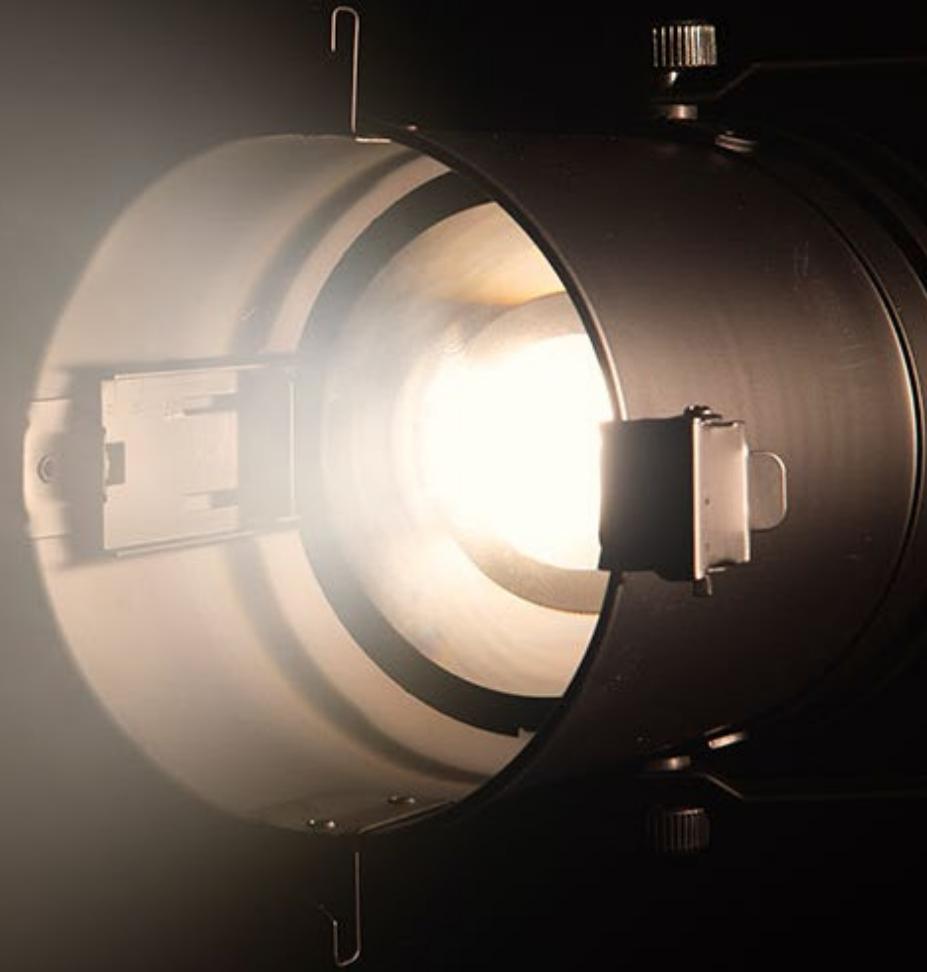


LICHT/FARBE

# LICHT & FARBE

Physik  
Wahrnehmung  
Farbsysteme  
Farbräume  
ICC Profilierung  
Messung  
Farbkorrektur



# LICHT/FARBE

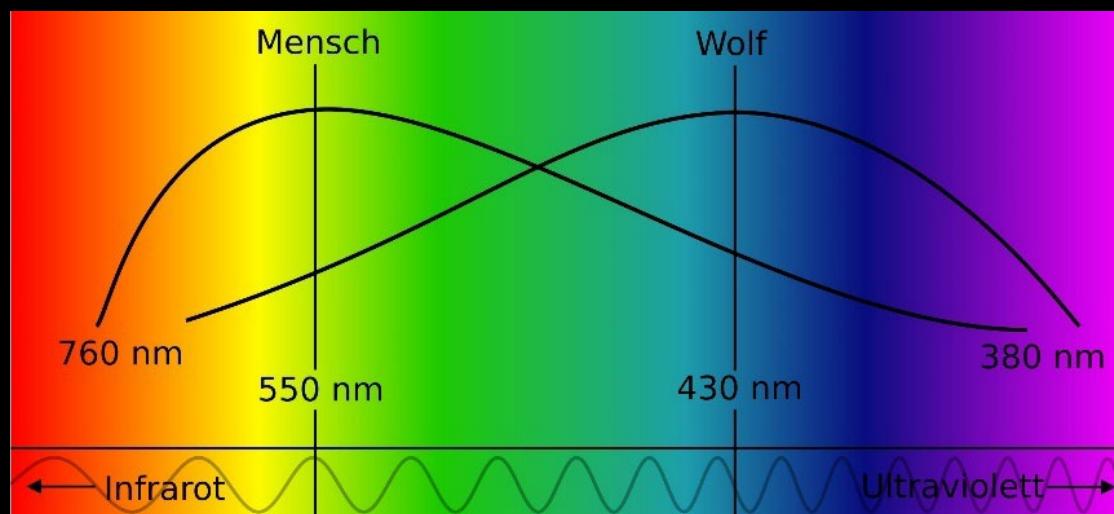
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Was ist Licht?

Als **Licht** wird eigentlich nur der für das menschliche Auge sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, welche sich in Wellen (Modell) ausbreitet.

Im luftleeren Raum (Vakuum) breitet sich Licht mit der konstanten **Lichtgeschwindigkeit von  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$**  aus.

Das für den Menschen wahrnehmbare Spektrum weißem Lichts (Sonnenlicht) reicht von  $\sim 380\text{-}760\text{nm}$  (Wellenlänge), also dem Bereich zwischen **Infrarot** und **Ultravioletten**-Strahlung.



Farbspektrum des Menschen



Farbspektrum des Wolfes

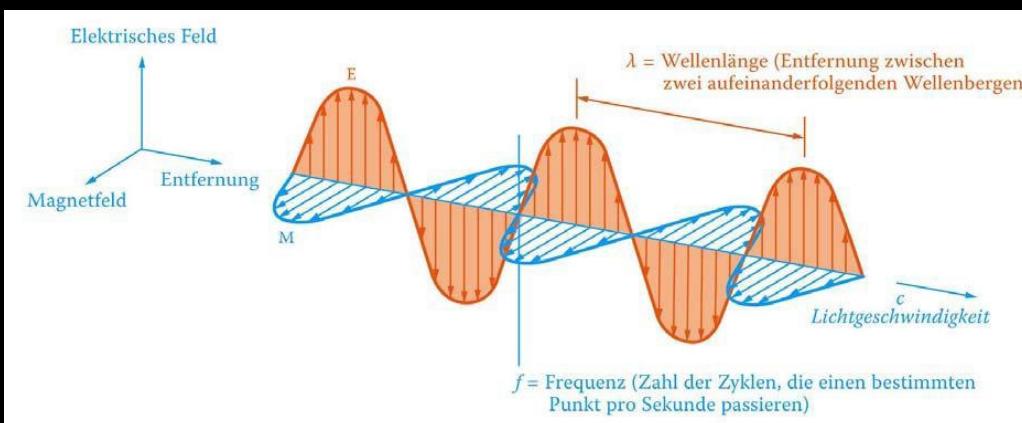
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Was ist Licht?

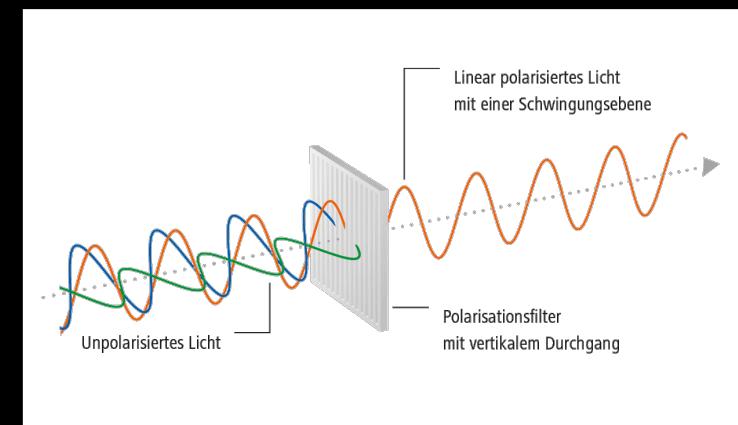
Als **Licht** wird eigentlich nur der für das menschliche Auge sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, welche sich in Wellen (Modell) ausbreitet.

Im luftleeren Raum (Vakuum) breitet sich Licht mit der konstanten **Lichtgeschwindigkeit von  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$**  aus.

Das für den Menschen wahrnehmbare Spektrum weißem Lichts (Sonnenlicht) reicht von  $\sim 380\text{-}760\text{nm}$  (Wellenlänge), also dem Bereich zwischen **Infrarot** und **Ultravioletter**-Strahlung.



**Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle:**  $\lambda$  = Wellenlänge;  
E = elektrische Feldstärke (rot); M = magnetische Flussdichte (blau); f = Frequenz  
(pro Sekunde)



**Unpolarisiertes und polarisiertes Licht (per Filter)**

# LICHT/FARBE

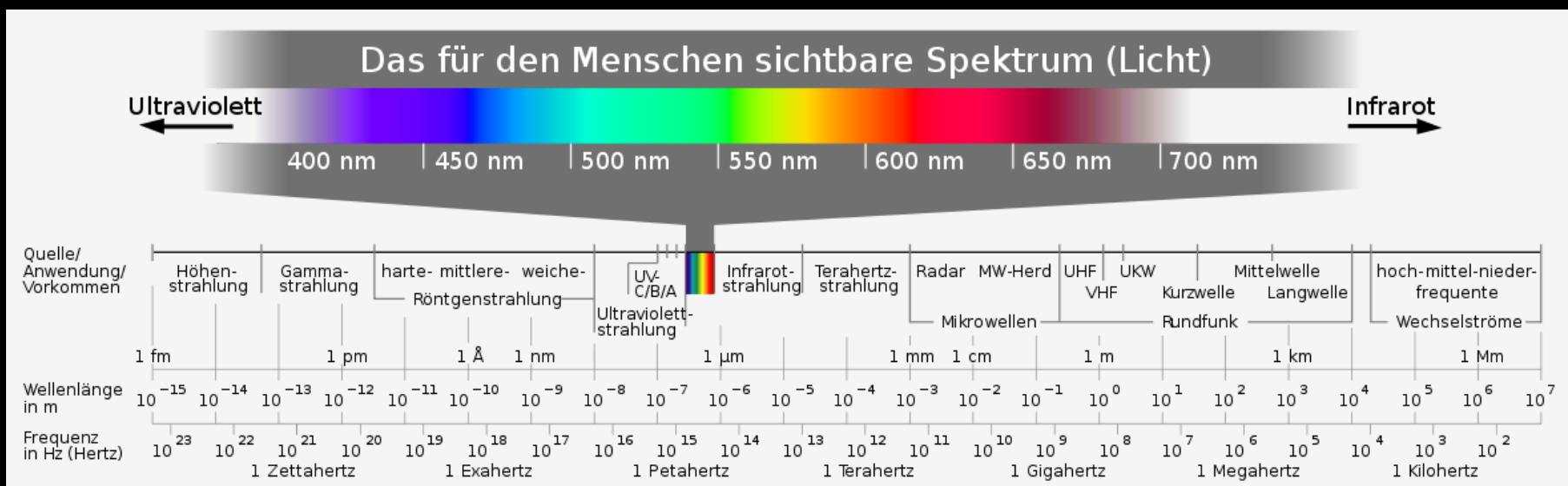
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung



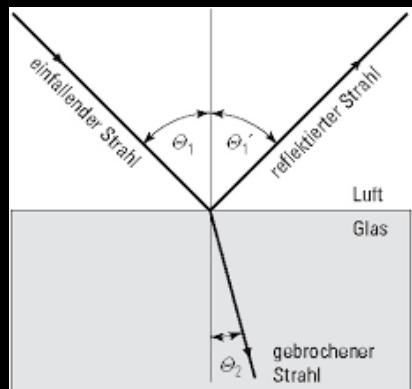
## Was ist Licht?

Das für den Menschen wahrnehmbare Spektrum (~380-760nm) ist nur ein ganz kleiner Ausschnitt aller vorhanden Wellen (siehe Bild).

Mithilfe der **UV-Fotografie** können uns verborgene Spektren im Ultraviolet-Bereich sichtbargemacht werden. Speziell in der Tier- und Pflanzenwelt gibt es sehr viel zu entdecken was unseren Augen normal verborgen bleibt.



# LICHT/FARBE



Verhalten von Licht bei Reflexion und Brechung an der Grenzschicht zweier transparenter Körper unterschiedlicher, optischer Dichte kann z.B. mit Stahlen berechnet werden.

**Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung**

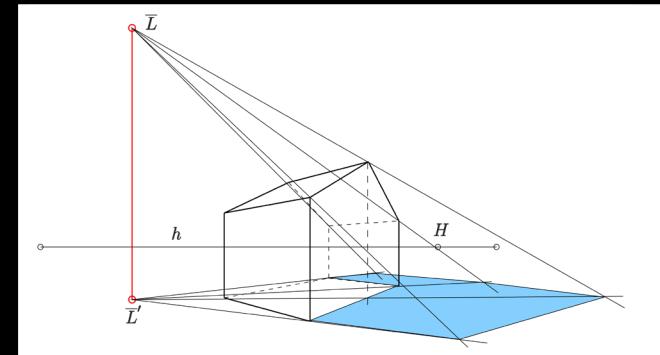
## Modelle zur Erklärung der Eigenschaften von Licht:

**1) Strahlen:** In der Strahlenoptik (geometrischen Optik) wird die geradlinige Ausbreitung des Lichts durch Lichtstrahlen beschreiben.

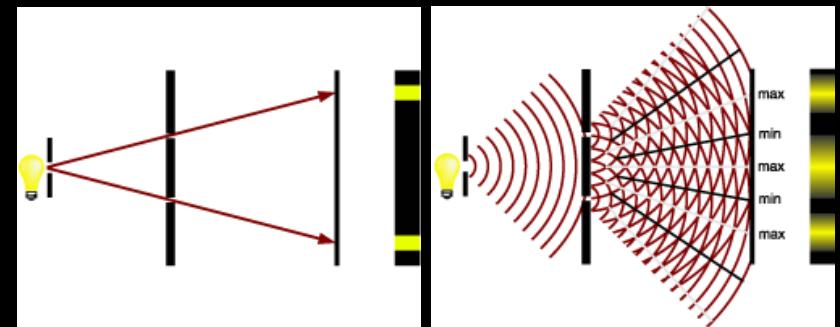
**2) Wellen:** In der Wellenoptik wird mit Hilfe der Wellennatur des Lichts Beugungs- und Interferenzerscheinungen erklärt.

**3) Teilchen:** In der Quantenphysik wird die Ausbreitung von Licht als Strom von Lichtteilchen (**Photonen/Quantenobjekt**) beschrieben, welche die Eigenschaften von Wellen und Teilchen vereinen.

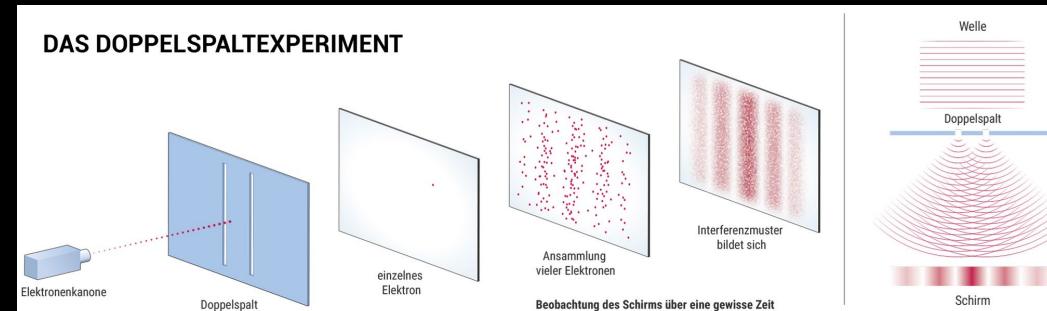
Umfassend kann Licht aktuell nur durch die **Quantenelektrodynamik** erklärt und beschrieben werden.



Berechnung des Schattenwurfs durch Strahlen



Zu erwartendes Bild entsprechend der Strahlenoptik und tatsächliches Bild



**DAS DOPPELSPALT EXPERIMENT**  
Welle-Teilchen-Dualismus : Beugung einer ebenen Welle an einem Doppelspalt.  
Die Quantenobjekte (z.B. Elektronen) verhalten sich wie Teilchen und Wellen (Interferenzmuster) zugleich

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung



## Lichtfarbe

Mit einem Prisma kann das für uns sichtbare Farbspektrum des weißen Sonnenlichts in unterschiedliche Wellenlängen aufgetrennt werden, welche somit in den Farben eines Regenbogens (Spektralfarben) erscheinen.

## Wellenlängenbereiche der Spektralfarben

(etwa-)Farnton	Wellenlänge $\lambda$ in nm	Wellenfrequenz $\nu$ in THz	Energie E pro Photon in eV
Violett	380–420	789,5–714,5	3,26–2,955
Blau	420–490	714,5–612,5	2,95–2,535
Grün	490–575	612,5–522,5	2,53–2,165
Gelb	575–585	522,5–513,5	2,16–2,125
Orange	585–650	513,5–462,5	2,12–1,915
Rot	650–750	462,5–400,5	1,91–1,655

Spektralfarben und deren Wellenlänge, Wellenfrequenz, Energie

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

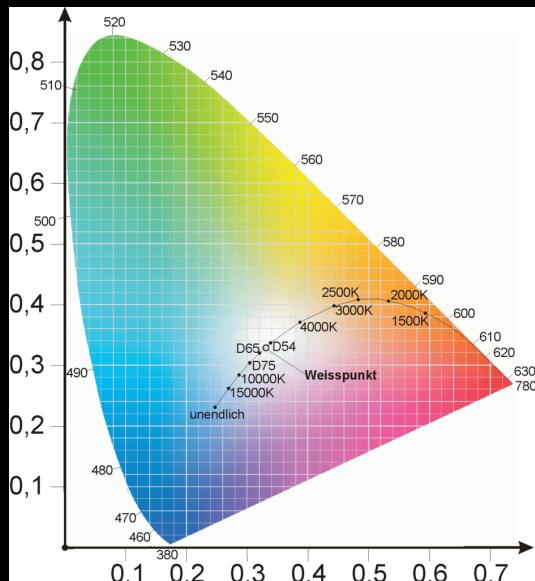
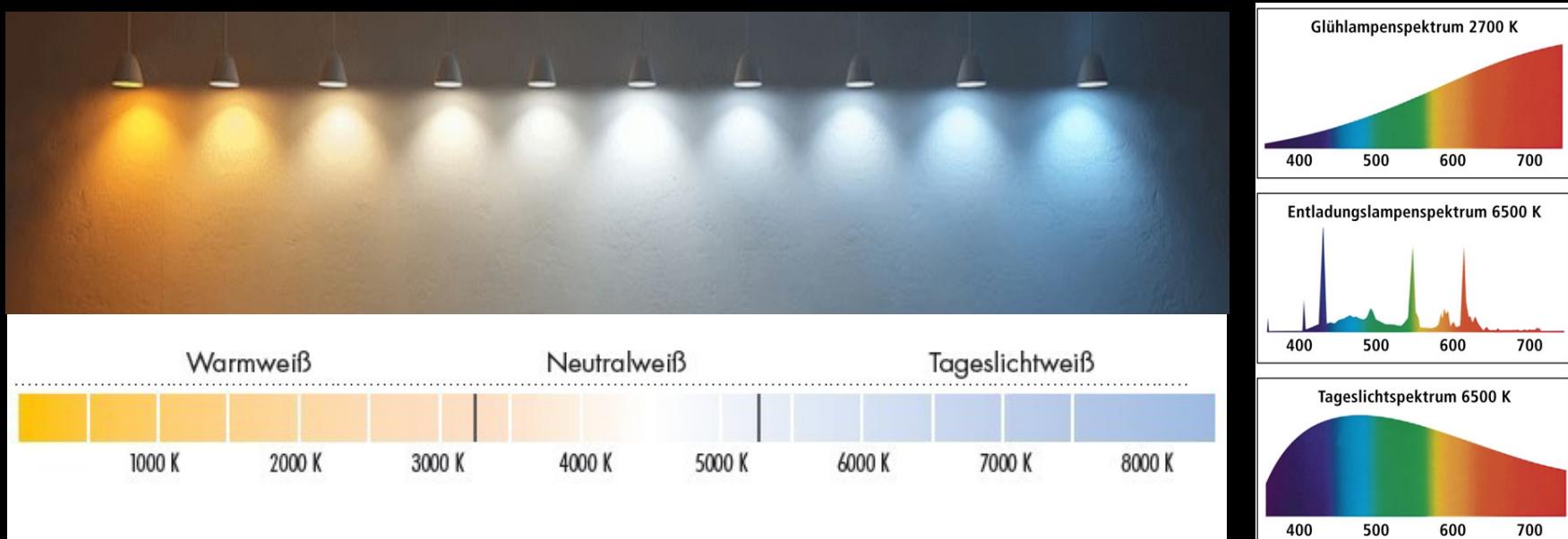


Abbildung der Weißpunkte (in Kelvin) in einem Farbdreieck.

## Farbtemperatur (in Kelvin)

Die Farbe von (konventionellen) Lichtquellen lässt sich schwer durch Lichtwellenlängen (nm) beschreiben, da das Ausstrahlungsspektrum zu berücksichtigen ist. Daher werden Licht-Quellen mit breitem Spektrum nach ihrer **Farbtemperatur (Kelvin)** klassifiziert, also nach der Temperatur eines schwarzen Körpers (z.B. glühendes Titan), der in derselben Farbe leuchtet, wie die Quelle.



Einfache Klassifizierung des Weißpunkts nach Farbtemperatur (Kelvin)

Lichtspektrum von verschiedenen Lichtquellen in Kelvin und Wellenlängen (nm)

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

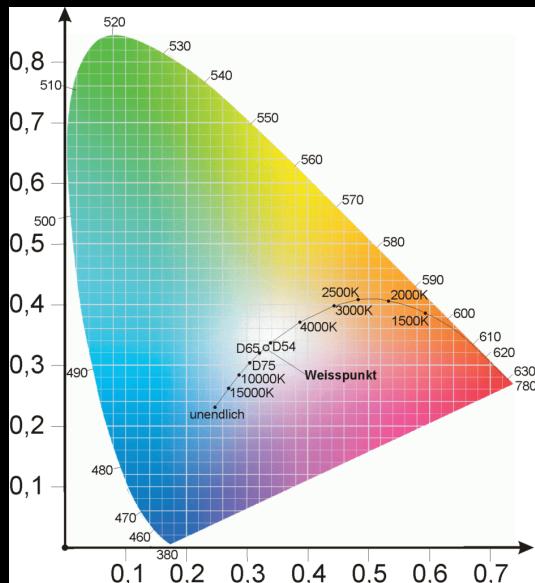
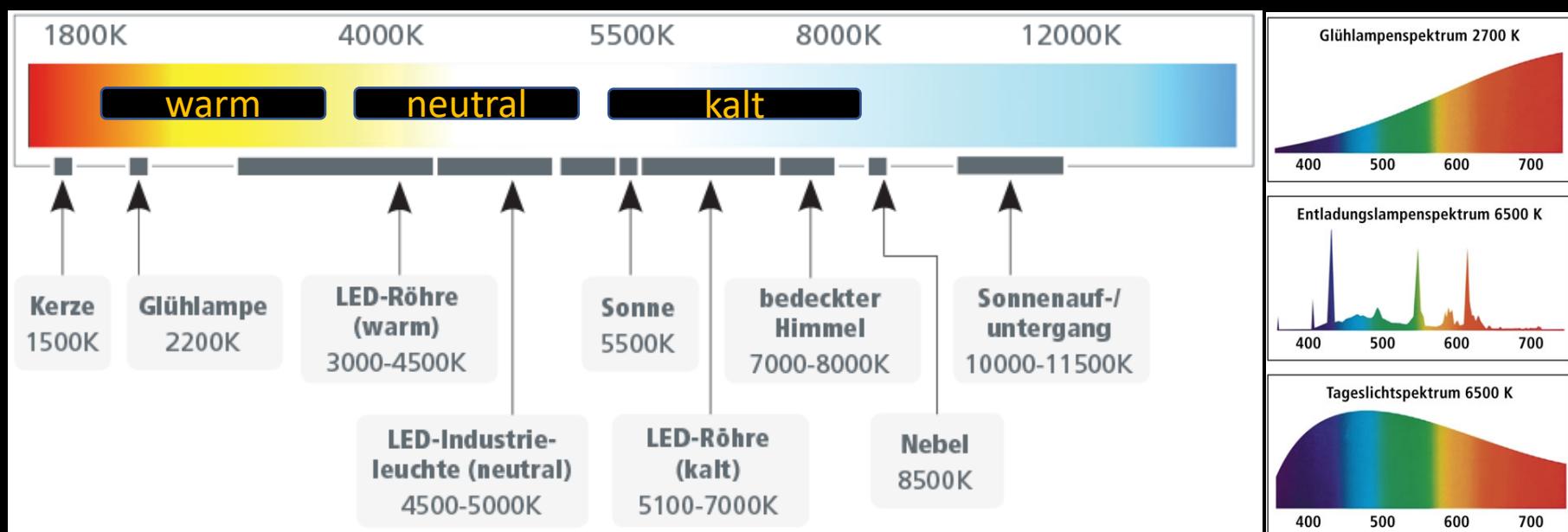


Abbildung der Weißpunkte (in Kelvin) in einem Farbendreieck.

