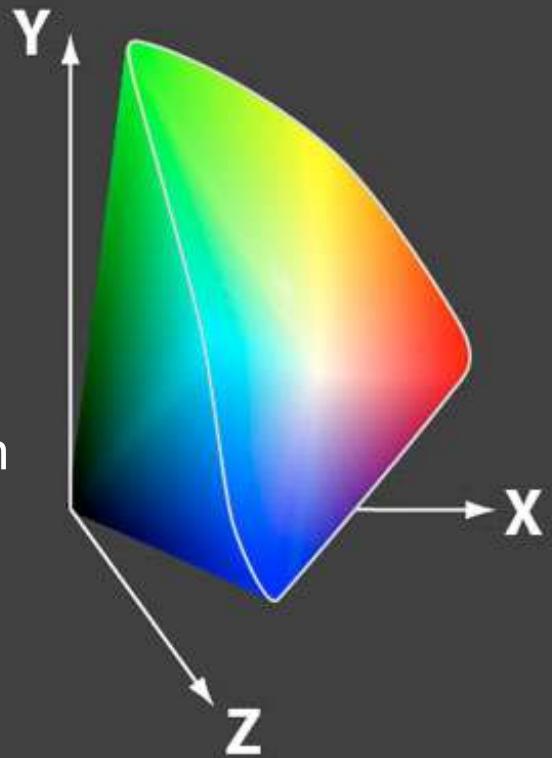


# Die CIE Farbdiagramme

- International anerkanntes farbmetrisches Standardisierungssystem
- Wurde 1931 von der CIE (Commision Internationale de l'Eclairage) festgelegt
- System zur Normierung von Lichtfarben
- Nur bedingt für subtraktive Farbmischung geeignet
- Grundlage praktisch aller colorimetrischen (=kalibrierten) Farbräume
- Gilt genau genommen nur für einen Sehwinkel von 2°



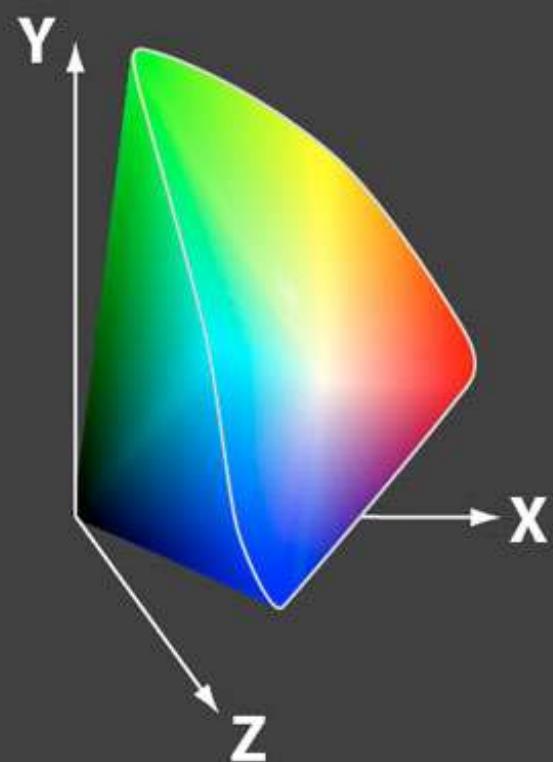
CIE xyY Farbdiagramm



Das CIE XYZ Farbsystem

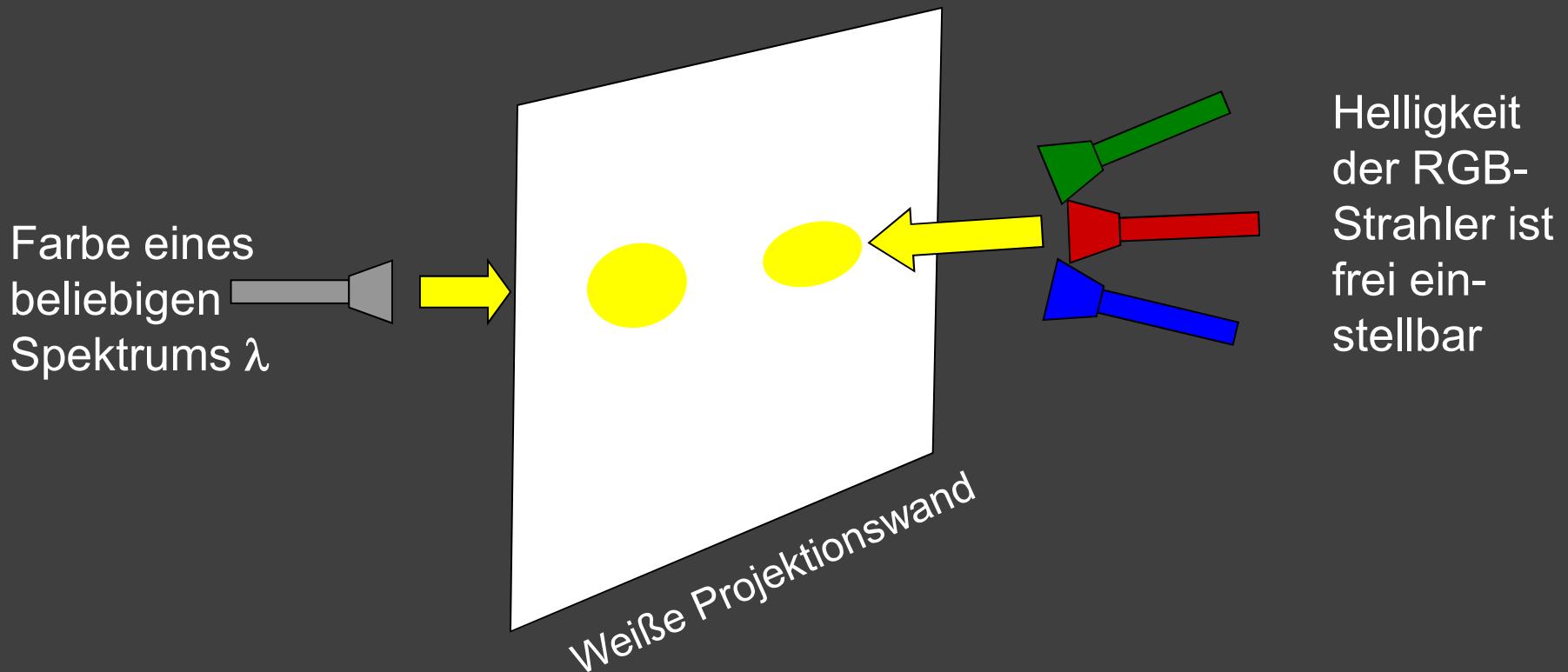
# CIE XYZ Farbraum

- XYZ Farbraum umfasst alle von einem normalsichtigen Beobachter wahrnehmbare Farben.
- basiert auf 3 voneinander unabhängigen Primärfarben **X**, **Y** und **Z** (Primärfarben = fett gedruckt)
- 3 Primärfarben, weil unser Farbempfinden auf drei unterschiedlichen Zapfentypen beruht.
- Alle Farben können mit ausschließlich positiven Komponenten definiert werden
- Jeder Punkt im Kegel repräsentiert eine Farbe



Schwarz = ( 0, 0, 0 )<sub>CIE XYZ</sub>

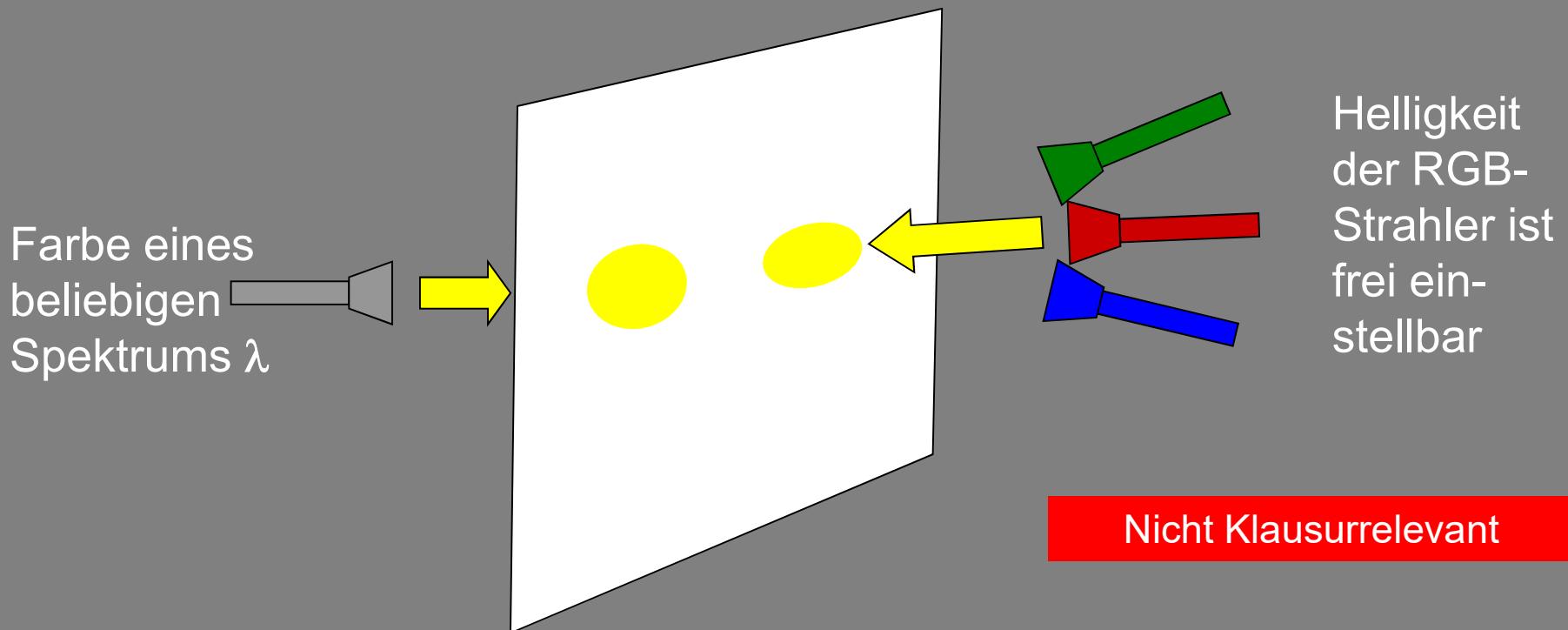
# Wahrnehmungsversuch um alle wahrnehmbaren Farben zu ermitteln:



Nicht Klausurrelevant

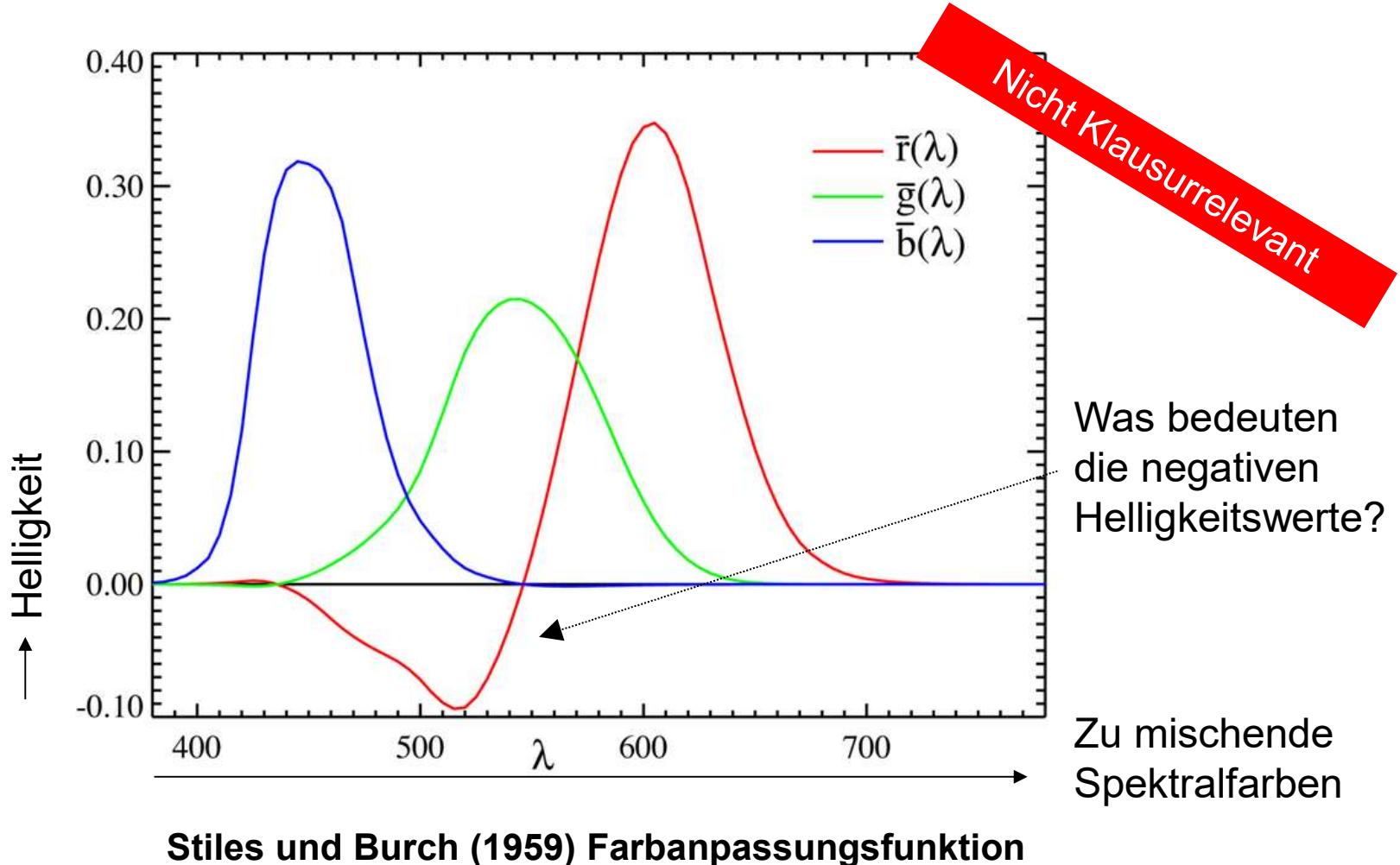
$$\text{Farbe} = r(\lambda) + g(\lambda) + b(\lambda)$$