## Farbtemperatur verschiedener Lichtquellen

Die Farbe von (konventionellen) Lichtquellen lässt sich schwer durch Lichtwellenlängen (nm) beschreiben, da das Ausstrahlungsspektrum zu berücksichtigen ist. Daher werden Licht-Quellen mit breitem Spektrum nach ihrer **Farbtemperatur (Kelvin)** klassifiziert, also nach der Temperatur eines schwarzen Körpers (z.B. glühendes Titan), der in derselben Farbe leuchtet, wie die Quelle.



Einfache Klassifizierung des Weißpunkts nach Farbtemperatur (Kelvin)

Lichtspektrum von verschiedenen Lichtquellen in Kelvin und Wellenlängen (nm)

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## CRI nach Leuchtmittel:

Sonne (Index) :100

Glühbirne: bis 100

Weiße LED: 75-98

Halogen: 60-95

OLED : 80-90

Energiesparlampen 80-89

Leuchtstofflampen: 60-90

Quecksilberdampflampen: 45-50

Natriumdampflampen: 30-40

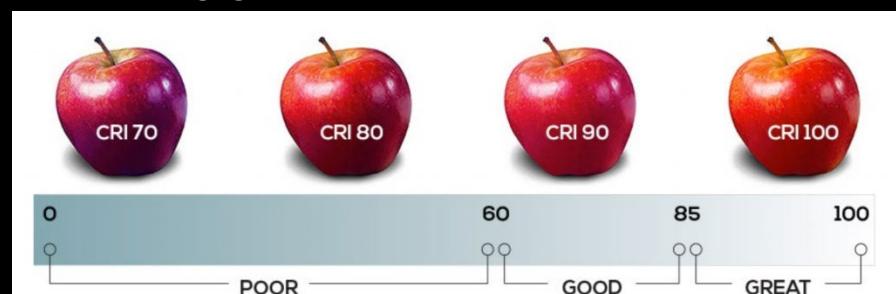
## Farbwiedergabeindex (Ra)/ Color Render Index (CRI)

### Index für die Lichtqualität:

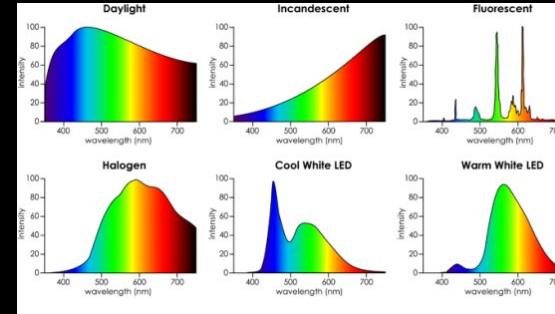
Der Farbwiedergabeindex ist eine photometrische Größe zur Bestimmung des Farbeindrucks eines angestrahlten Objekts.

Es handelt sich um einen einheitenlosen Referenzindex zwischen 1 und 100, wobei Sonnenlicht als Referenz (100) dient. Der Index beschreibt die Qualität der spektralen Zusammensetzung des weißen Lichts eines Leuchtmittels. Damit lässt sich eine Aussage über die Qualität der wiedergegebenen Farben treffen.

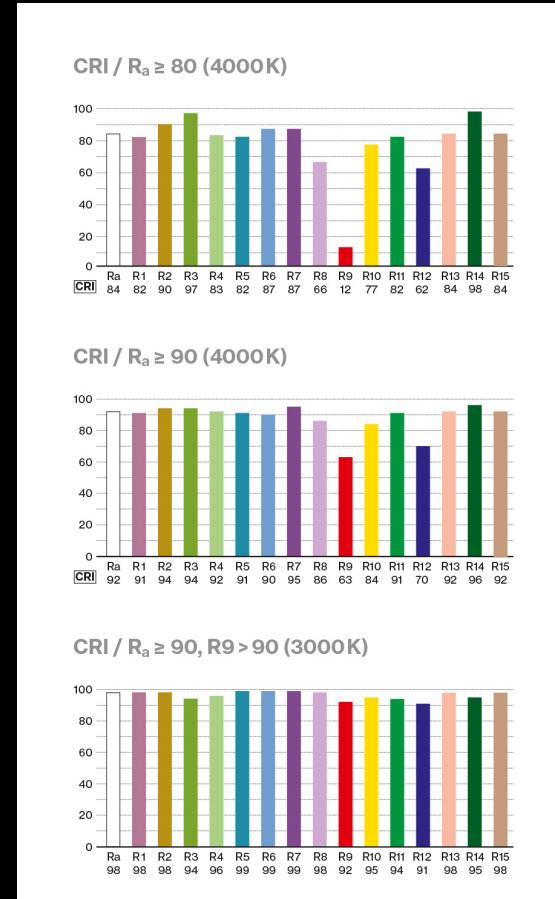
Auch Glühlampen haben den maximalen Farbwiedergabeindex von 100. Leuchtstofflampen besitzen hingegen nur einen CRI von 60 bis 90.



Einteilung des Farbwiedergabeindex in poor , good und great



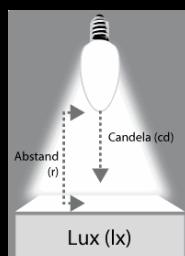
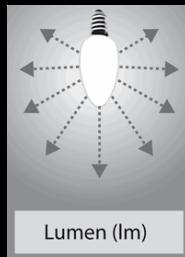
Spektrale Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen



Getestet wird mit 15 ausgewählten Testfarben. Der Mittelwert der ersten 8 Testfarben ergibt den Farbwiedergabeindex Ra.

Testfarben R9–R12 geben detaillierte Auskunft über die Farbwiedergabe der gesättigten Farben. R13 = Europäische Hautfarbe, R14 = Blattgrün und R15= asiatischer Hautfarbton.

## Licht Farbe Wahrnehmung Farbraum Farbmanagement Profilierung



### Lichtmessung und Einheiten:

#### Lumen (lm) - Lichtmenge

Mit Lumen wird der gesamte **Lichtstrom  $\Phi$**  (Lichtmenge) einer Lichtquelle in alle Richtungen beschrieben. Lumen ist wie Candela eine **Sendergröße** und beschreibt das Licht, welches von der Lampe ausgesendet wird.

#### Candela (cd) - Lichtstärke

Candela (cd) ist die Einheit, welche den Lichtstrom einer Lichtquelle in eine bestimmte Richtung (in Abhängigkeit des Abstrahlwinkel) beschreibt.

Beispiel:

- Fahrradlampe 5 Watt ohne Reflektor: 2,5 cd
- Fahrradlampe 5 Watt mit Reflektor: 250 cd

Candela ist wie Lumen, eine **Sendegröße**, welche den Eindruck der Strahlung im Auge beschreibt. Die Einheit „Nits“ ist ein äquivalent zu Candela.

#### Lux (lx) - Beleuchtungsstärke

Sie beschreibt, wie viel Licht von der Lichtquelle auf einer bestimmten Fläche ankommt. Im Gegensatz zu Lumen und Candela ist Lux eine **Empfängergröße** – das heißt, es wird gemessen, wie viel Licht an einem bestimmten Punkt ankommt. Dabei wird berücksichtigt, wie weit die Fläche von der Lichtquelle entfernt ist und in welchem Winkel.

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Wechselwirkung von Licht mit Materie:



### Reflexion

Von spiegelnden Oberflächen (z.B. blankes Metall, Wasseroberfläche) wird Licht nach dem Reflexionsgesetz reflektiert. Einfallswinkel und Ausfallwinkel sind einander gleich



### Streuung

Das Licht ändert seine Ausbreitung, jedoch nicht wie bei der Reflexion in eine definierte Richtung, sondern diffus in alle möglichen Raumrichtungen.



### Absorption

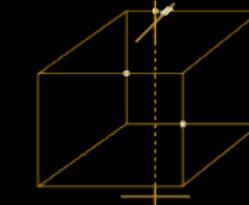
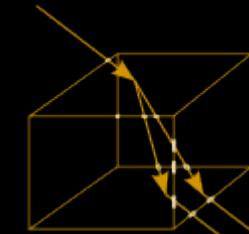
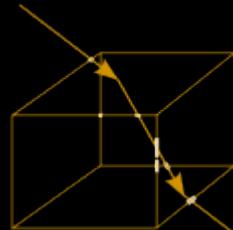
Die Energie des einfallenden Lichts wird von einem Körper verschlucht. Dies kann dazu führen, dass ein Elektron auf ein höheres Energieniveau gehoben wird, dass sich der Körper erwärmt usw. Wenn die Strahlung unabhängig von ihrer Wellenlänge absorbiert wird, erscheint der Körper schwarz. Wird nur ein Teil des Spektrums absorbiert, so bestimmen die übrig gebliebenen Teile des Spektrums die Farbe des Körpers

## Licht Farbe Wahrnehmung Farbraum Farbmanagement Profilierung

Brechungsindex  
Index of Refraction (IOR)

Medium	<i>n</i>
Vakuum	1,0000
Luft <sup>b</sup>	1,0003
Wasser	1,33
Äthylalkohol	1,36
Glas	
Quarzglas	1,46
Kronglas	1,52
leichtes Flintglas	1,58
Plexiglas	1,51
Natriumchlorid	1,53
Diamant	2,42

## Wechselwirkung von Licht mit Materie:



### Brechung

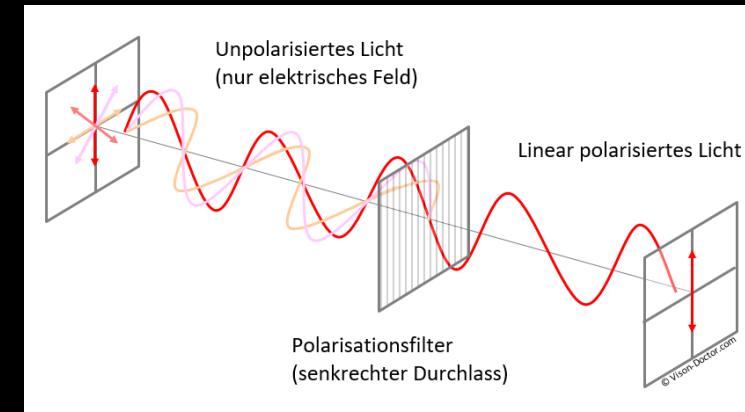
Licht wird an der Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher optischer Dichte gebrochen, d. h., ein Strahl ändert an dieser Grenzfläche seine Richtung. Das Brechungsgesetz von Snellius besagt: Der einfallende und der gebrochene Strahl sowie das Lot auf der Grenzfläche liegen in einer Ebene. Dabei ist der Winkel zwischen Lot und Lichtstrahl in dem Medium kleiner, das den höheren Brechungsindex (IOR) hat.

### Doppelbrechung

Manche Materialien spalten einen Lichtstrahl in zwei Strahlen unterschiedlicher Polarisation auf.

### Optische Aktivität

Bestimmte Medien können die Polarisationsebene von polarisiertem Licht drehen.



# LICHT/FARBE

**Licht  
Farbe**  
**Wahrnehmung**  
**Farbraum**  
**Farbmanagement**  
**Profilierung**

## Wie sehen wir Farben?

Trifft weißes Licht auf ein Objekt, wird nur ein gewisser Teil des gesamten Licht-Spektrums auf dessen Oberflächenstruktur reflektiert und bestimmt somit die Farbigkeit des Objekts.