# Wahrnehmungsversuch um alle wahrnehmbaren Farben zu ermitteln:



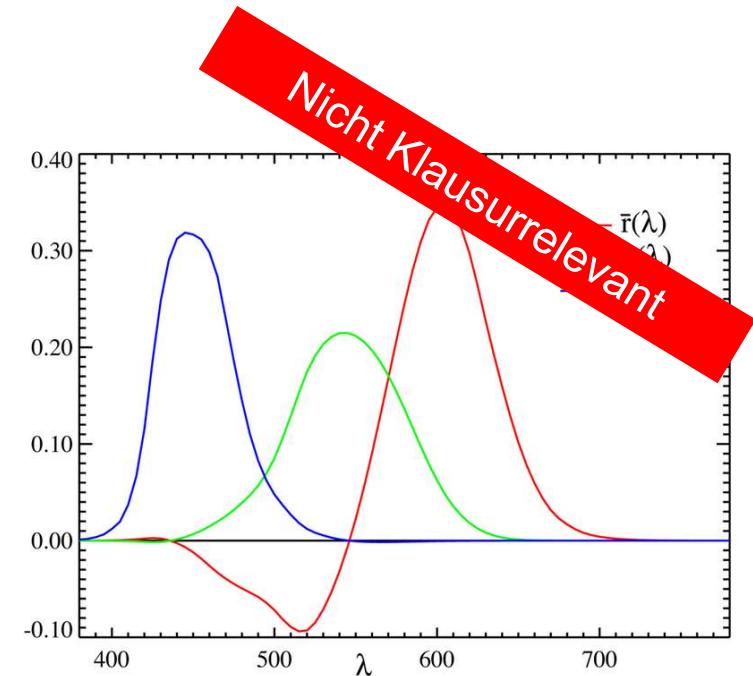
**Wie erzeugte man eigentlich die Spektralfarben  $\lambda$  für diesen Versuch (1931)?**

# Ergebnis des Wahrnehmungsversuchs mit nahezu monochromatischen RGB-Strahlern



# Ergebnis des Wahrnehmungsversuchs mit nahezu monochromatischen RGB-Strahlern

**Negative Helligkeitswerte bedeuten:** Diese Spektralfarbe ist mit den gewählten RGB-Strahlern nicht darstellbar!



## Fazit der Wahrnehmungsversuche:

Es gibt keine real existierender Lichtfarbentripel mit dem sich alle wahrnehmbaren Farben darstellen lassen.

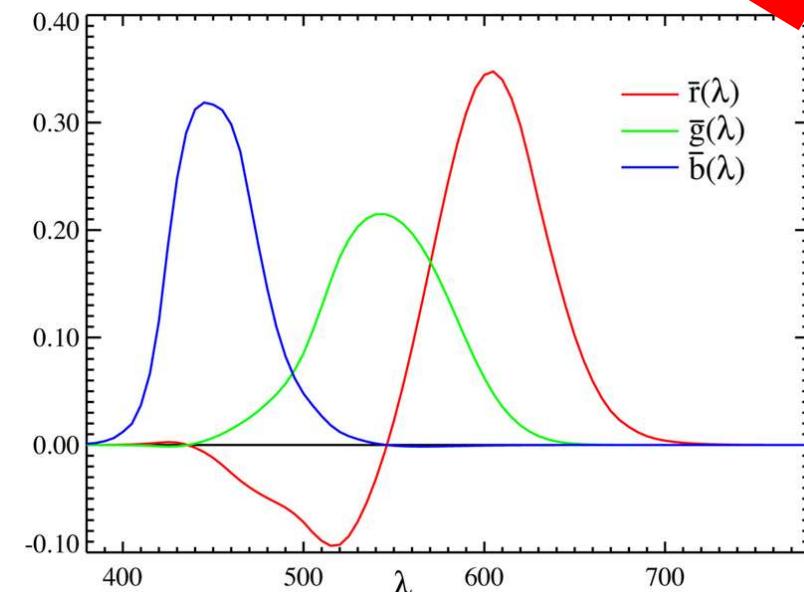
# Ergebnis des Wahrnehmungsversuchs mit nahezu monochromatischen RGB-Strahlern

## Fazit der Wahrnehmungsversuche:

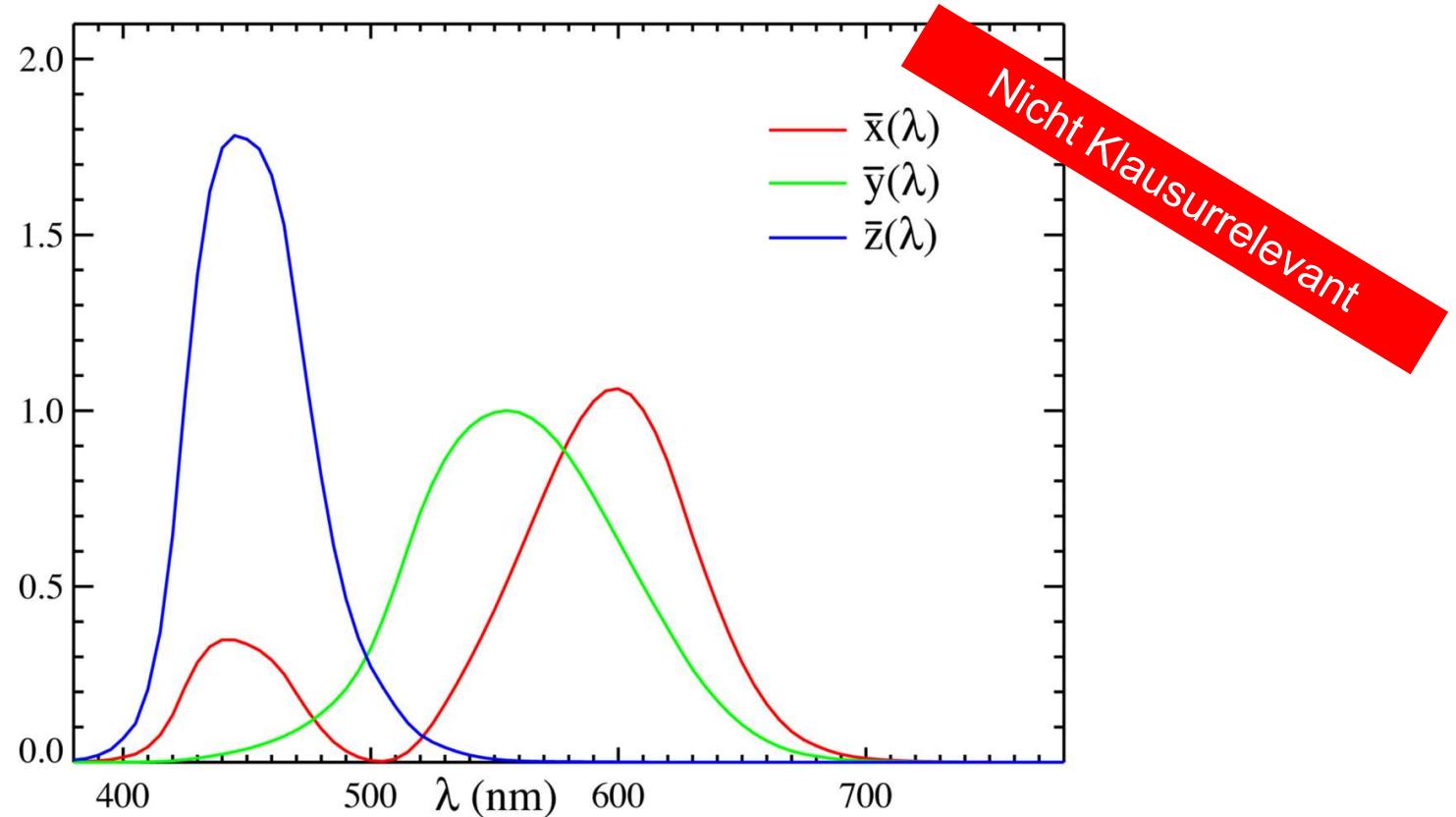
Es gibt keine real existierender Lichtfarbentripel mit dem sich wahrnehmbaren Farben darstellen lassen.

Um trotzdem alle Farben durch positive Gewichtungen X, Y, Z beschreiben zu können, müssen die Primärfarben des CIE XYZ Farbdiagramms durch nicht wahrnehmbare Farben definiert werden.

Nicht Klausurrelevant

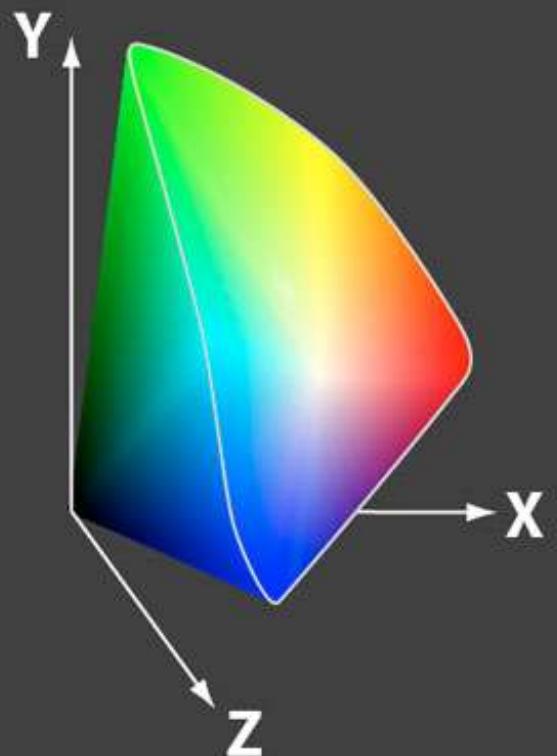


# Der CIE XYZ Farbraum



CIE Spektralwertfunktionen der Primärfarben **X**, **Y** und **Z**

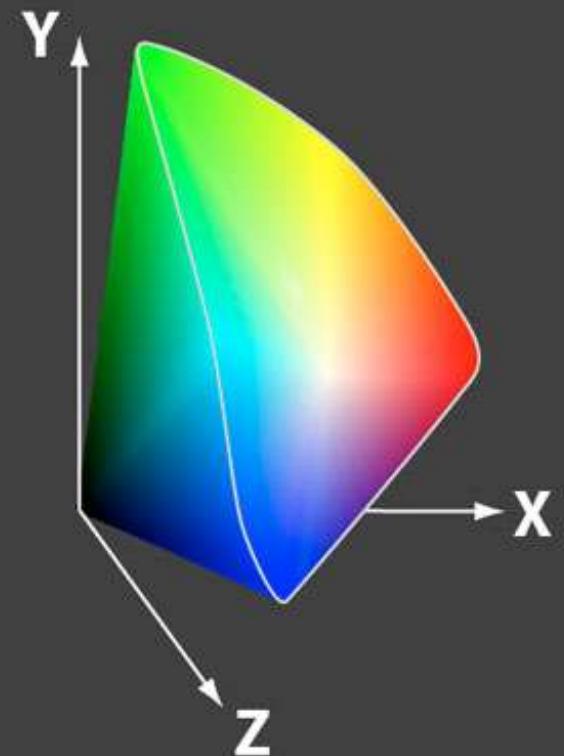
# CIE XYZ Farbraum



- Wird durch drei imaginäre Primärfarben **X**, **Y** und **Z** aufgespannt.
- Y-Achse: Helligkeitsempfinden (= grüner Farbton) beim potopischen Sehen (Zapfensehen)
- X- und Z-Achse: rot- und blau Farbtöne
- Schwarz =  $(0., 0., 0.)_{\text{CIE XYZ}}$
- Weiß?

# CIE XYZ Farbraum

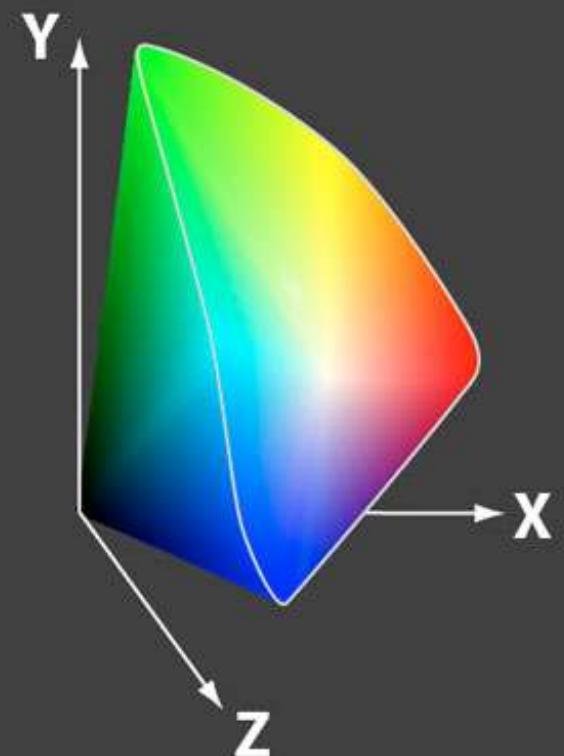
- Alle Farben auf der Strecke zwischen zwei Farben können durch Mischen dieser beiden Farben erzeugt werden.
- Analog: Alle Farben innerhalb eines Dreiecks kann man durch die Mischung der Eckpunktfarben erstellen.
- Um die Position einer Farbe C im XYZ Farbdiagramm zu bestimmen, muss man messen, wie groß der Anteil der Primärfarben X, Y und Z an der Farbe C ist.



$$C = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z} \text{ mit } \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z} = \text{Primärfarben}$$

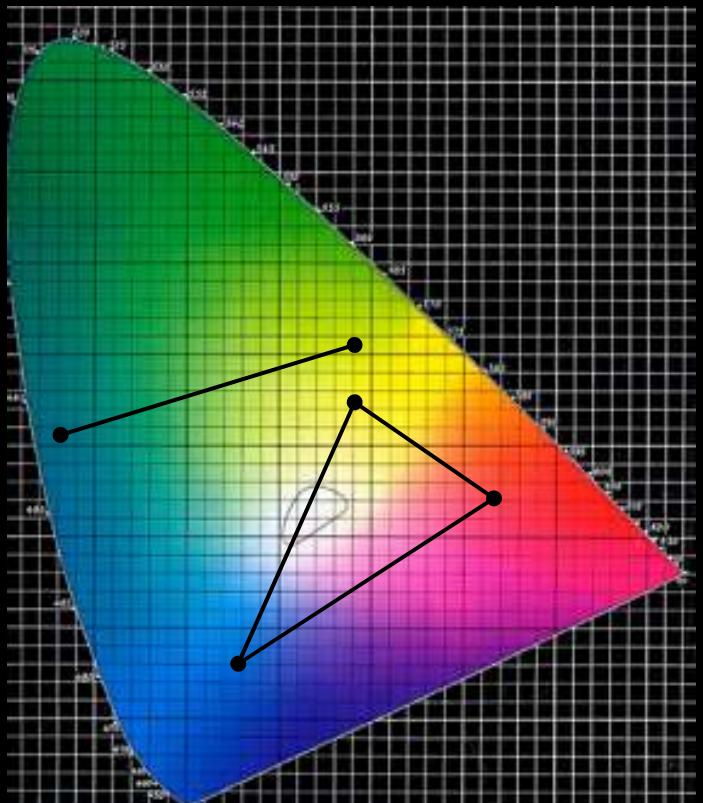
# CIE XYZ Farbraum

- Alle Farben auf der Strecke zwischen zwei Farben können durch Mischen dieser beiden Farben erzeugt werden.
- Analog: Alle Farben innerhalb eines Dreiecks kann man durch die Mischung der Eckpunktfarben erstellen.
- Um die Position einer Farbe C im XYZ Farbdiagramm zu bestimmen, muss man messen, wie groß der Anteil der Primärfarben X, Y und Z an der Farbe C ist.



$$C = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z} \text{ mit } X, Y, Z = \text{Primärfarben}$$

# CIE xyY-Normalfarbsystem



CIE xyY Farbdiagramm

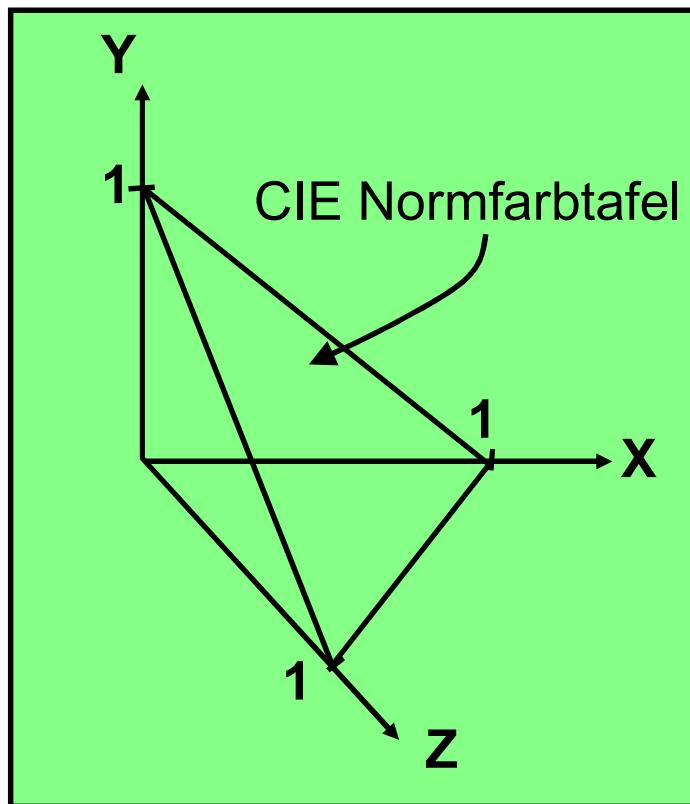
- Normalfarbtafel,  
Hufeisendiagramm oder  
Schuhsohle
- Normierter 2D-Teilraum des  
CIE XYZ Farbraums
- Enthält alle wahrnehmbaren  
**Farbtöne** für die gilt:

$$1 = X+Y+Z$$

*Wo liegt die Normalfarbtafel  
im CIE XYZ-Diagramm?*

# CIE xyY-Normalfarbsystem

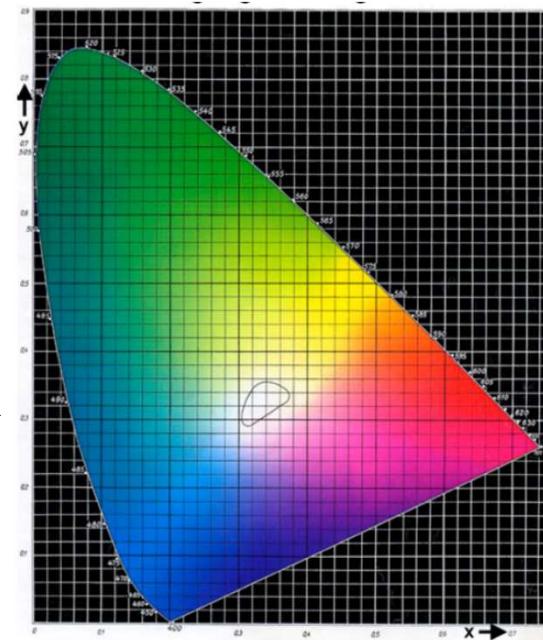
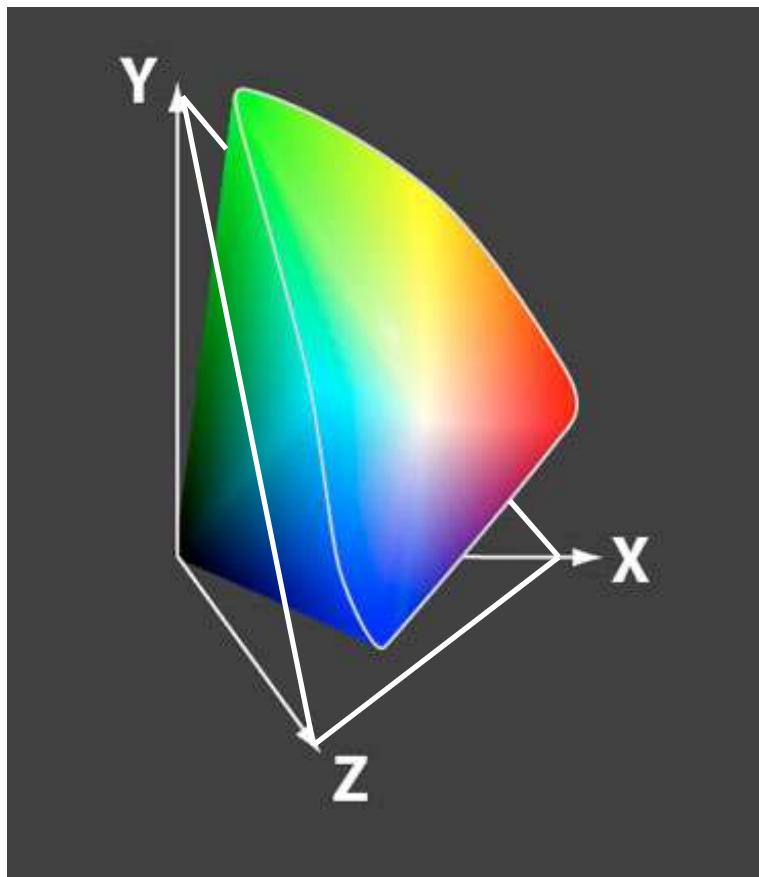
Wo liegt die Normalfarbtafel im CIE XYZ Diagramm?



$$Y = Y_h = 1 = X + Y + Z$$

$X, Y, Z$  sind die  
Gewichtungen der  
Primärfarben  $X, Y, Z$

# CIE xyY-Normalfarbsystem



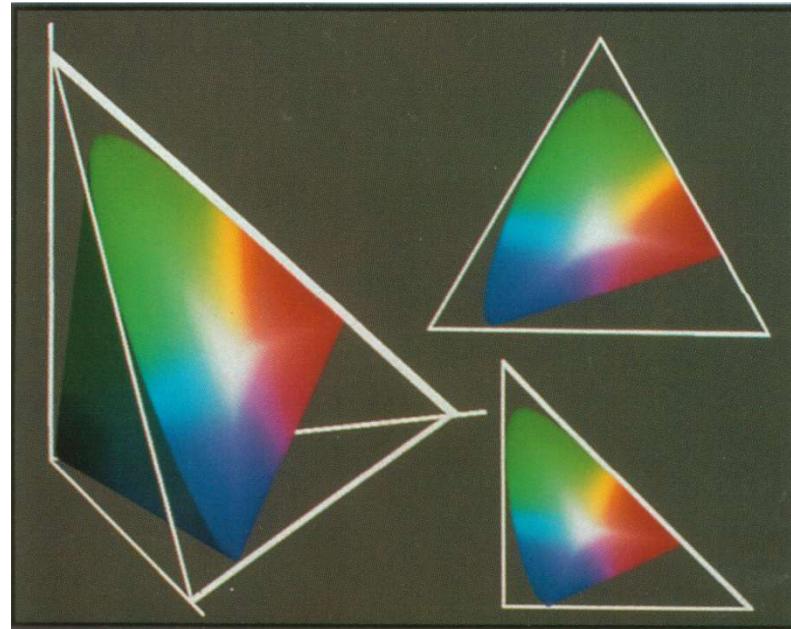
CIE Normfarbtafel (mit  $Y = Y_h = 1$ )

**Entspricht einer Projektion  
auf die XY-Ebene**

# CIE xyY-Normalfarbsystem

Aus: „Computer Graphics“ von Foley, van Dam, Feiner Hughes

Blick auf den  
Schnitt durch  
das CIE XYZ  
Diagramm, der  
die Normalfarb-  
tafel darstellt



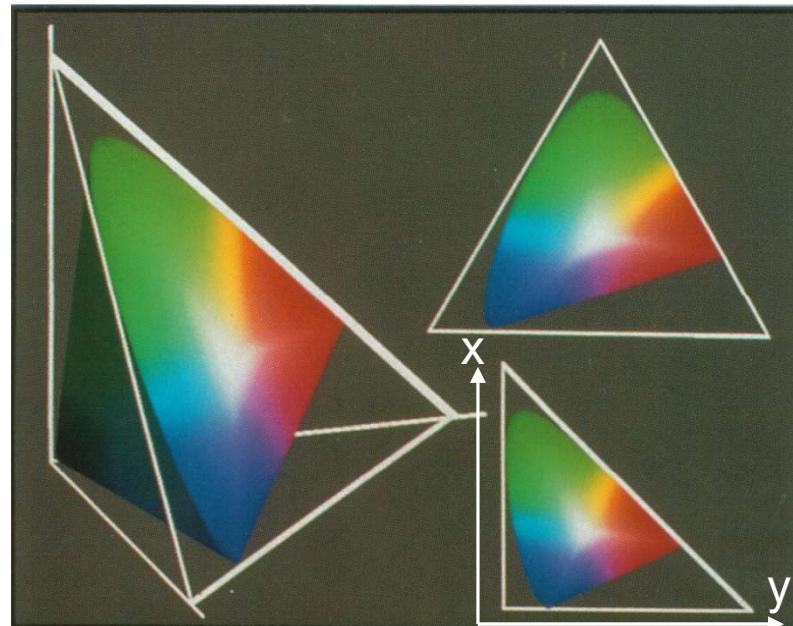
Schnittebene

Projektion auf die  
XY-Ebene  
(=Normalfarbtafel)

Merke:  $C = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z}$  mit  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$  = Primärfarben und  $X+Y+Z=1$