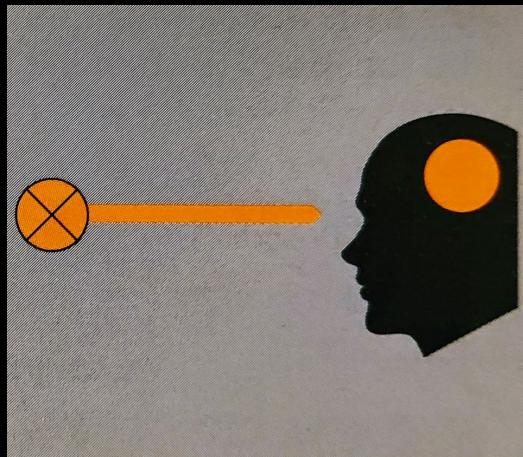


### Primärstrahler

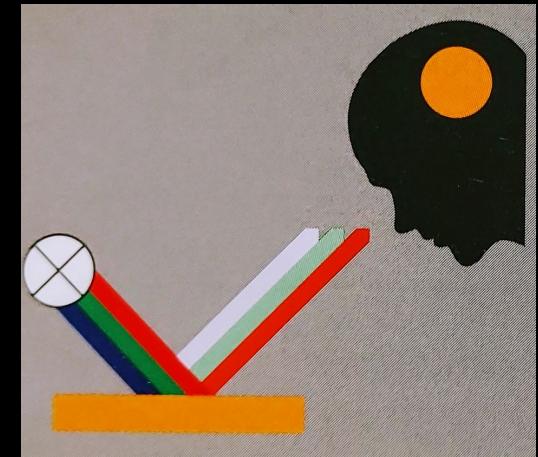
Werde direkte Lichtquellen genannt z.B: Leuchten, Monitore usw.  
Die Farbe eines Primärstrahlers nennt man **Lichtfarbe**

### Sekundärstrahler

Sind Farben die durch Licht-Reflektion einer Oberfläche entstehen. Z.B:  
Druck, Wände, Verpackungen usw.  
Die Farbe eines Sekundärstrahlers heißt **Körperfarbe**



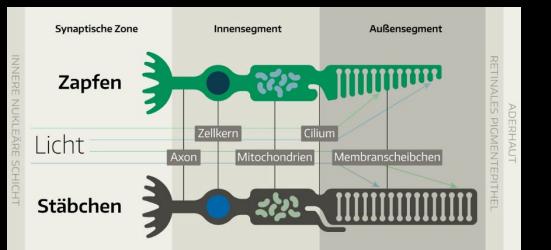
Primärstrahler (= Lichtfarbe)



Sekundärstrahler (= Körperfarbe)

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

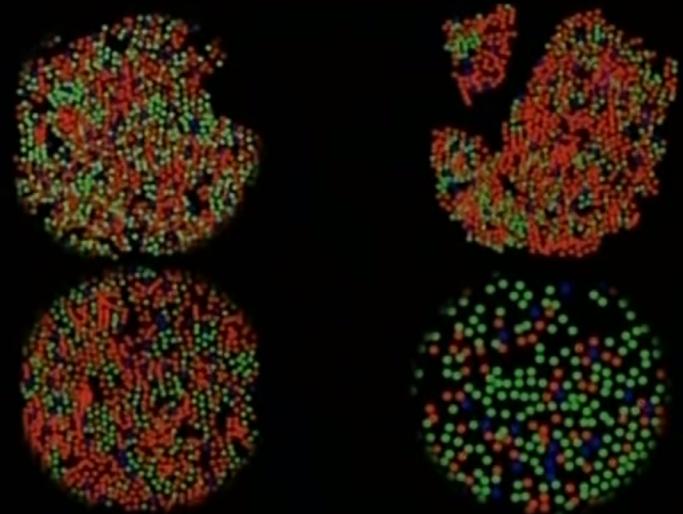


## Wie sehen wir Farben?

### Das menschliche Auge:

- 120 Millionen Stäbchen (Hell/Dunkel)
- 6 Millionen Zapfen (Farbe/RGB und Scharfsehen)

Zapfen und Stäbchen verteilen sich in der Netzhaut nicht gleichmäßig. In der Peripherie befinden sich in erster Linie Stäbchen. Im Zentrum – dem sogenannten *Gelben Fleck* (*Makula: Stelle des schärfsten Sehens auf der Netzhaut*), häufen sich die Zapfen. Das ist auch der Grund, warum am Rand des Gesichtsfelds die Sehschärfe abnimmt und man Farben schwächer wahrnimmt. Denn die Farberkennung und das scharfe Sehen sind die Spezialdisziplin der Zapfen.



Die Netzhaut mit ihren Farb-Rezeptoren unterscheidet sich von Person zu Person stark.

### Farbreiz:

Die Strahlung die durch Reizung der Zapfen eine Farbempfindung hervorruft.

### Farbvalenz:

Die Bewertung der visuellen Warnung des Farbreizes durch die Roten, Grünen und Blauen Zapfen des Auges.

# LICHT/FARBE

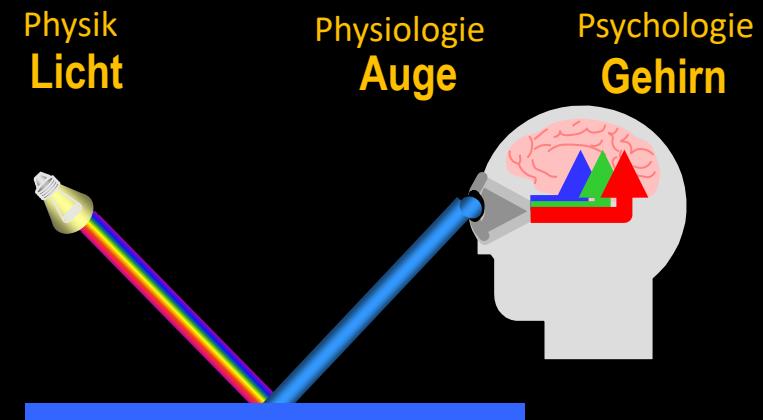
**Licht  
Farbe**  
**Wahrnehmung**  
**Farbraum**  
**Farbmanagement**  
**Profilierung**

## Wie sehen wir Farben?

Warum nehmen die meisten Menschen Farben gleich wahr?

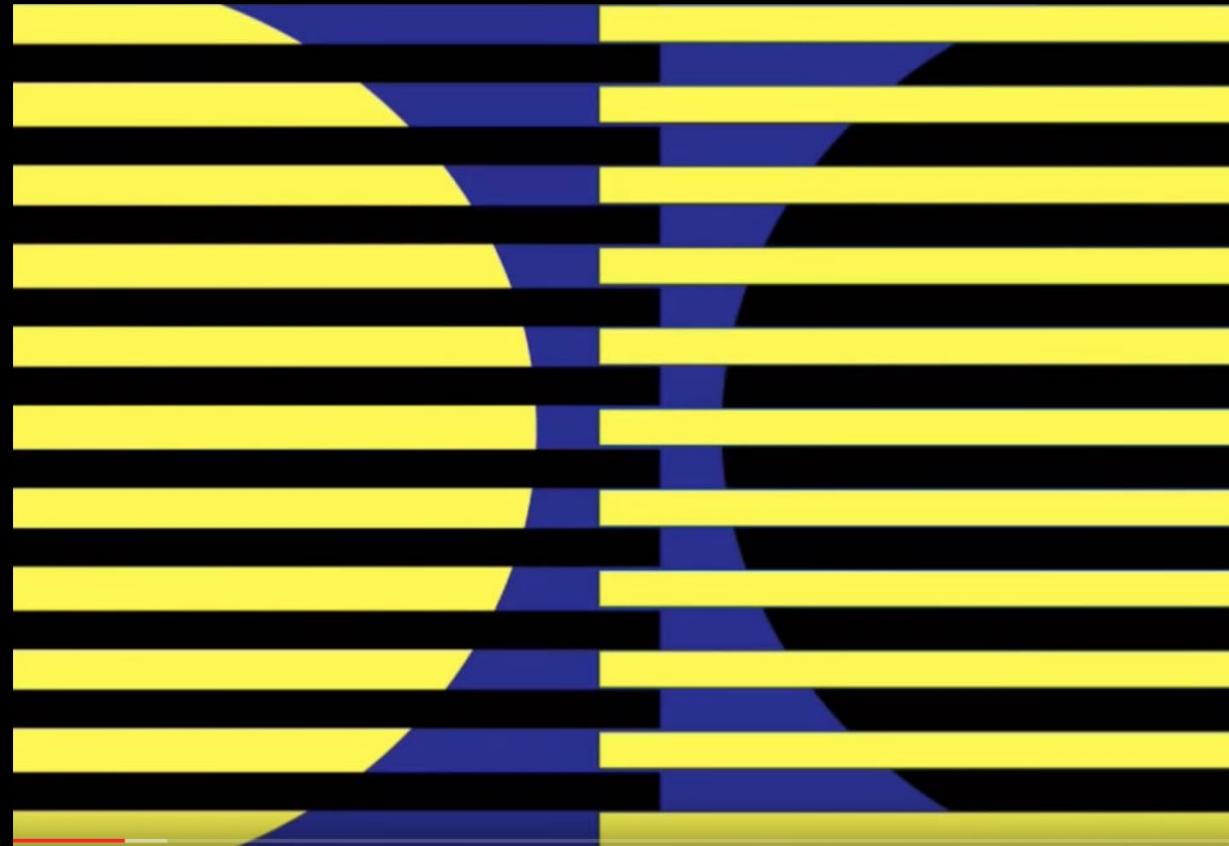
Das Gehirn interpretiert die Information der Augen auf Basis von Physik, Physiologie und Psychologie. Die Visuelle Wahrnehmung wird also nicht nur durch das auf der Netzhaut des Auges abgebildete Reizmuster bestimmt, viel mehr ist die Wahrnehmung das Ergebnis der Interpretation der jeweiligen verfügbaren Daten. Wahrnehmung ist also nicht wirklich wahr sondern eine Mischung aus Physik, Physiologie des Auges, Psychologie und subjektives Empfinden (**Erfahrungen, Stimmungen, Gefühle usw.**) bestimmt.

**„Das Auge sieht, aber das Gehirn nimmt wahr“**



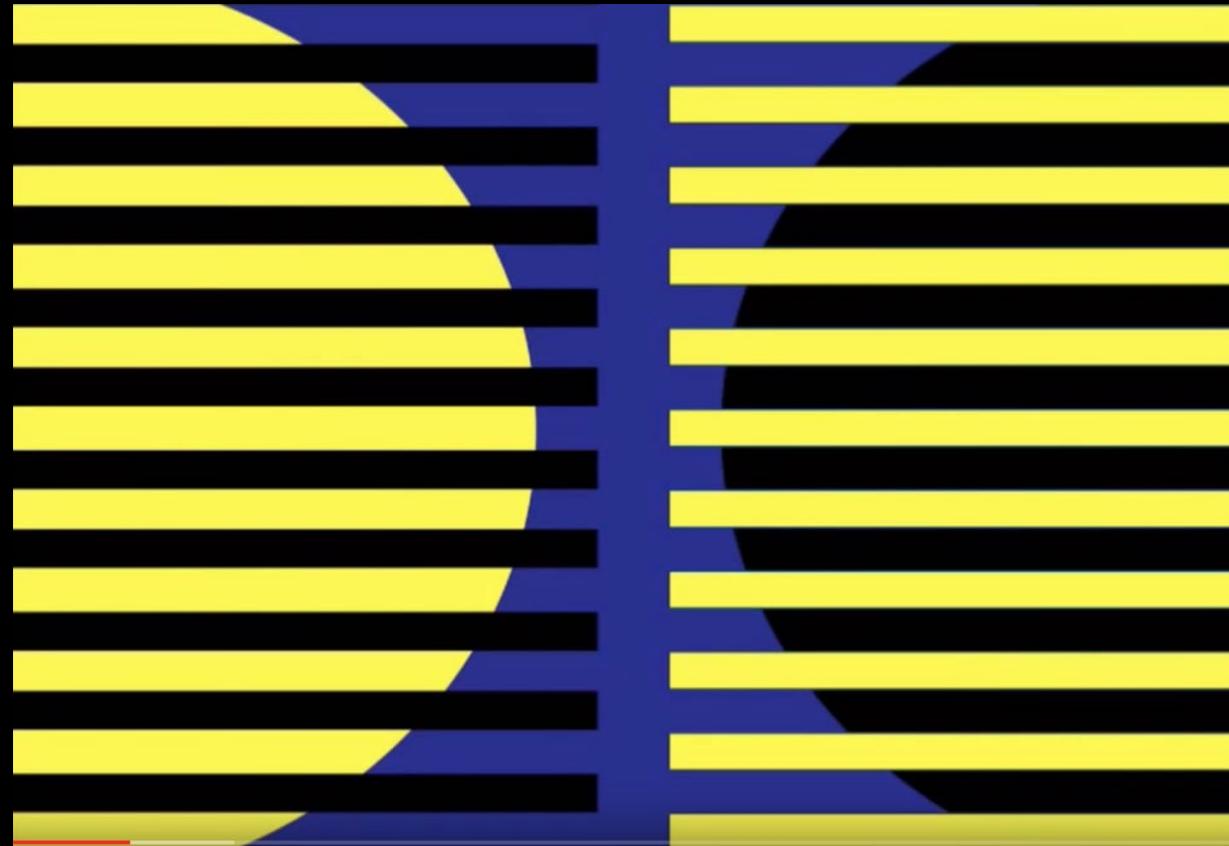
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung



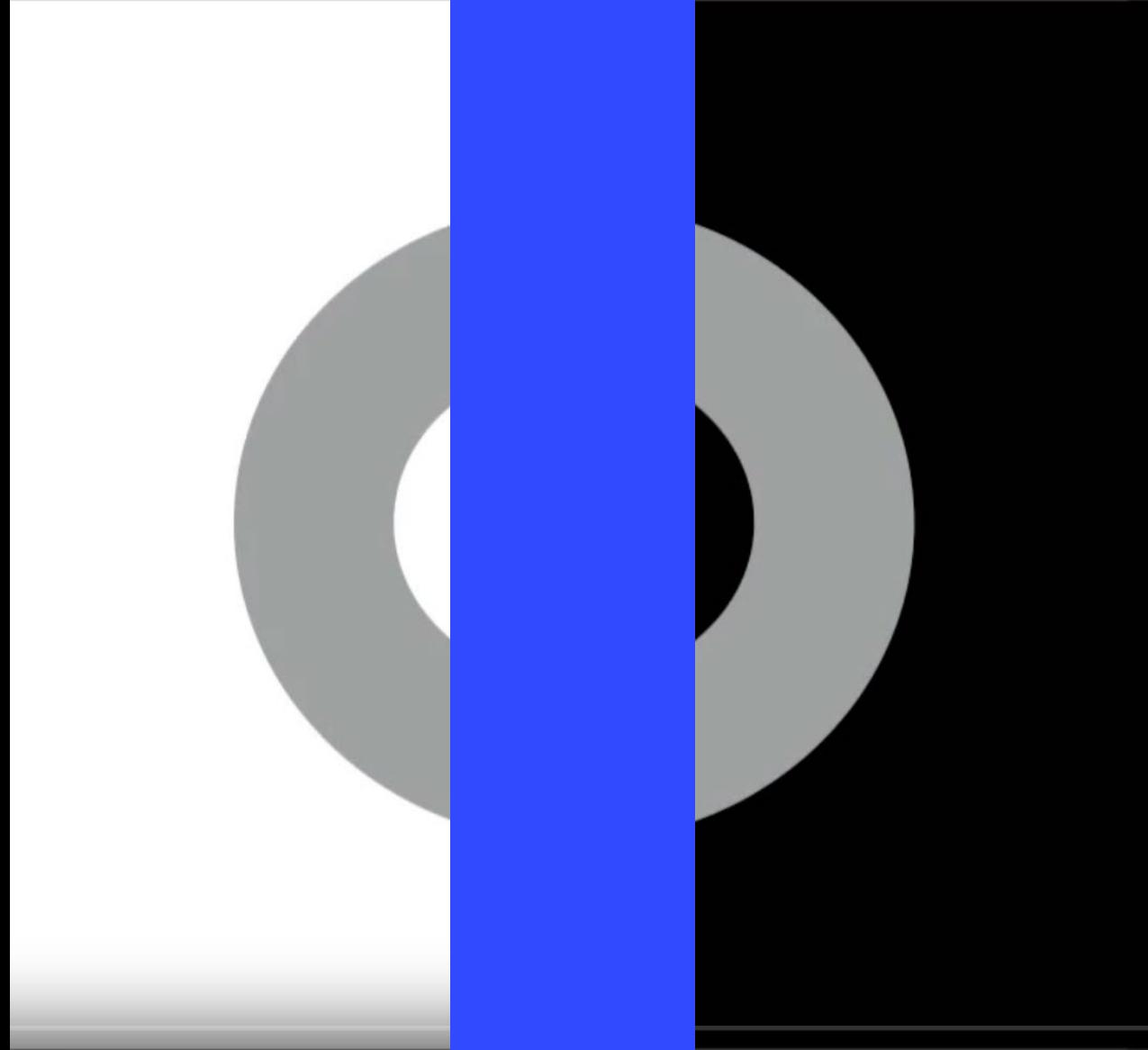
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung



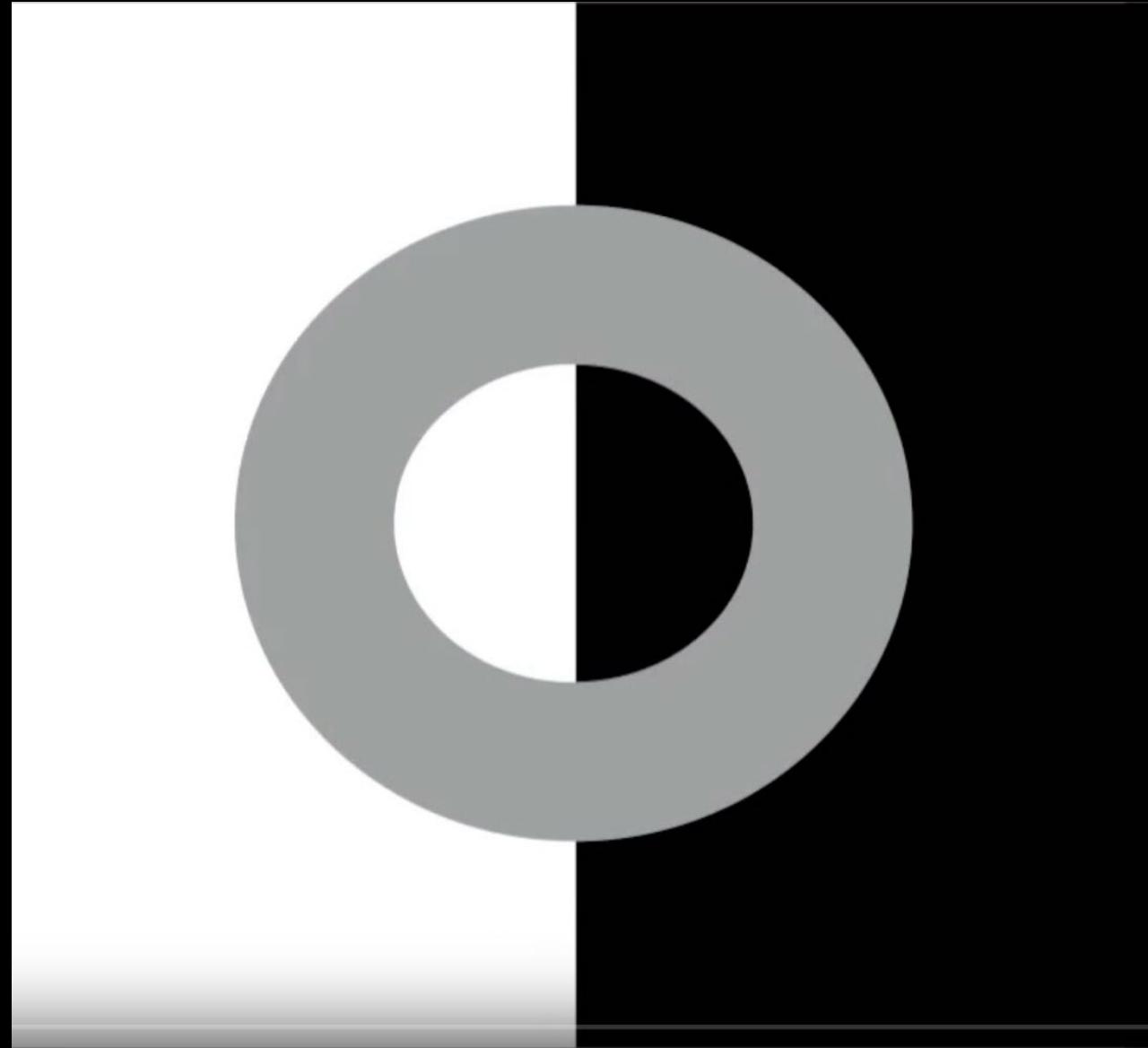
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
**Farbmanagement**  
Profilierung



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
**Farbmanagement**  
**Profilierung**



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Wie sehen wir Farben?

### Farbkontraste

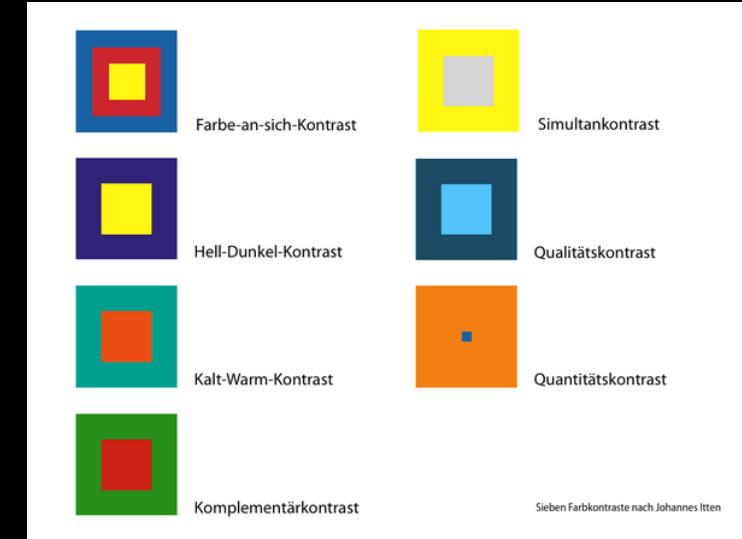
Farben stehen nie alleine (außer bei riesigen Flächen) sondern sind immer in **Wechselwirkung mit ihrer Nachbarfarbe**. Diese Beziehung der Farben nennt man Farbkontrast.

Auch wenn sich die Farbfläche nur auf einer weißen Fläche z.B. einem weißem Papier, befindet, hat sie eine besondere Wirkung, die sich von der auf einer grauen oder farbigen Fläche deutlich unterscheidet.

### Laterale Hemmung

Wenn z.B. Zapfen mit rotem Licht erregt werden, dann vermindert sich die Empfindlichkeit der nebenstehenden Zapfen für dieses Licht. Dieser Effekt wird **laterale Hemmung** genannt. Diese visuelle Abhängigkeit von Farben beeinflusst die Beurteilung und Bewertung des Betrachters.

### Sieben Farbkontraste von Johannes Itten (1888-1967)



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
**Farbmanagement**  
Profilierung



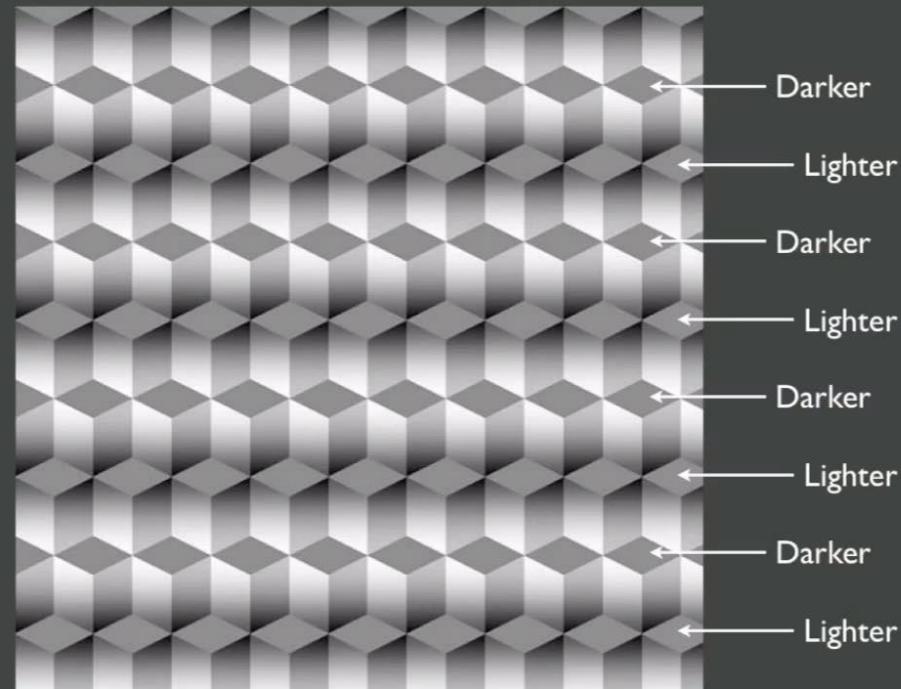
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
**Farbmanagement**  
Profilierung



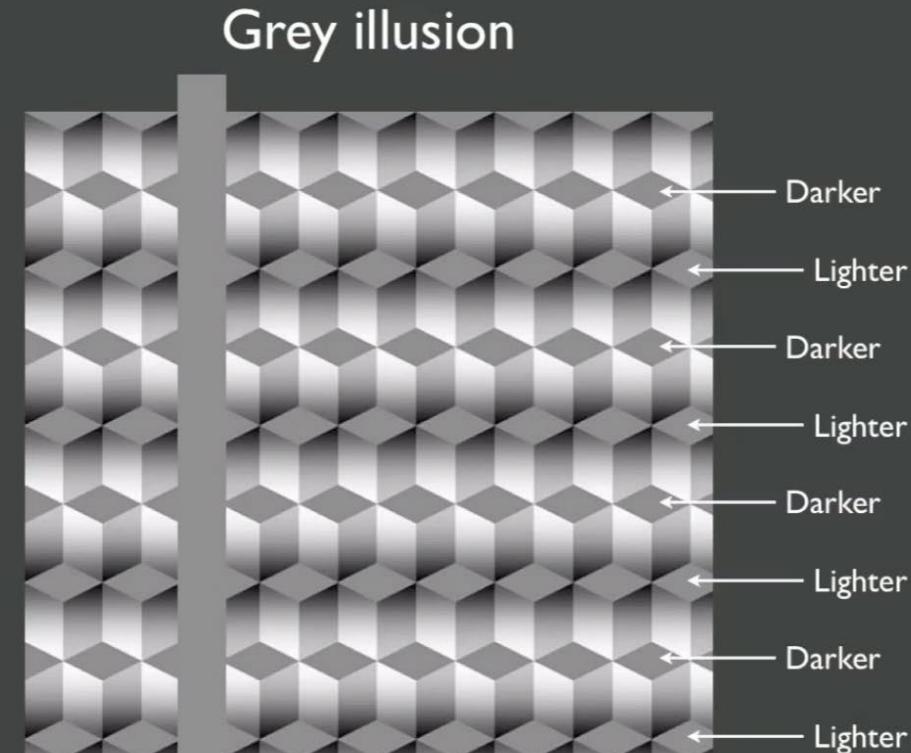
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

Grey illusion

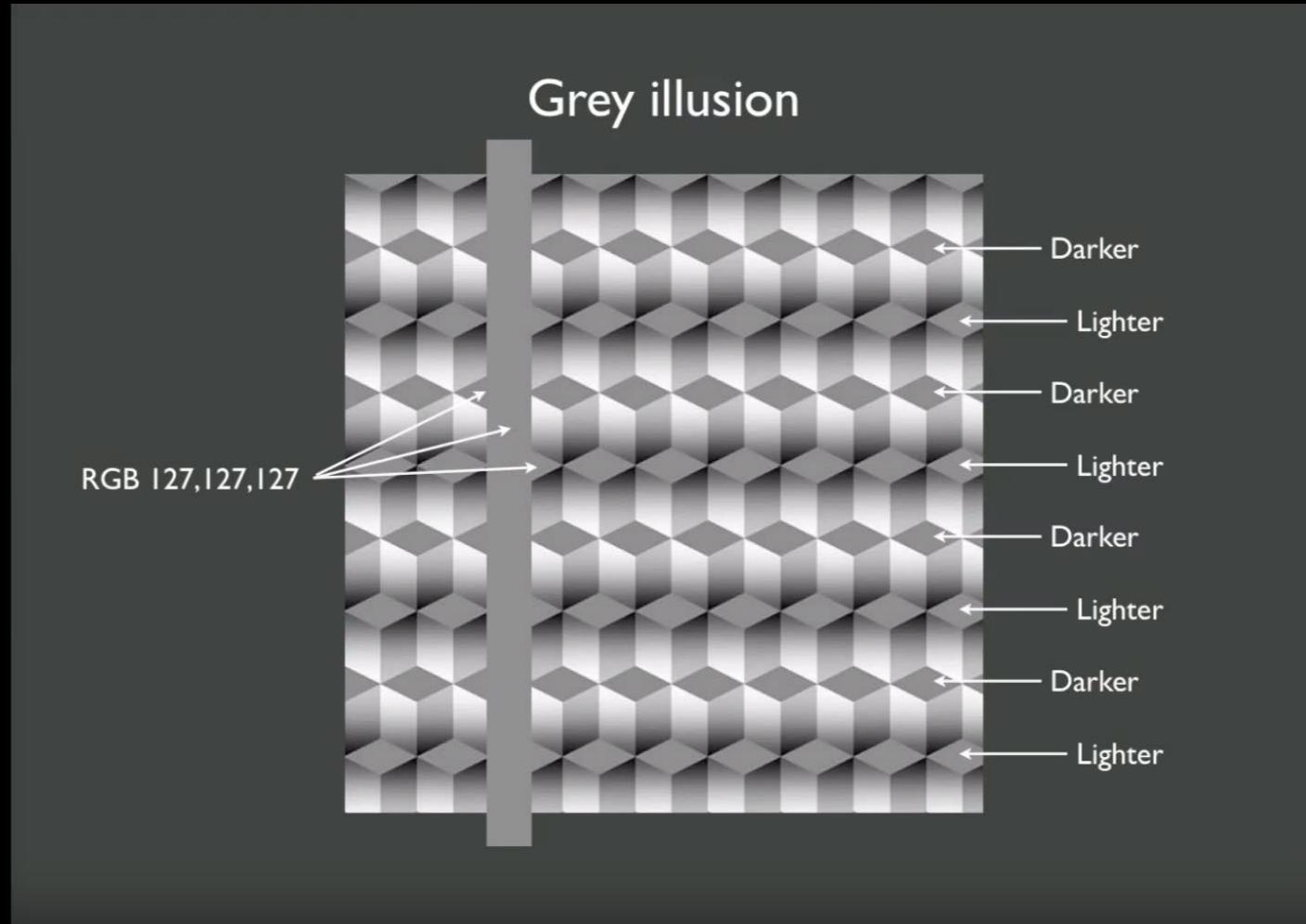


# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

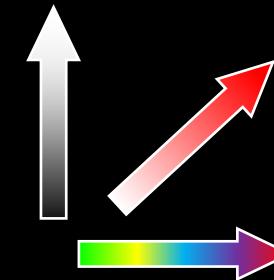
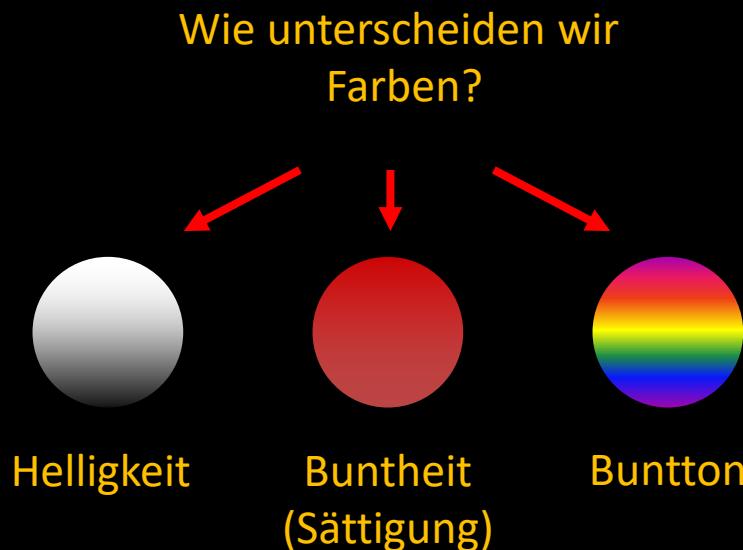


Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung



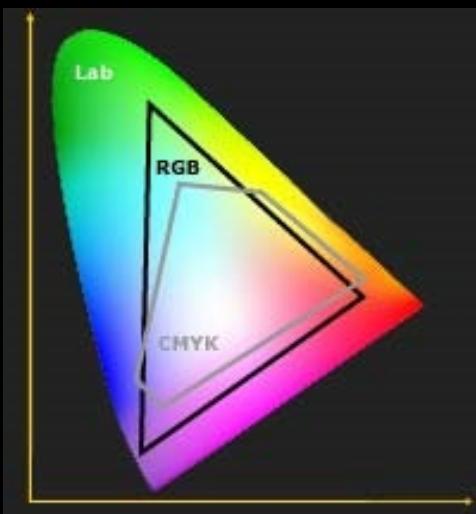
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
**Wahrnehmung**  
Farbraum  
**Farbmanagement**  
**Profilierung**



Mit diesen Werten kann Farbe sehr einfach dreidimensional auf XYZ in einem Farbmodell dargestellt werden (z.B. wie im LAB Farbmodell)

# LICHT/FARBE



**Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung**

Die darstellbaren Farben des **RGB**-  
und **CMYK**-Farbmodells in LAB

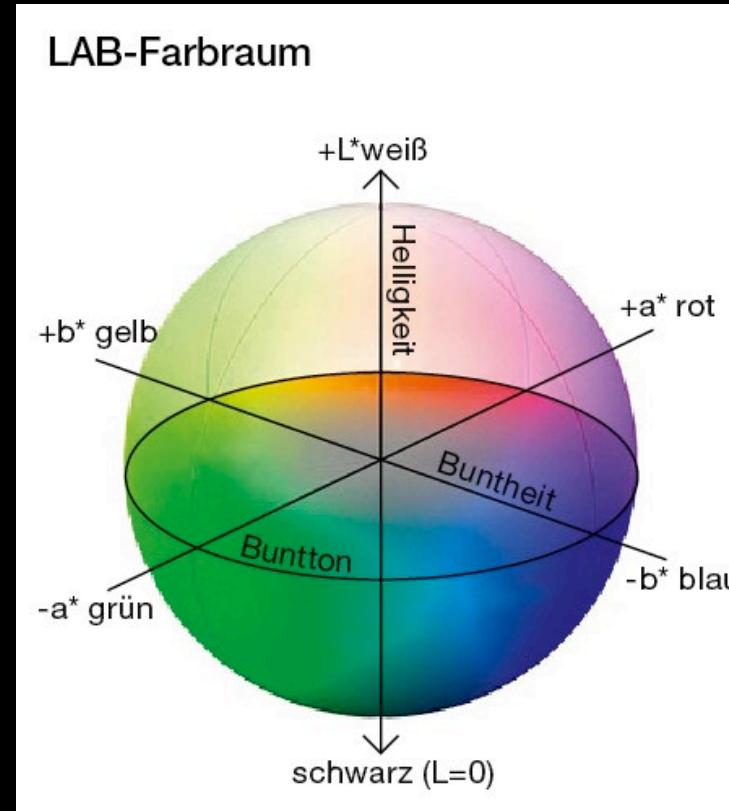
## L\*a\*b\*- Farbmodell & Referenzfarbraum (CIE-LAB System)

Das **Lab**-Farbmodell ist ein dreidimensionaler Messraum, in dem alle für den Menschen wahrnehmbaren Farbspektren enthalten sind.

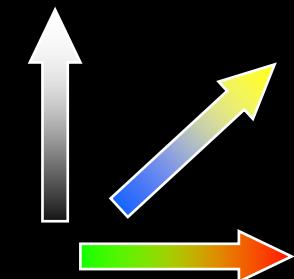
Es ist ein **standardisiertes, gleichabständiges, Geräte- und Medienunabhängiges** Farbmodell, welches sich an menschlichen Wahrnehmung (Farbwahrnehmung) und nicht physikalischen Messgrößen (Farbmetriken) orientiert und wird daher auch als **Referenzfarbraum** genutzt.

Lab wurde im Jahre 1976 von der Internationalen Beleuchtungskommission **CIE** (International Commission on Illumination) eingeführt.

Lab ermöglicht eine verlustfreie Konvertierung von Farbinformationen aus einem Farbsystem in ein anderes und wird daher im **Color Management System (CMS)** von Betriebssystemen oder Bildbearbeitungs-Software als Übersetzer zwischen unterschiedlichen Farträumen benötigt.