# CIE xyY-Normalfarbsystem

Aus: „Computer Graphics“ von Foley, van Dam, Feiner Hughes



**Umrechnung von  
CIE XYZ ins  
Normalfarbsystem:**

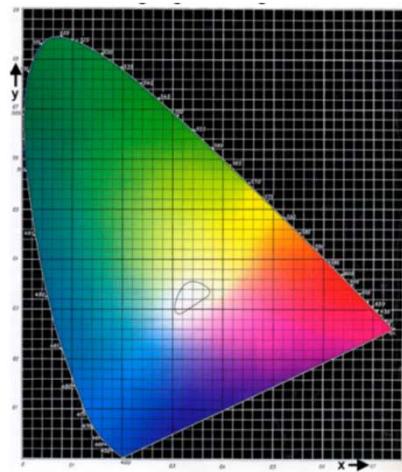
$$x = X / 1$$

$$y = Y / 1$$

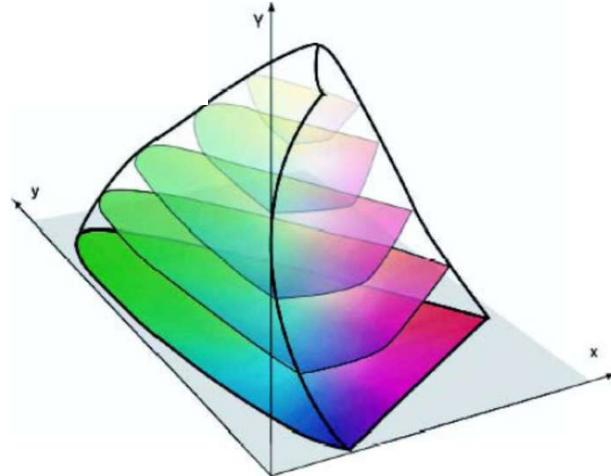
$$z = 1-x-y = Z / 1$$

*Merke:  $C = X \mathbf{X} + Y \mathbf{Y} + Z \mathbf{Z}$  mit  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$  = Primärfarben und  $X+Y+Z=1$*

# CIE xyY-Normalfarbsystem

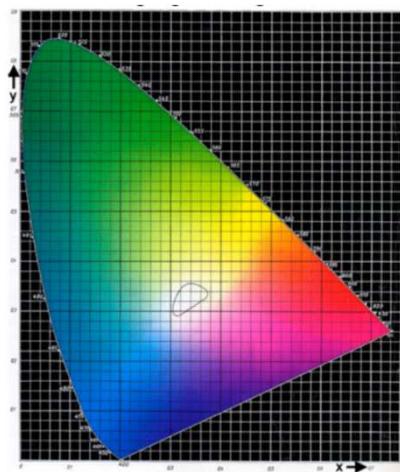


CIE xyY Farbdiagramm  
(mit  $Y=1$  == Normalfarbsystem)

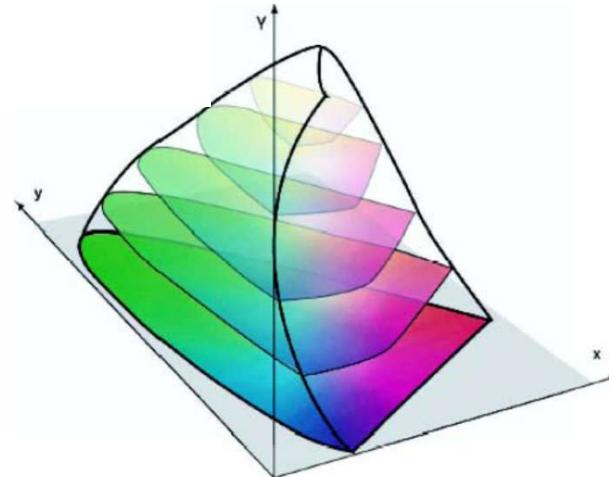


CIE xyY Farbdiagramme mit  
unterschiedlichen  
Helligkeitswerten ( $Y$ )

# CIE xyY-Normalfarbsystem



CIE xyY Farbdiagramm  
(mit  $Y=1$  == Normalfarbsystem)



CIE xyY Farbdiagramme mit  
unterschiedlichen  
Helligkeitswerten (Y)

## Umrechnung von CIE XYZ ins Normalfarbsystem:

$$x = X / 1$$

$$y = Y / 1$$

$$z = Z / 1$$

$$\left. \begin{array}{l} x = X / (X+Y+Z) \\ y = Y / (X+Y+Z) \\ z = Z / (X+Y+Z) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Allg.Fall: Anteil der} \\ \text{Koordinate an der} \\ \text{Gesamthelligkeit} \end{array}$$

# CIE xyY-Normalfarbsystem

**Umrechnung von CIE XYZ ins Normalfarbsystem:**

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

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

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

**Umrechnung von der Definition des Farbtöns vom  
CIE xyY ins CIE XYZ-Diagramm:**

$$Y = Y_h \quad \begin{array}{l} \text{Gewünschte Helligkeit des Farbwerts} \\ \text{Helligkeit} = 1 \end{array}$$

$$X = \frac{x}{y} Y$$

$$Z = \frac{1-x-y}{y} Y$$

Wie kommt man zu diesen Formeln?

# Wozu braucht man diese Umrechnungen?

## Beispiel die Farbe Normweiß

Definition des Farbtone weiß in der Normalfarbtafel:

- $x = 0,313$
- $y = 0,329$

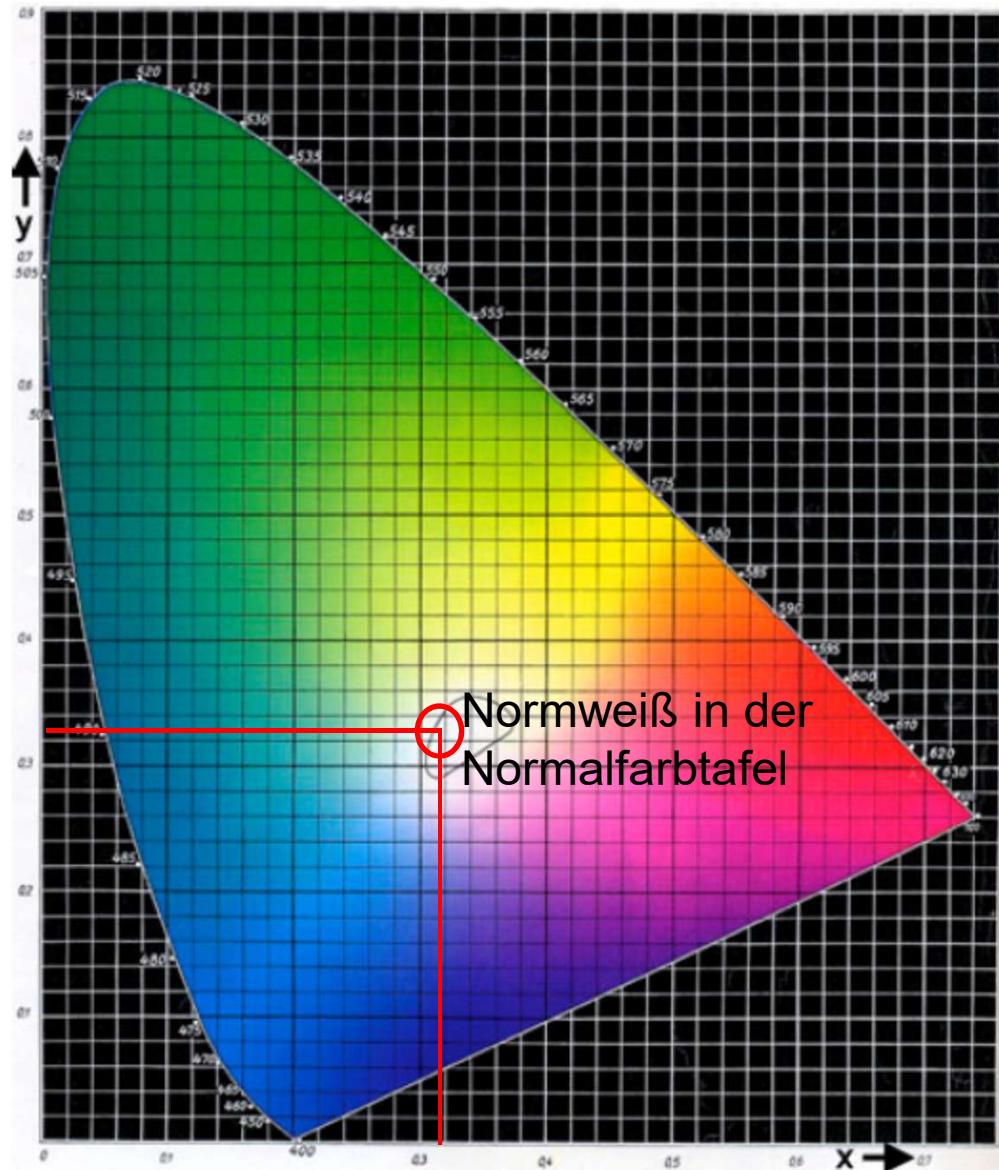
Der z-Wert lässt sich berechnen:

$$z = 1 - x - y$$

$$z = 0,358$$

# Normalfarbtafel

Die Definition der Farbe in der Normalfarbtafel sagt etwas über Farbton und Sättigung aus, aber NICHTS über die Helligkeit!



# Wo liegt die Farbe Normweiß im CIE XYZ Diagramm?

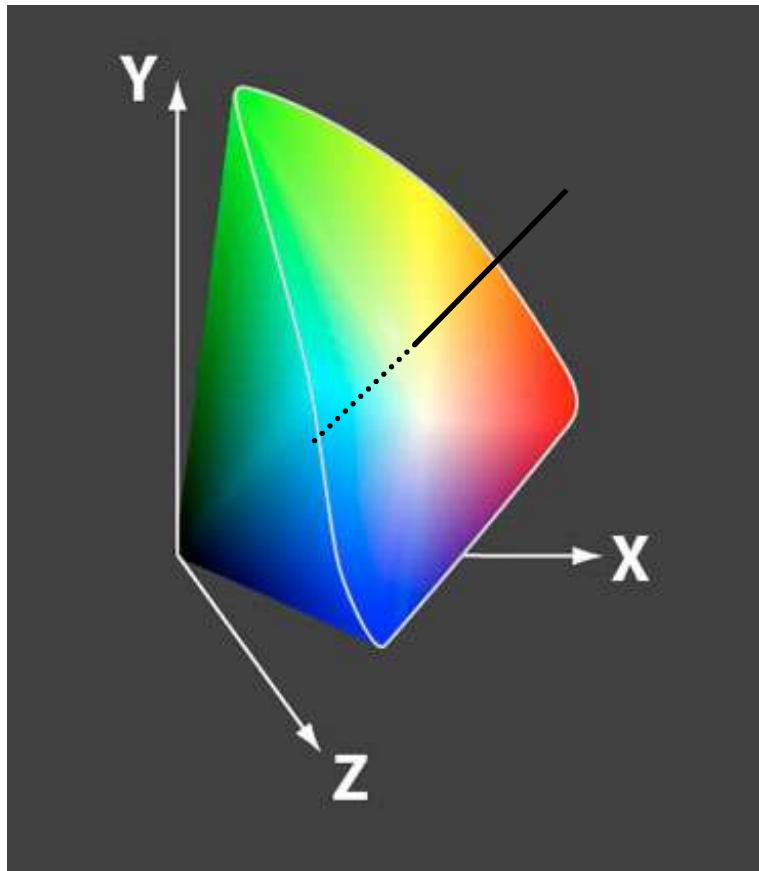
- Normweiß gibt es für verschiedene Helligkeiten.
- Als Beispiel nehmen wir  $Y = 1$

Berechnung von X und Z:

$$X = \frac{x}{y} Y = \frac{0,313}{0,329} \cdot 1 = 0,951$$

$$Z = \frac{1 - x - y}{y} Y = \frac{1 - 0,313 - 0,329}{0,329} \cdot 1 = 1,088$$

# Wo liegt die Farbe Normweiß im CIE XYZ Diagramm?



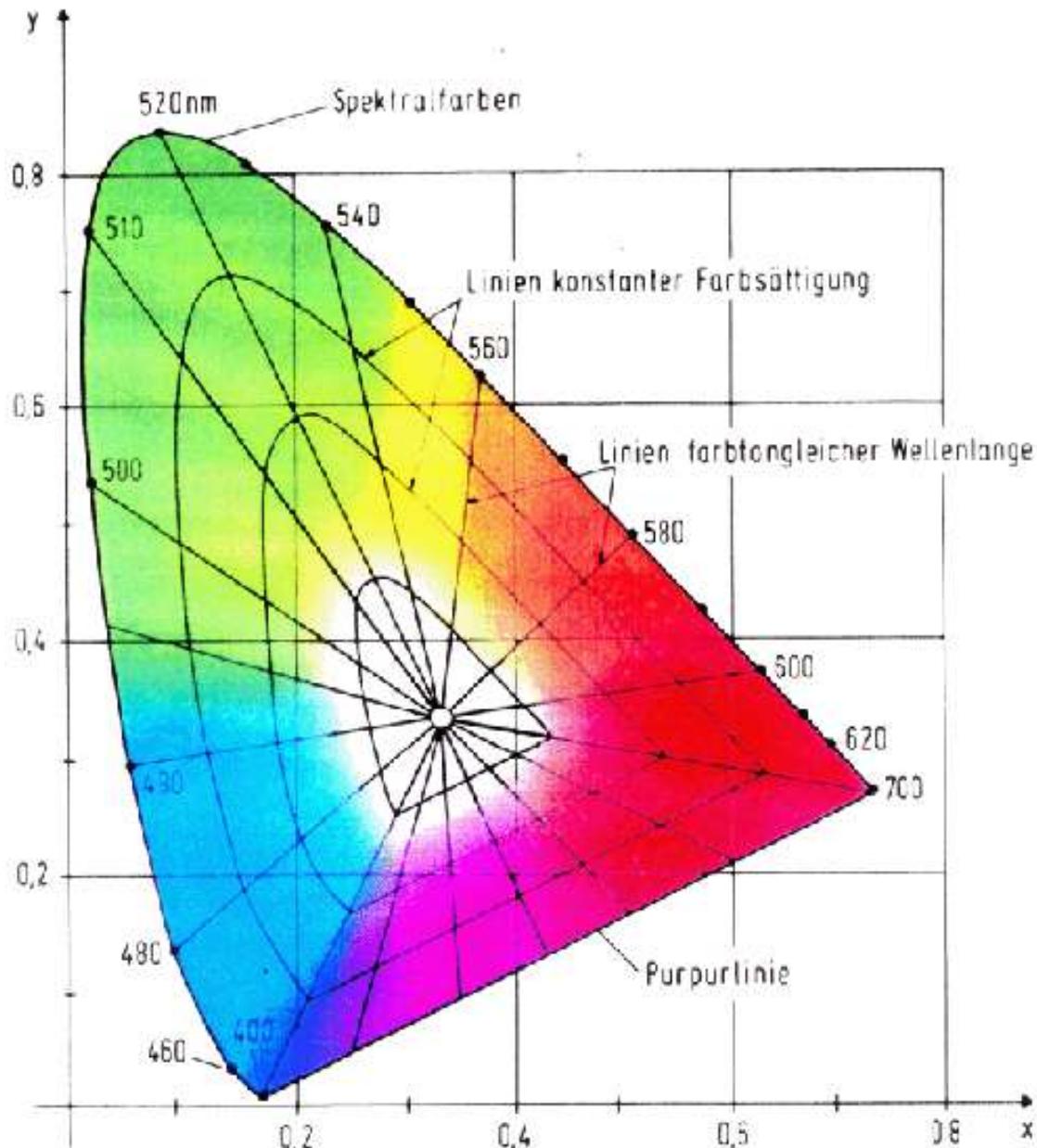
Die Farbe Normweiß liegt auf der Geraden, die durch die Farbpunkte

$$(0,313 / 0,329 / 0,358)_{\text{CIE XYZ}}$$

und

$$(0,951 / 1 / 1,088)_{\text{CIE XYZ}}$$

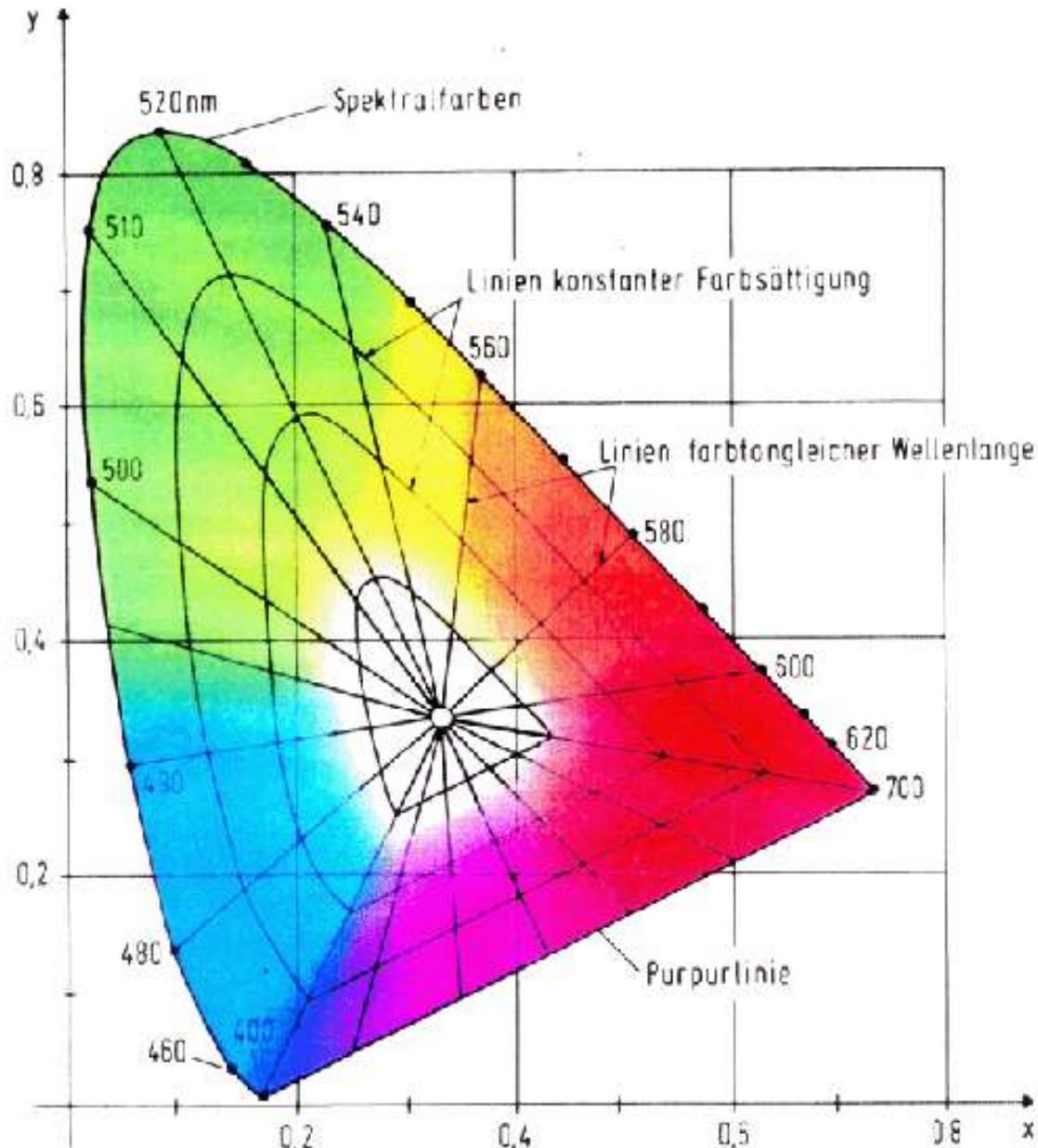
geht



## CIE xyY- Normalfarbsystem

- Spektralfarben befinden sich am Rand der Schuhsohle
- Purpurlinie
- Linien konstanter Farbsättigung
- Komplementärfarben liegen gegenüber des Weißpunktes
- Linien gleichen Farbtons

CIE xyY Farbdiagramm



## Metamerie

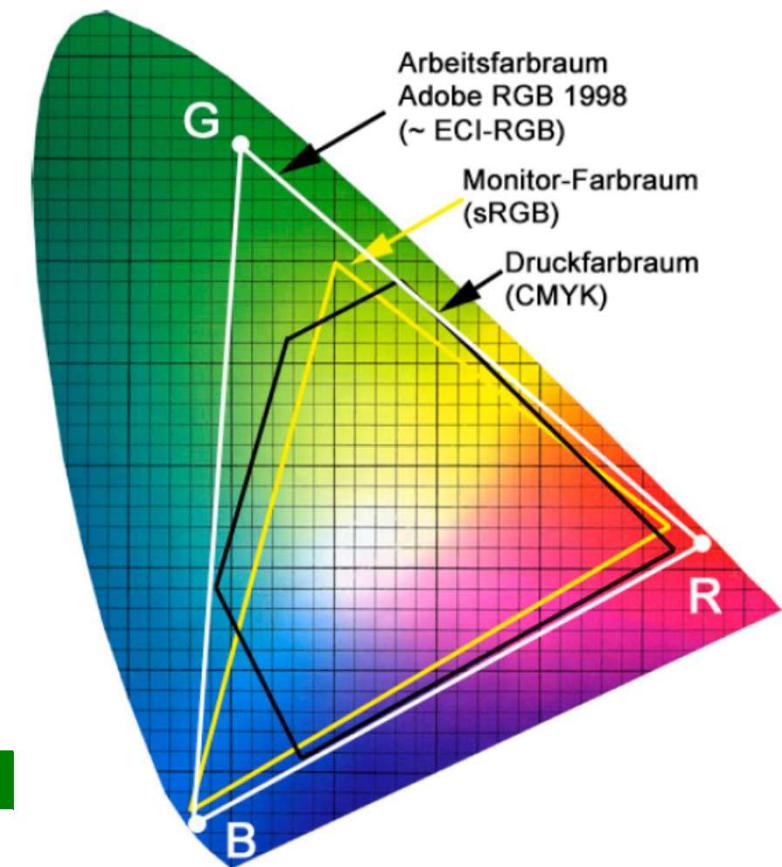
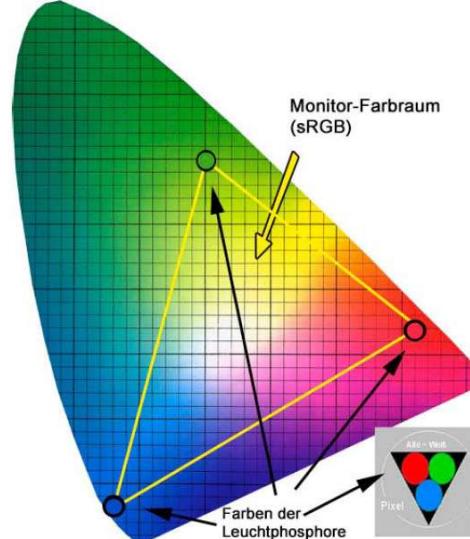
Unterschiedliche Spektren  
rufen bei uns den gleichen  
Farbeindruck hervor

CIE xyY Farbdiagramm

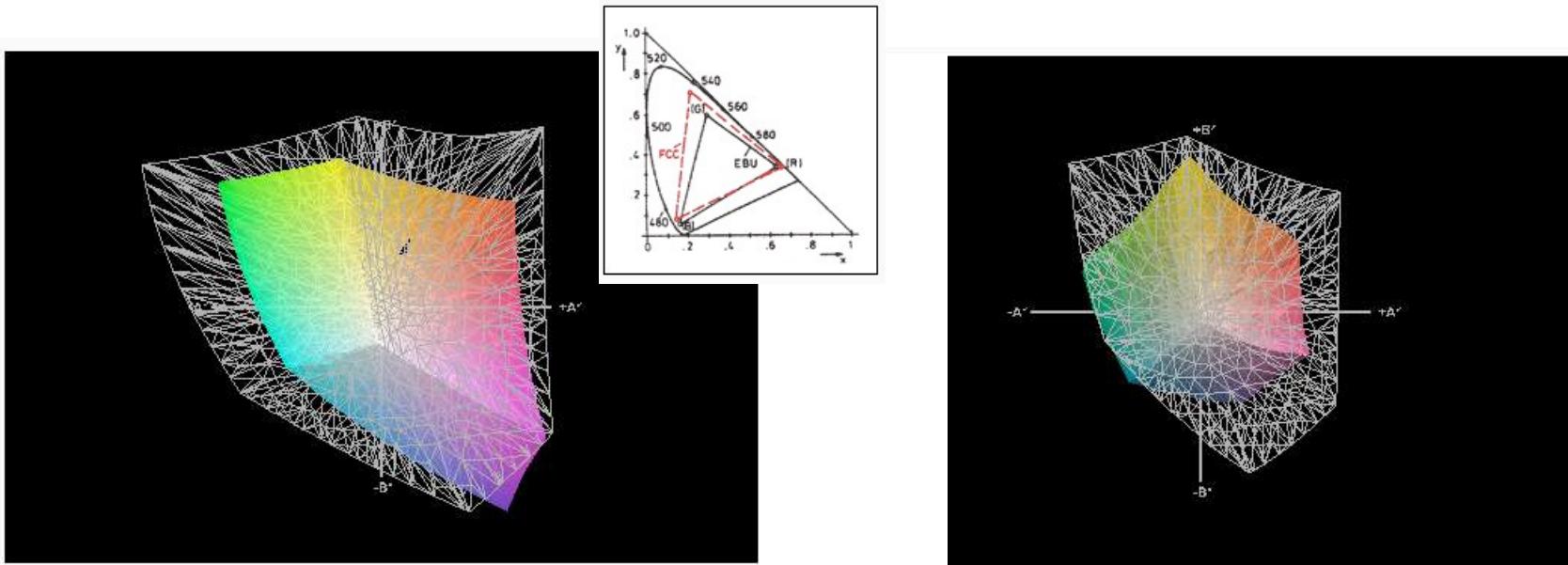
# Das CIE-Farbmodell

- Integration aller wahrnehmbaren Farben
- Geräte unabhängig
- Ermöglicht daher den Vergleich von darstellbaren Farben:
  - ... auf verschiedenen Geräten
  - ... in verschiedenen Modellen

Wie hängt das  
RGB-System  
mit dem CIE  
Farbmodell  
zusammen?



# Vergleich verschiedener Gamuts im LAB-Modell



PAL\_SECAM.icc  
Description:  
PAL/SECAM

Copyright 2000 Adobe Systems  
Incorporated



NTSC1953.icc  
Description:  
NTSC (1953)

Copyright 2000 Adobe Systems  
Incorporated



CLC500A7.icm  
Description:  
Canon CLC700 LaserPrinter

COPYRIGHT (c) 1997 Eastman Kodak,  
All rights reserved. Copyright (c) Eastman Kodak  
Company, 1997, all rights reserved.