Anordnung der Helligkeit, Buntheit und Bunton in LAB

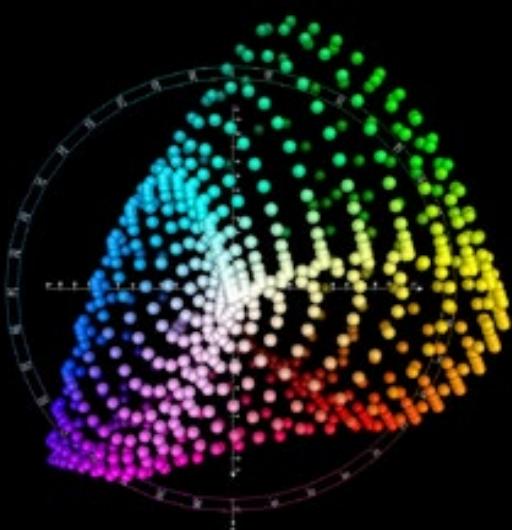


**L\*** = **Helligkeit**  
(0 bis 100)

**a\*** = **Grün-Rot Achse**  
(-127 bis +127)

**b\*** = **Blau-Gelb Achse**  
(-127 bis +127)

# LICHT/FARBE



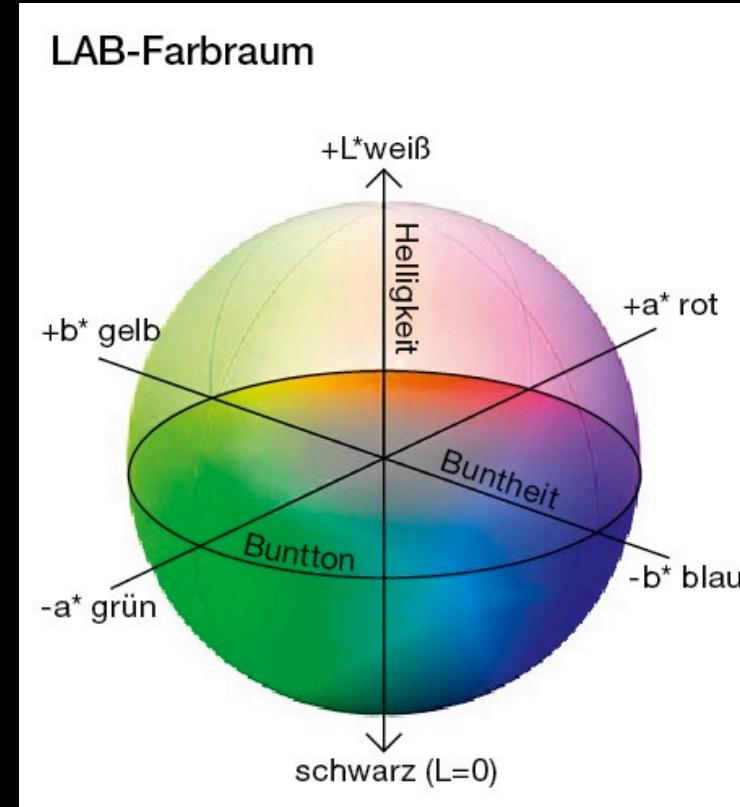
**Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung**

## L\*a\*b\*- Farbmodell & Referenzfarbraum (CIE-LAB System)

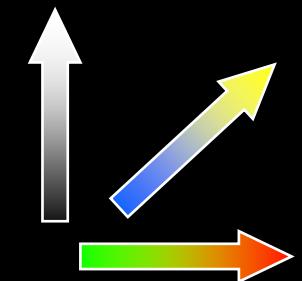
Jede Farbe im Farbraum ist durch einen Farbort mit den **kartesischen Koordinaten**  $\{L^*, a^*, b^*\}$  definiert.

Die  **$L^*$ -Achse** beschreibt die **Helligkeit** (Luminanz) der Farbe mit Werten von 0 bis 100. In der Darstellung steht diese im Nullpunkt senkrecht auf der  $a^*b^*$ -Ebene. Sie kann auch als Neutralgrauachse bezeichnet werden, denn zwischen den Endpunkten Schwarz ( $L^*=0$ ) und Weiß ( $L^*=100$ ) sind alle unbunten Farben (Grautöne) enthalten.

Die  **$a^*b^*$ -Koordinatenebene** wurde in Anwendung der **Gegenfarbentheorie** konstruiert. Auf der  $a^*$ -Achse liegen sich Grün und Rot gegenüber, wobei negative Werte für Grün und positive Werte für Rot stehen. Die  $b^*$ -Achse verläuft zwischen Blau und Gelb (negative Werte stehen für Blau und positive Werte für Gelb). Komplementäre Farbtöne stehen sich jeweils um  $180^\circ$  gegenüber, in ihrer Mitte (dem Koordinatenursprung  $a^*=0, b^*=0$ ) ist Grau.



Anordnung der Helligkeit, Buntheit und Bunton in LAB



- L = Helligkeit**  
(0 bis 100)
- a = Grün-Rot Achse**  
(-127 bis +127)
- b = Blau-Gelb Achse**  
(-127 bis +127)

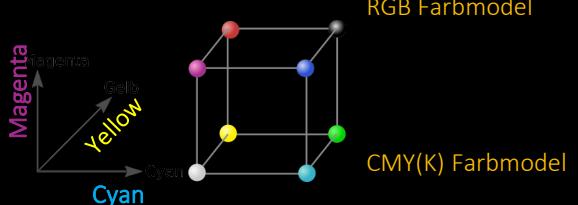
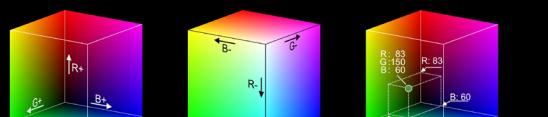
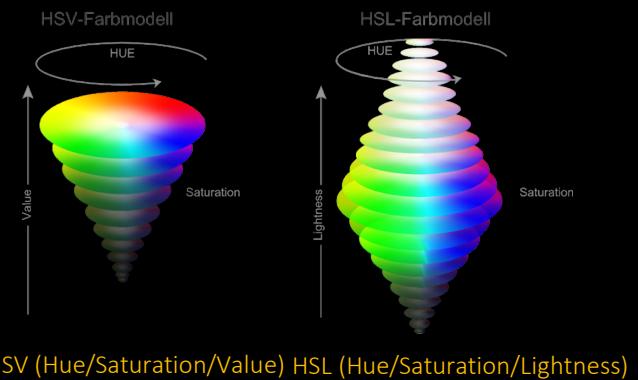
# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Farbmodelle vs.

Ein Farbmodell ist ein theoretisches/mathematische Konzept wie Farben eindeutig beschrieben bzw. erzeugt werden können.

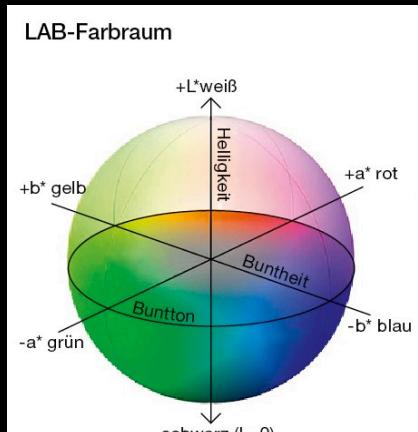
Z.B.: RGB, HSL, HSV, LAB, XYZ, usw.



## Referenzfarträume vs.

Referenzfarträume sind Geräte- und Medien unabhängige Farbräume, die sich am menschlichen Farbempfinden ausrichten und all wahrnehmbaren Farben abbilden. Durch sie kann die Farberfassung und die Farbwiedergabe von peripheren Geräten einander angepasst werden.

Z.B.: LAB

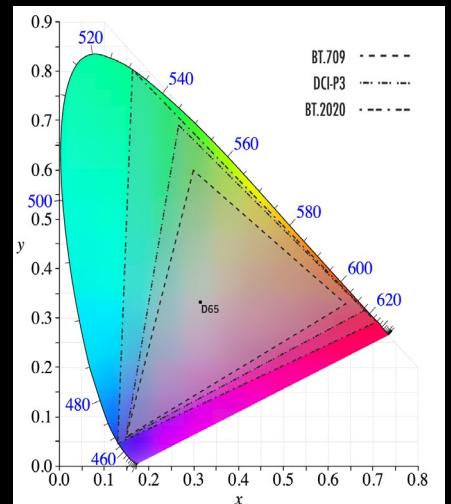


LAB-Farbmodell und Referenzfarbraum

## Farbräume

Farbräume begrenzen/definieren Bereiche der theoretisch verfügbarer Farben (**Farbumfang = Gamut**) von Geräten innerhalb eines Farbmodells. Die Farbumfang eines Farbraum wird immer durch ein Dreieck begrenzt.

Z.B.: sRGB, Rec.709, DCI-P3 usw.



Verschiedene Farbräume (Rec709, Rec2020 und DCI-P3) im LAB-Referenzfarbraum

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

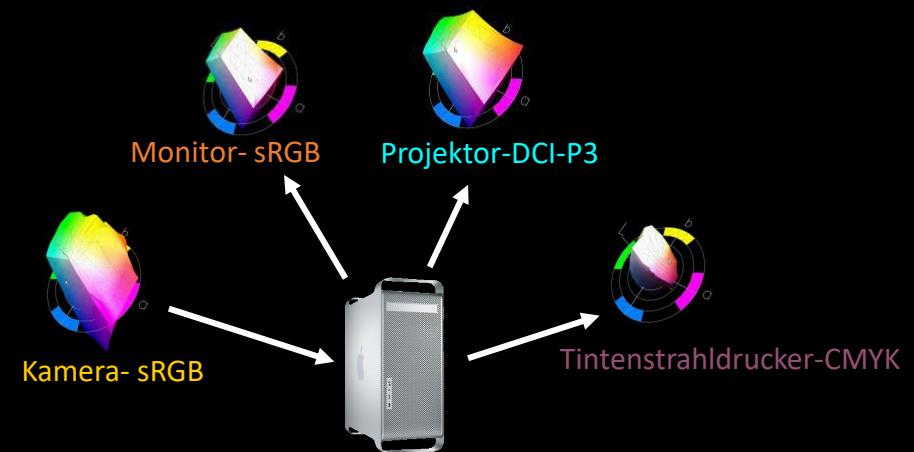
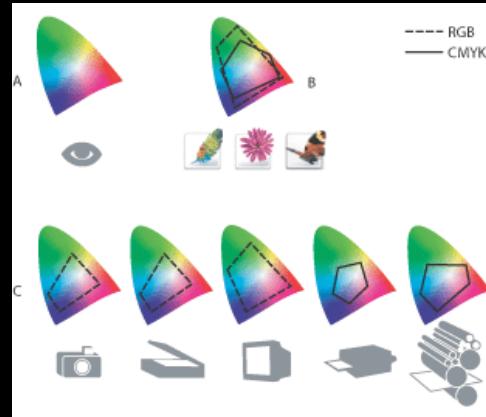
## Farbmodelle vs. Farträume

Ein Farbmodell beschreibt die Farben, die wir in digitalen Bildern sehen und mit denen wir arbeiten. Jedes Farbmodell, wie RGB, CMYK oder HSB, basiert auf einer anderen (in der Regel numerischen) Methode zum Beschreiben von Farben.

Ein Farbraum ist eine Variante/Bereich eines Farbmodells mit einem bestimmten Farbumfang (Gamut). So gibt es z.B. innerhalb des RGB-Farbmodells verschiedene Farbumfänge: Adobe RGB, sRGB, Rec.709, DCI-P3 usw.

Jedes Gerät (wie ein Bildschirm oder Drucker) hat seinen eigenen Farbraum und kann nur Farben reproduzieren, die im jeweiligen Farbumfang des Farbraumes vorhanden sind. Beim Verschieben von Bildern zwischen Geräten können sich die Bildfarben ändern, da jedes Gerät die RGB- oder CMYK-Werte entsprechend dem eigenen Farbraum interpretiert.

Nur mit einem Farbmanagement-System (CSM), welches den Farbraum einer Bild-Quelle (z.B. Rec.709 einer Videokamera) in einen Referenzfarbraum (LAB), und von dort in den Farbraum des Zielgeräts (z.B. sRGB eines Monitors) umrechnet, kann sichergestellt werden, dass die meisten Farben identisch oder möglichst ähnlich auf verschiedenen Geräten dargestellt werden.

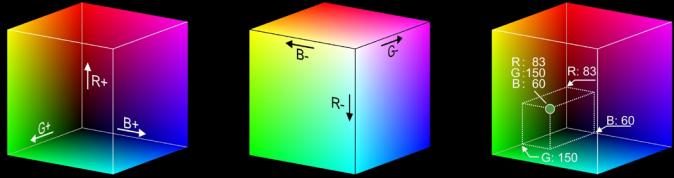


# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbmodelle  
Farbmanagement  
Profilierung

## RGB Farbmodell

Das RGB-Farbmodell ist das Modell für die **additive Farbmischung** aus den Grundfarbenlichtern Rot, Grün und Blau.



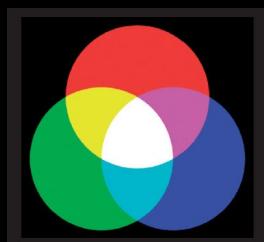
Der Koordinatenursprung (0|0|0) entspricht Schwarz. Auf der Raumdiagonale vom Ursprung (= Schwarz) zum gegenüberliegenden Eck (= Weiß) liegen die Grautöne

### Die Additive Farbmischung

ist eine optische Farbmischung durch Licht. Ausgehend von einem schwarzen Hintergrund wird Licht (Rot, Grün, Blau) beigefügt um Farben zu erzeugen.