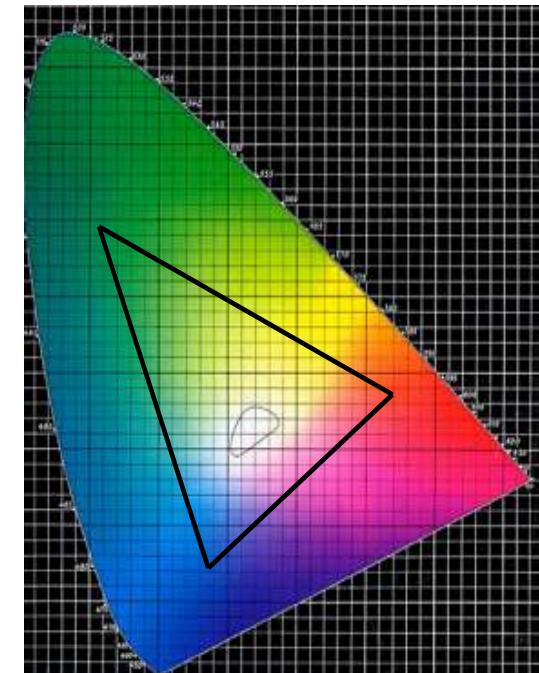
Monitor.icm  
Description:  
Memphis

Aus: <http://www.iccview.de/index.htm>

# Der RGB Farbraum in den CIE Farbräumen

## Beispiel: Plasmadisplay

- Jeder Phosphor erzeugt eine Primärfarbe: Rot<sub>PD</sub> Grün<sub>PD</sub> und Blau<sub>PD</sub>
- Spektren in denen die Phosphore strahlen sind bekannt (x- & y-Koordinaten in der Normfarbtafel)
- Einzig, die maximale Helligkeit der Phosphore kann eingeschränkt werden.
- ZIEL: Die Treibersoftware muss die Intensität der einzelnen Phosphore so beschränken, dass bei maximal möglicher Helligkeit (1,1,1)<sub>RGB</sub> von Rot<sub>PD</sub> Grün<sub>PD</sub> und Blau<sub>PD</sub> Normweiß entsteht.



# Der RGB Farbraum in den CIE Farträumen

## Beispiel: Plasmadisplay

Den Grundfarben des Displays werden beispielhaft folgende Farben zugeordnet:

$$\text{Rot}_{\text{PD}} = (0.628, 0.346)_{\text{CIE xyY}}$$

$$\text{Grün}_{\text{PD}} = (0.268, 0.588)_{\text{CIE xyY}}$$

$$\text{Blau}_{\text{PD}} = (0.15, 0.07)_{\text{CIE xyY}}$$

*Nicht Klausurrelevant*

Für die „Helligkeit“ Y= 1 gilt die Farbe Normalweiß:

$$(0.951, 1, 1.088)_{\text{CIE XYZ}}$$

# Der RGB Farbraum in den CIE Farträumen

## Beispiel: Plasmadisplay

Den Grundfarben des Displays werden beispielhaft folgende Farben zugeordnet:

$$\text{Rot}_{PD} = (0.628, 0.346)_{\text{CIE xyY}}$$

$$\text{Grün}_{PD} = (0.268, 0.588)_{\text{CIE xyY}}$$

$$\text{Blau}_{PD} = (0.15, 0.07)_{\text{CIE xyY}}$$

So dass gilt:

$$\text{Normweiß} = \begin{pmatrix} 0.951 \\ 1 \\ 1.088 \end{pmatrix} = \text{Rot}_{PD} + \text{Grün}_{PD} + \text{Blau}_{PD} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}_{RGB} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{RGB} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{RGB} = \begin{pmatrix} 0.951 \\ 1 \\ 1.088 \end{pmatrix}_{CIE}$$

Wie müssen die drei Grundfarben  $\text{Rot}_{PD}$ ,  $\text{Grün}_{PD}$  und  $\text{Blau}_{PD}$  dafür eingestellt werden?

Nicht Klausurrelevant

# Der RGB Farbraum in den CIE Farträumen

**Wie müssen die drei Grundfarben dafür eingestellt werden?**

$$Normei\beta = \begin{pmatrix} 0.951 \\ 1 \\ 1.088 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix}_{CIE} + \begin{pmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{pmatrix}_{CIE} + \begin{pmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{pmatrix}_{CIE}$$

Gleichung als Gleichungssystem formuliert:

$$0.951 = \frac{x_r}{y_r} Y_r + \frac{x_g}{y_g} Y_g + \frac{x_b}{y_b} Y_b \quad // mit X_r = \frac{x_r}{y_r} Y_r, X_g = \frac{x_g}{y_g} Y_g, X_b = \frac{x_b}{y_b} Y_b$$

$$1 = Y_r + Y_g + Y_b$$

$$1.088 = \frac{z_r}{y_r} Y_r + \frac{z_g}{y_g} Y_g + \frac{z_b}{y_b} Y_b$$

... nun die entsprechenden x,y-Komponenten der Farben des Plasmas einsetzen:

Nicht Klausurrelevant

# Der RGB Farbraum in den CIE Farträumen

In das obere Gleichungssystem werden die x und y Koordinaten der Plasmaspektren eingesetzt.

$$\frac{0.628}{0.346} Y_r + \frac{0.268}{0.588} Y_g + \frac{0.150}{0.070} Y_b = 0.951$$

$$Y_r + Y_g + Y_b = 1$$

$$\frac{0.026}{0.346} Y_r + \frac{0.144}{0.588} Y_g + \frac{0.780}{0.070} Y_b = 1.088$$

Nicht Klausurrelevant

Das Gleichungssystem muss nach  $Y_r$ ,  $Y_g$  und  $Y_b$  aufgelöst werden:  
Dazu kann man das beispielsweise das Gaußsche Eliminationsverfahren verwenden: Einen Rechner zum Lösen der Gleichung finden Sie hier:

<http://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/gleichungssysteme.htm>

(Vorsicht: Der Rechner kann KEIN Bruch rechnen )

# Der RGB Farbraum in den CIE Farträumen

Nicht Klausurrelevant

Lösung der Gleichung:  $Y_r = 0,263$

$Y_g = 0,654$  und

$Y_b = 0,0815$

Jetzt hat man die maximale Helligkeiten (Y-Wert im CIE-System) in der, der rote, grüne und blaue Plasma strahlen darf, so dass bei (1,1,1)RGB Normweiß entsteht.

Im letzten Schritt können wir nun zur Übung die entsprechenden Maximalfarben der Phosphore im CIE<sub>XYZ</sub> System berechnen:

$$\text{Rot}_{\text{PD}} = (0.628, 0.346)_{\text{CIE } xyY}$$

$$\text{Grün}_{\text{PD}} = (0.268, 0.588)_{\text{CIE } xyY}$$

$$\text{Blau}_{\text{PD}} = (0.15, 0.07)_{\text{CIE } xyY}$$

# Wo liegt die RGB-Farben des Phosphors?

Berechnung des hellsten Rot-Tons ==  $(1,0,0)_{\text{RGB}}$  des Plasmadisplays  
im CIE<sub>XYZ</sub> :  $(X_r, Y_r, Z_r)_{\text{CIEXYZ}}$

Die Helligkeit dieser Rotstrahlung beträgt:  $Y_r = 0,2635$

$$X_r = \frac{x_r}{y_r} \quad Y_r = \frac{0,628}{0,346} \cdot 0,2635 = 0,478$$

Nicht Klausurrelevant

$$Y_r = 0,2635$$

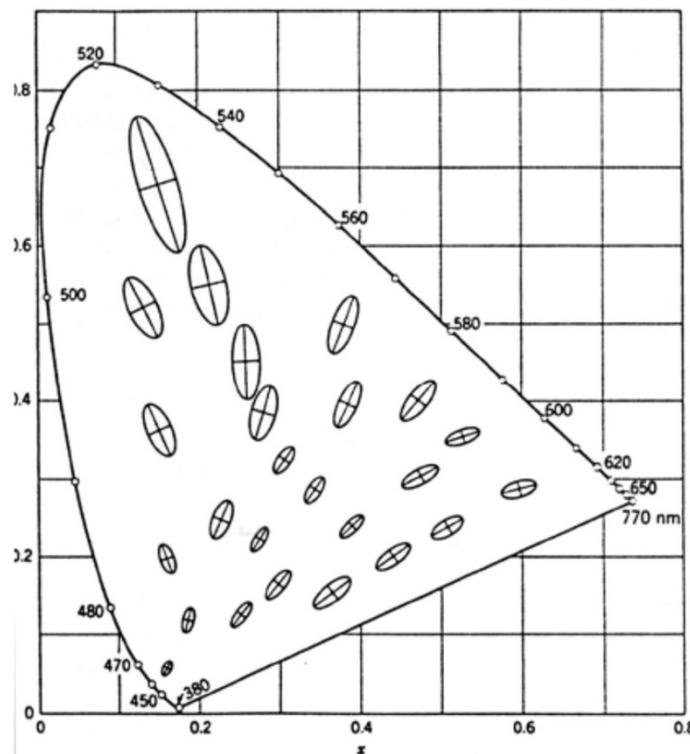
$$Z_r = \frac{1 - x_r - y_r}{y_r} Y_r = \frac{1 - 0,628 - 0,346}{0,345} \cdot 0,2635 = 0,019$$

$(1, 0, 0)_{\text{RGB}}$  entspricht also  $(0,478 / 0,2635 / 0,019)_{\text{CIE XYZ}}$

Auf welche CIE<sub>XYZ</sub>-Farben wird  $(0,1,0)_{\text{RGB}}$  und  $(0,0,1)_{\text{RGB}}$  abgebildet?

# CIE xyY-Normalfarbsystem

Die MCAdam-Ellipsen (dreifach vergrößert)



Farbänderungen im CIE xyY- oder XYZ-Raum sind im Verhältnis zu Farbänderungen des menschlichen Sehsystems nicht linear!

# Colorimetrische Farbmodelle

Colorimetrische Farbmodelle sind besser als das reine CIE angepasst an:

- menschliche Wahrnehmung und
- technische Gegebenheiten

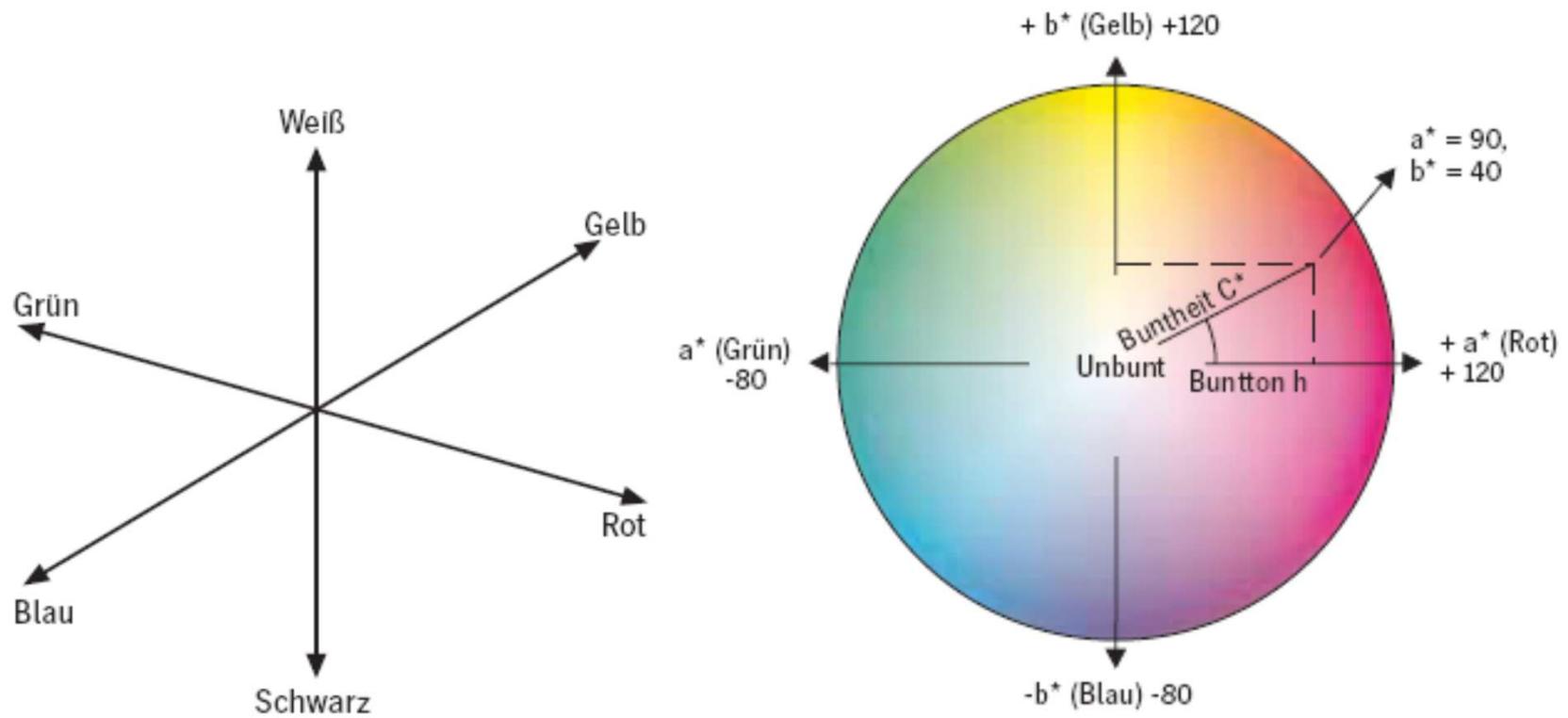
Beispiele colorimetrischer Farbmodelle:

- CIE YUV oder YU'V'
- CIE L\*U\*V\*
- CIE Y C<sub>b</sub> C<sub>r</sub>
- CIE L\*a\*b\*

# CIE L\*a\*b\* Farbmodell (LAB Farbmodell)

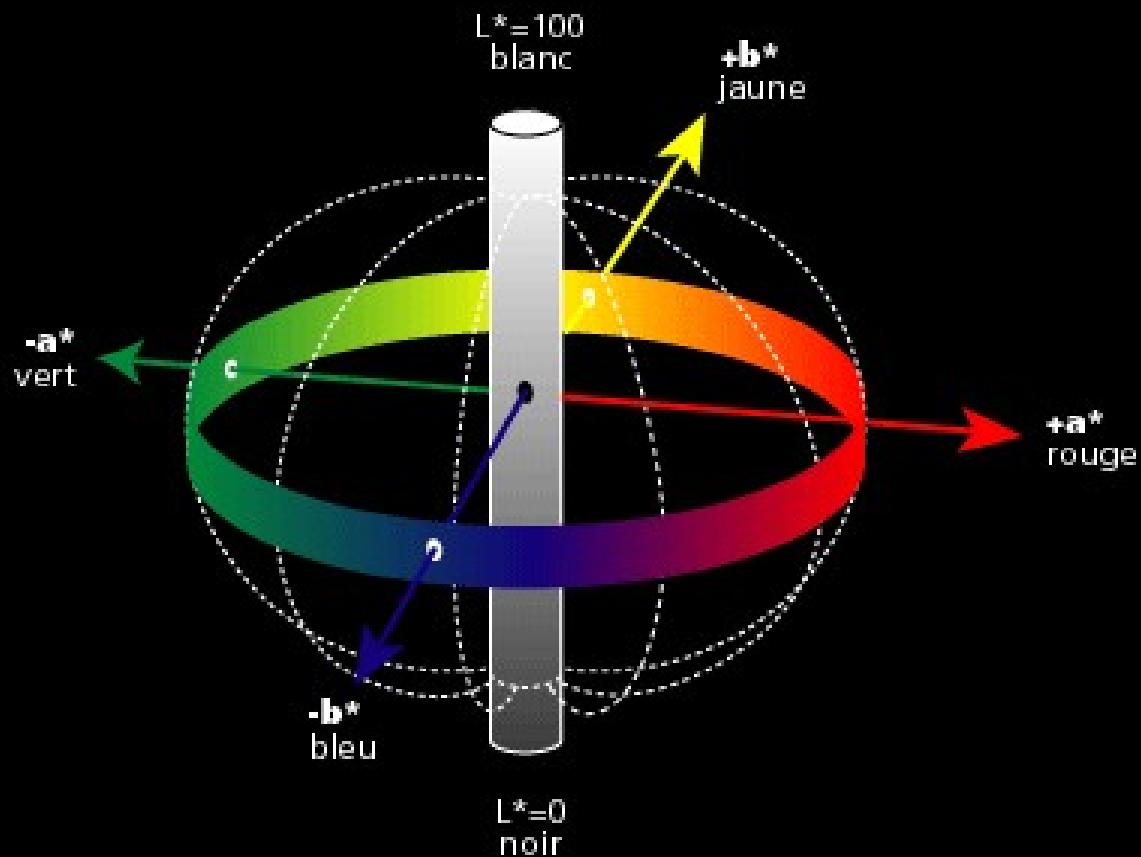
- 1976 vom CIE entwickelt
- Ziel Farbdifferenzen gegenüber dem menschlichen Sehempfinden zu linearisieren
- Standardmodell in Adobe Photoshop: dient zu Umrechnung zwischen den Farträumen
- L = Helligkeit
- a = rot-grün Achse
- b = blau-gelb Achse
- Alle drei Komponenten beziehen sich auf einen neutralen Weißpunkt  $C_{ref} = (x_{ref}, y_{ref}, z_{ref})$

# Anordnung der Farben im Gegenfarbmodell

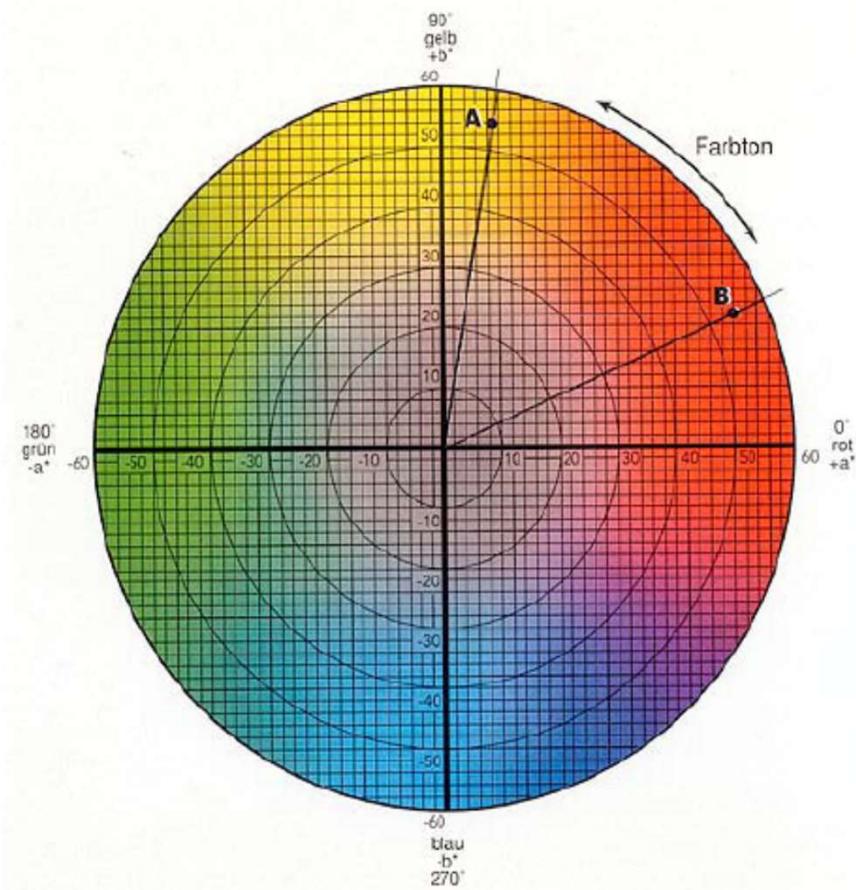
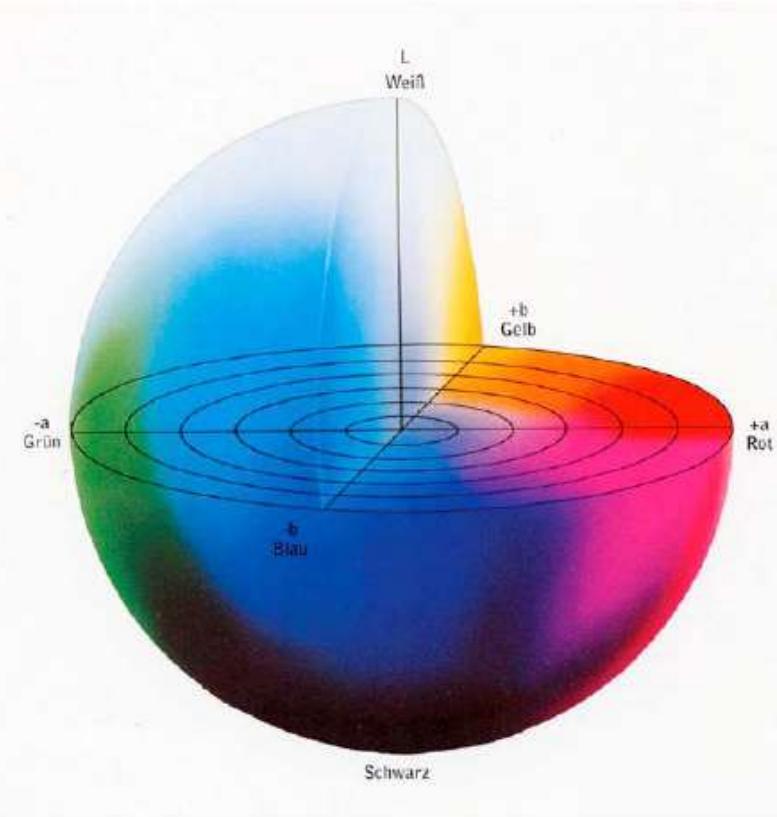


Eine Ebene des Lab-Modells

# Das CIE-LAB Farbmodell



# Das CIE-LAB Farbmodell



# Farbabstand

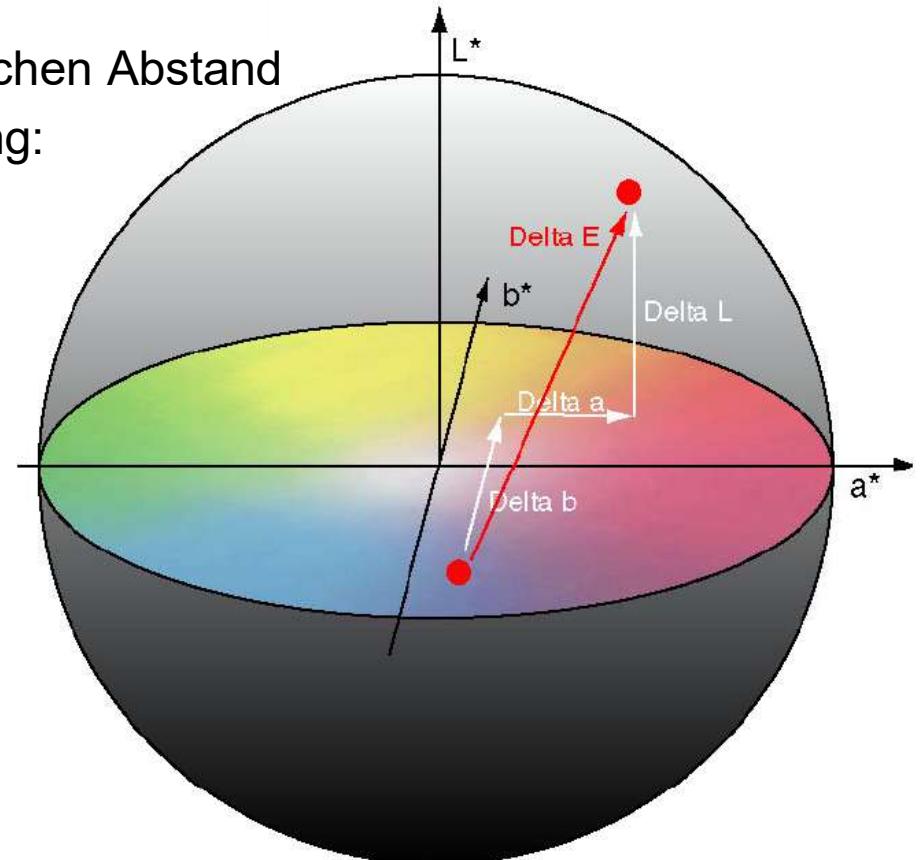
Farbabstand zwischen zwei Orten in LAB-Farbraum: Delta E

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2}$$

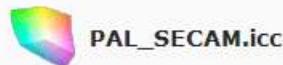
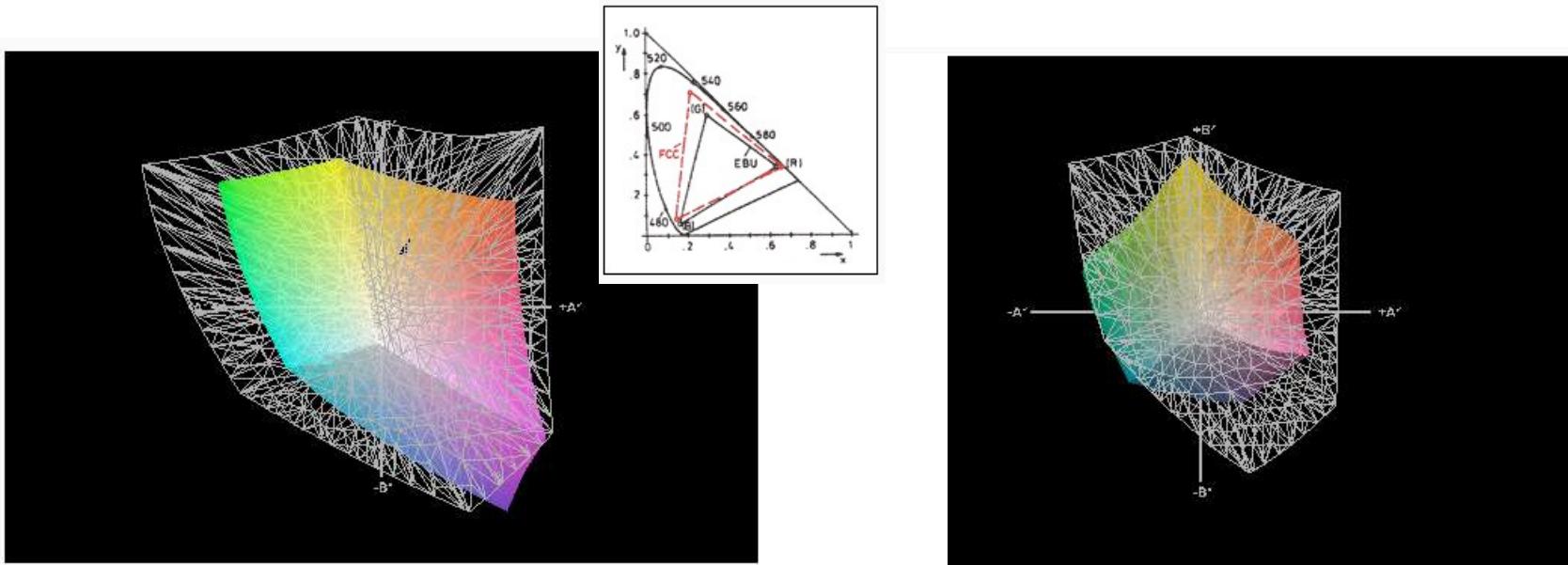
Beziehung zwischen dem rechnerischen Abstand und der menschlichen Wahrnehmung:

- < 0,2 nicht sichtbar
- 0,2 - 1 sehr gering
- 1 - 3 gering
- 3 - 6 mittel
- > 6 gross

Aus: „Densitometrie und Farbmertik für den standardisierten, qualitätsoptimierten Druck“  
- „Farbe und Qualität“ von Grapho Metronic



# Vergleich verschiedener Gamuts im LAB-Modell



PAL\_SECAM.icc  
Description:  
PAL/SECAM

Copyright 2000 Adobe Systems  
Incorporated



NTSC1953.icc  
Description:  
NTSC (1953)

Copyright 2000 Adobe Systems  
Incorporated



CLC500A7.icm  
Description:  
Canon CLC700 LaserPrinter

COPYRIGHT (c) 1997 Eastman Kodak,  
All rights reserved. Copyright (c) Eastman Kodak  
Company, 1997, all rights reserved.



Monitor.icm  
Description:  
Memphis

Aus: <http://www.iccview.de/index.htm>

# Farbmanagement

- Verschiedene Techniken werden vergleichbar
- Durch Normierung der Betrachtungsparameter
  - Beleuchtung
  - Blickwinkel
  - ...
- Hinzu kommt: Das menschliche Sehsystem kann Farbänderungen, die auf einer Beleuchtungsänderung beruhen, teilweise ausgleichen.

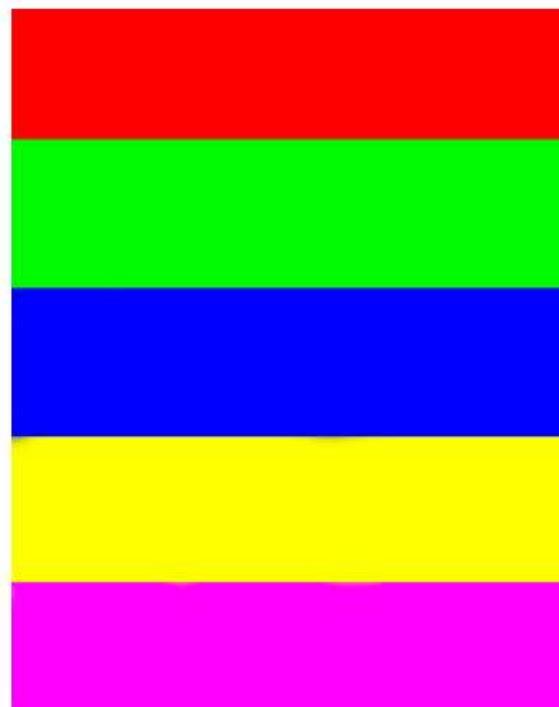
# Farbmanagement

Reproduktionen sollen so aussehen wie das Original:

- Verschiedene Hardware -> erzeugt unterschiedliche Farbräume aufgrund unterschiedlicher Bauweise
  - Phosphore (CRT, Plasma)
  - Lampen (LCD)
  - Lichtsensoren (Digitalkameras, Scanner)
  - Farbfilter
  - ...

Farbreproduktion ist von der Hardware abhängig

Monitor



Drucker



RGB

CMYK

# Farbreproduktion ist von der Hardware abhängig

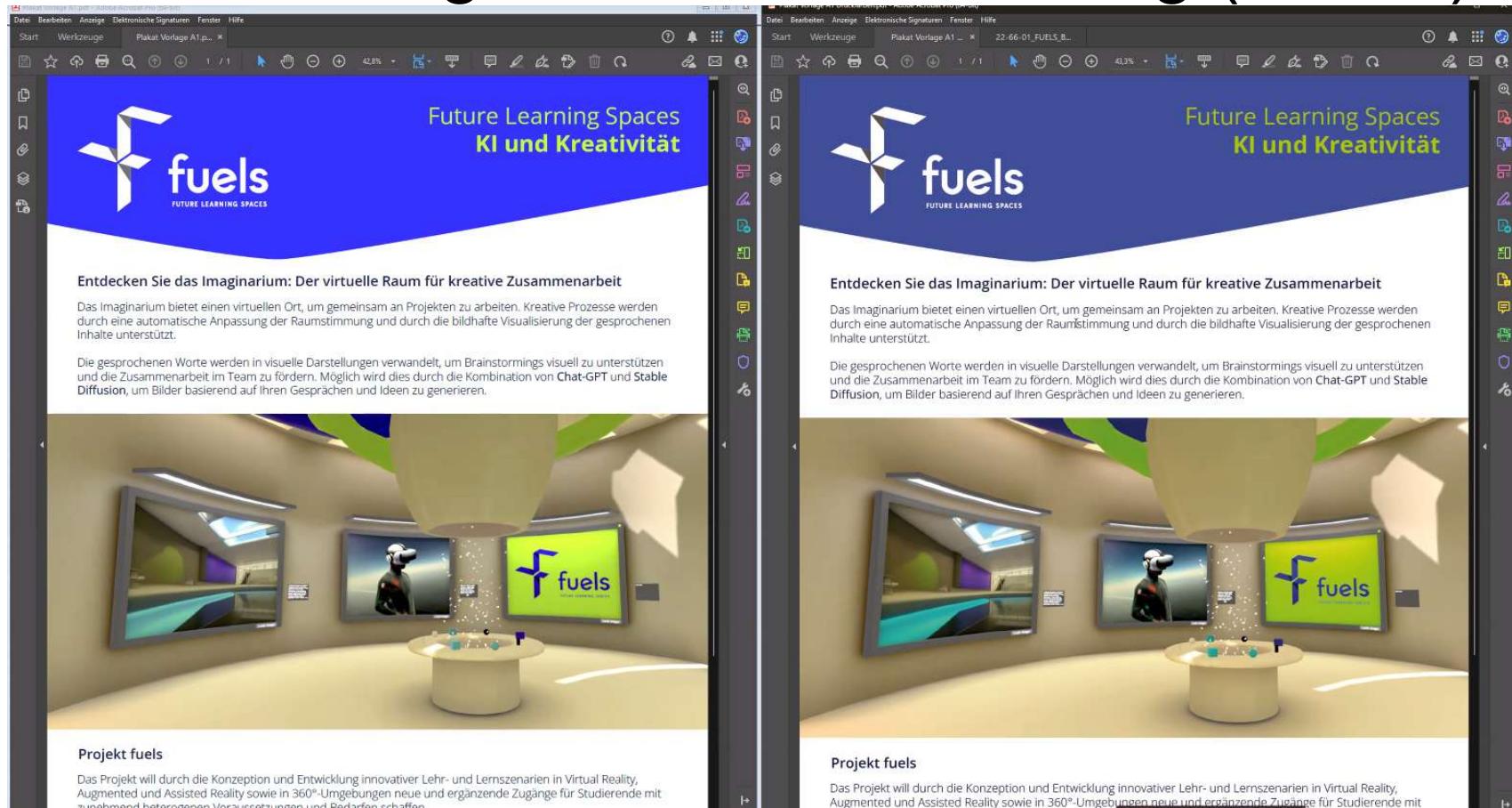


Fazit: Farbmanagement (Color Management) ist notwendig!

# Lsg.:Colorimetrische (od. kalibrierte) Farbräume

- Farben werden in einer geräteunabhängigen Form beschrieben (wahrnehmungsbasiert).
- Farbdarstellungen werden dadurch korrekt reproduzierbar.
- Anwendung:
  - Bilddatenbanken
  - Druckindustrie
  - Filmindustrie
  - Bildverarbeitung
  - Visualisierung bspw. virtueller Prototypen

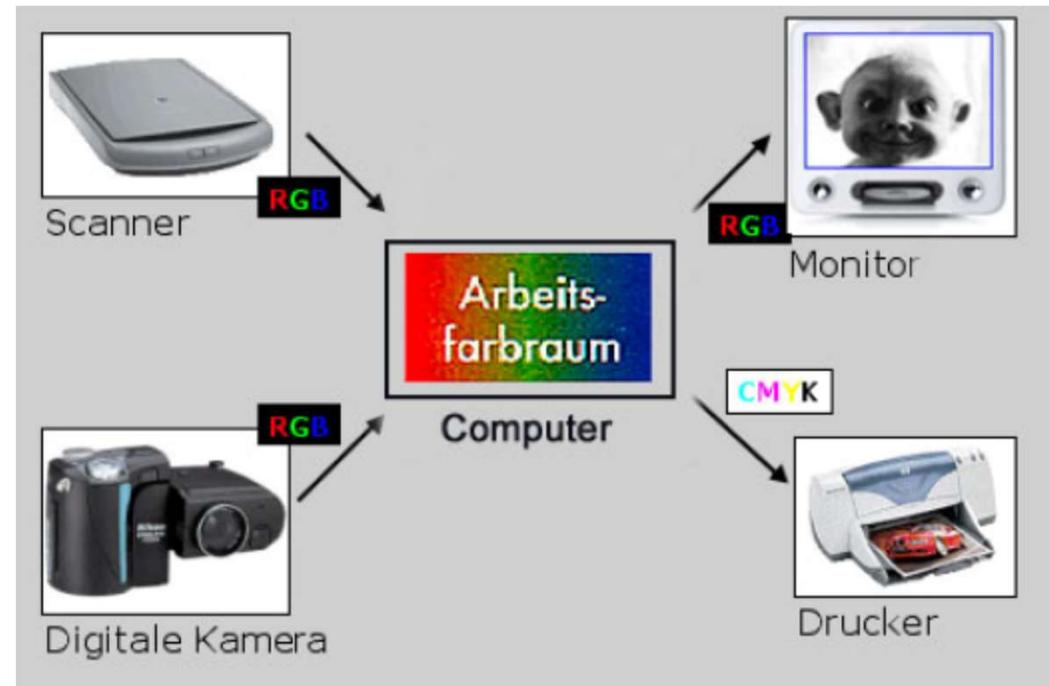
# Darstellung auf dem Monitor (links) versus Aufbereitung für den Druckauftrag (rechts)



# ICC (International Color Consortium)

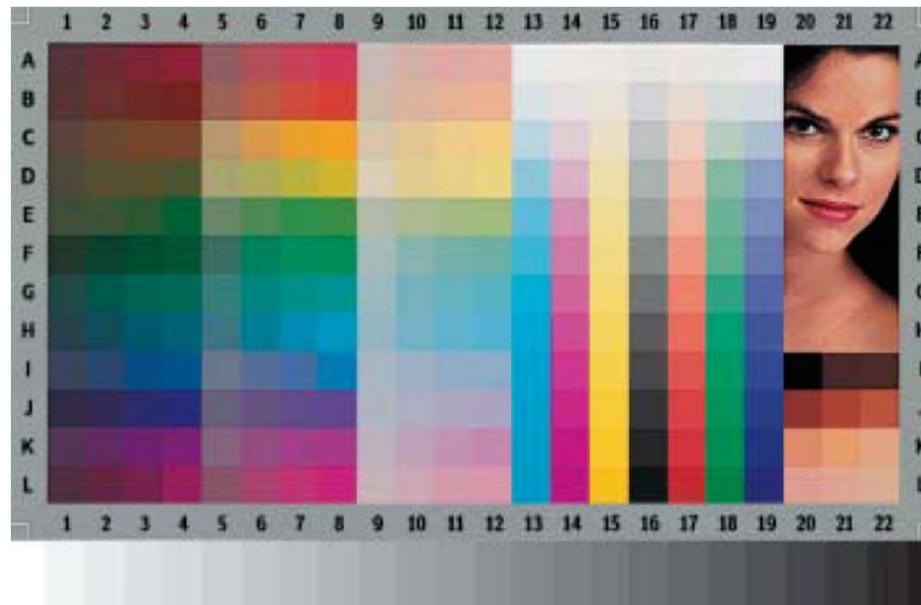
- Unabhängige Vereinigung von Herstellern, Anwendern und Berater rund um Color Management.
- Ziele des Konsortiums:
  - Weltweite Normierung & Standardisierung
  - Festlegung der Farbprofile, so dass diese Herstellerübergreifend eingesetzt werden können.

# Farbmanagement (Color Management)



# ICC Profil zum Color Management

Jedes Farbquadrat ist als CIE-Farbe eindeutig definiert



Farbabweichungen werden berechnet und als eine Art „detaillierte“  
Gama-Korrektur zur Korrekturberechnung genutzt.

# Colorimeter



- Zur Kalibrierung von Monitoren
- Ohne eigene Lichtquelle und daher kleiner als ein Spektralfotometer