Kein Licht (0/0/0) = Schwarz

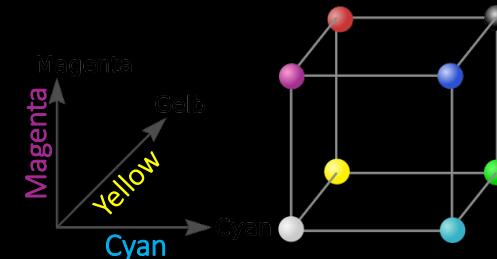
Leuchten alle 3 Farblichter (max./max./max.) = Weiß



**RGB Geräte:** Monitor, TV, Beamer, Kameras, Scanner usw.)

## CMY(K) Farbmodell

Das CMY(K)-Farbmodell ist das Modell für die **subtraktive Farbmischung** aus den Grundfarben **Cyan, Magenta und Yellow**.



### Die Subtraktive Farbmischung

ist eine Farbmischung durch Überlagerung von Farb-Pigmenten ausgehend von einem weißen Hintergrund.

Die CMY(K) Pigmente subtrahieren farbliche Wellenlängen einfallenden Lichts, wodurch andere Farben reflektieren. (Cyan subtrahiert rote, Magenta grüne und Yellow blaue Bestandteile des Lichts). Das (K) steht für Key Color (Schwarz) Keine Pigmente (0/0/0) = Weiß CMY (max./max./max.) = Schwarz.



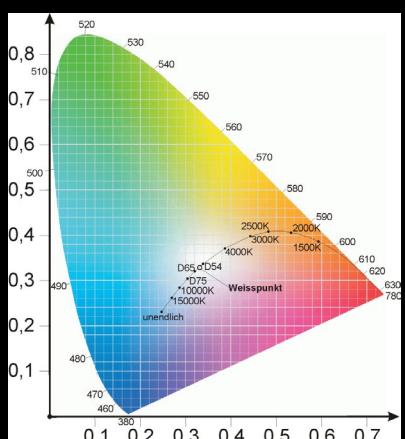
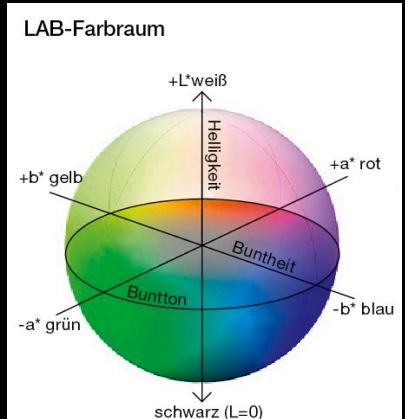
**CMY(K) Geräte:** Drucker

# LICHT/FARBE

## Licht Farbe Wahrnehmung Farbraum Farbmanagement Profilierung

### Geräte- und medienunabhängige vs.

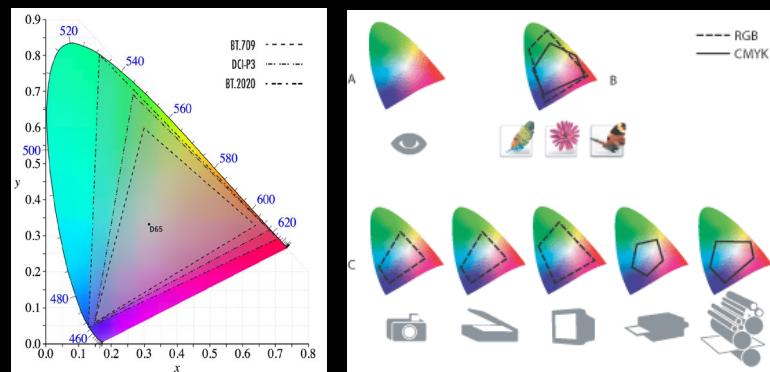
Der LAB-Farbraum umfasst alle all wahrnehmbaren Farben, weil er sich direkt auf die menschliche Farbwahrnehmung stützen. Diese Modelle/Farbräume werden als *geräteunabhängig* bezeichnet.



### Geräte- und medienspezifische Farbräume

Kein Gerät im Veröffentlichungsprozess kann das gesamte Spektrum der mit dem menschlichen Auge wahrnehmbaren Farben darstellen. Gerätespezifische Farbräume sind daher standardisierte Farbbereiche (**Farbumfang =Gamut**) innerhalb eines Farbmodells, welche für spezifische Geräte oder Medien definiert wurden.

z.B.: **sRGB** (Displays), **DCI-P3** (Kino-Projektion) **Rec709** (HDTV), **AdobeRGB** (Bildbearbeitungs-Software) usw. welche alle etwas unterschiedlich große Farb-Bereiche abdecken.



#### Hinweis:

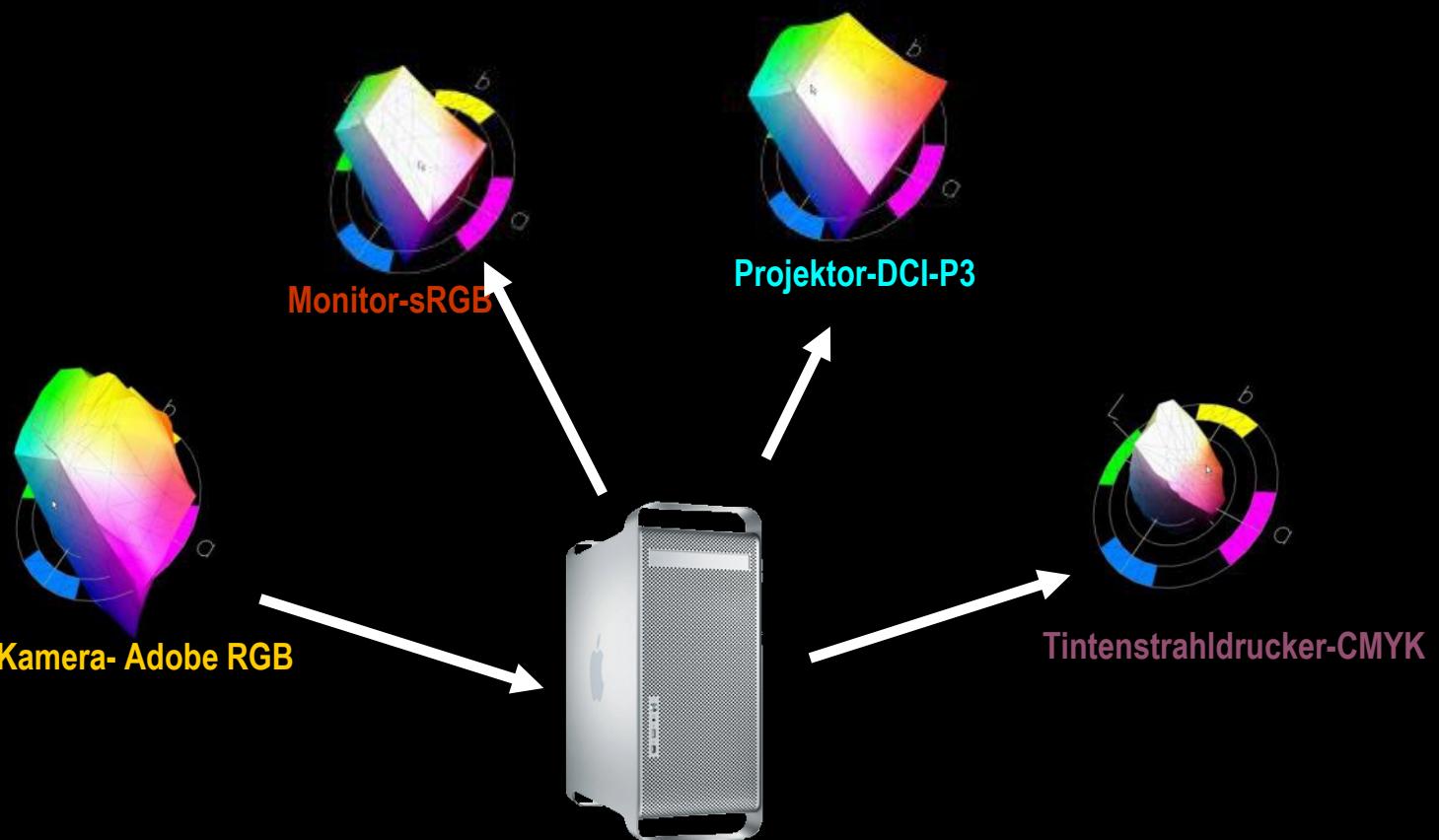
Nur weil sich ein Monitor in sRGB befindet, bedeutete dies aber nicht, dass jener diesen Bereich auch zu 100% abdeckt. Hersteller geben die Abdeckung eines Farbraums daher oft in % an.

z.B. Gamut (Farbumfang): 110% sRGB , 79% Adobe RGB, 81% DCI-P3

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

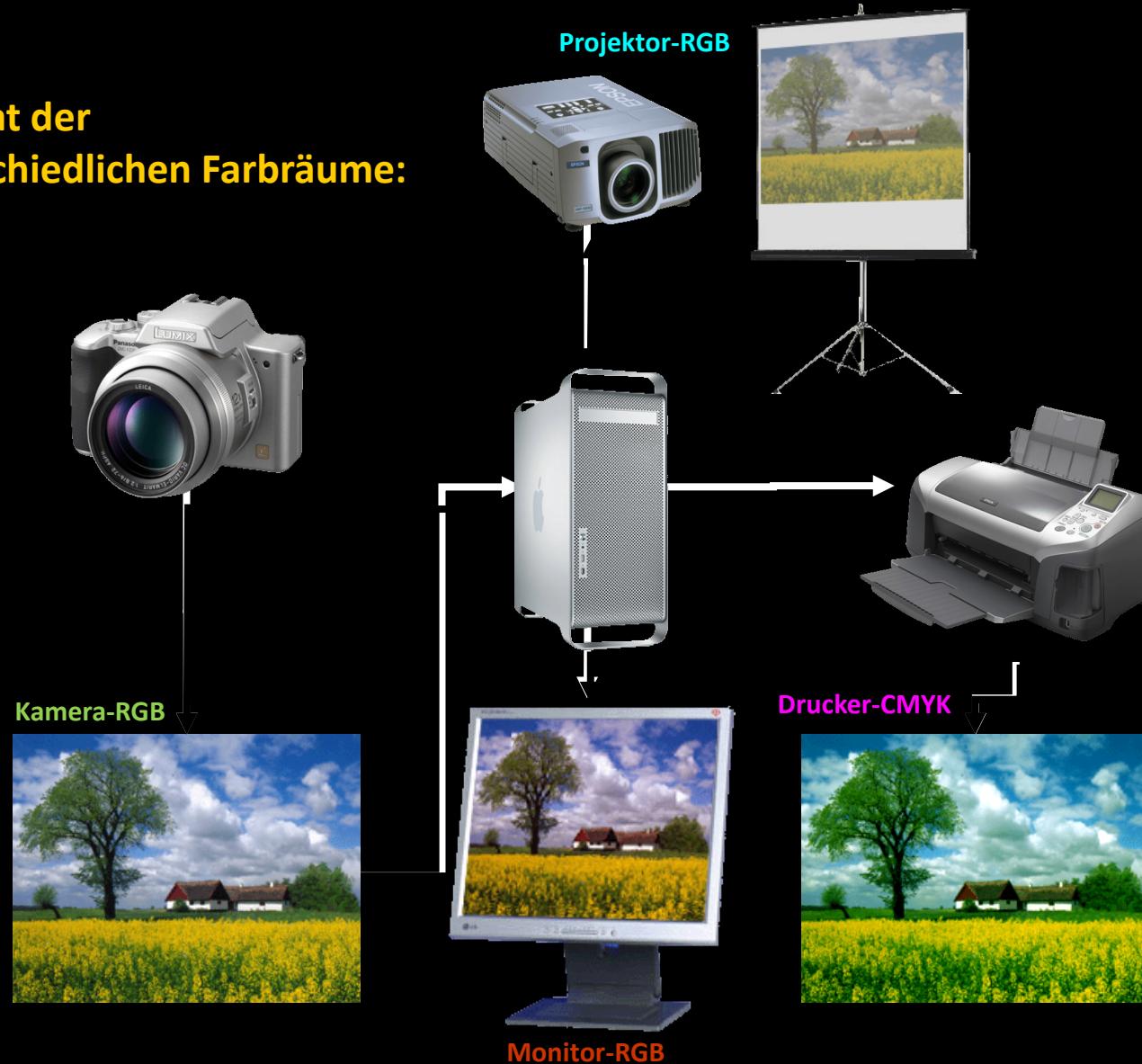
Unterschiedliche Farbräume/Farbumfänge von Geräten:



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

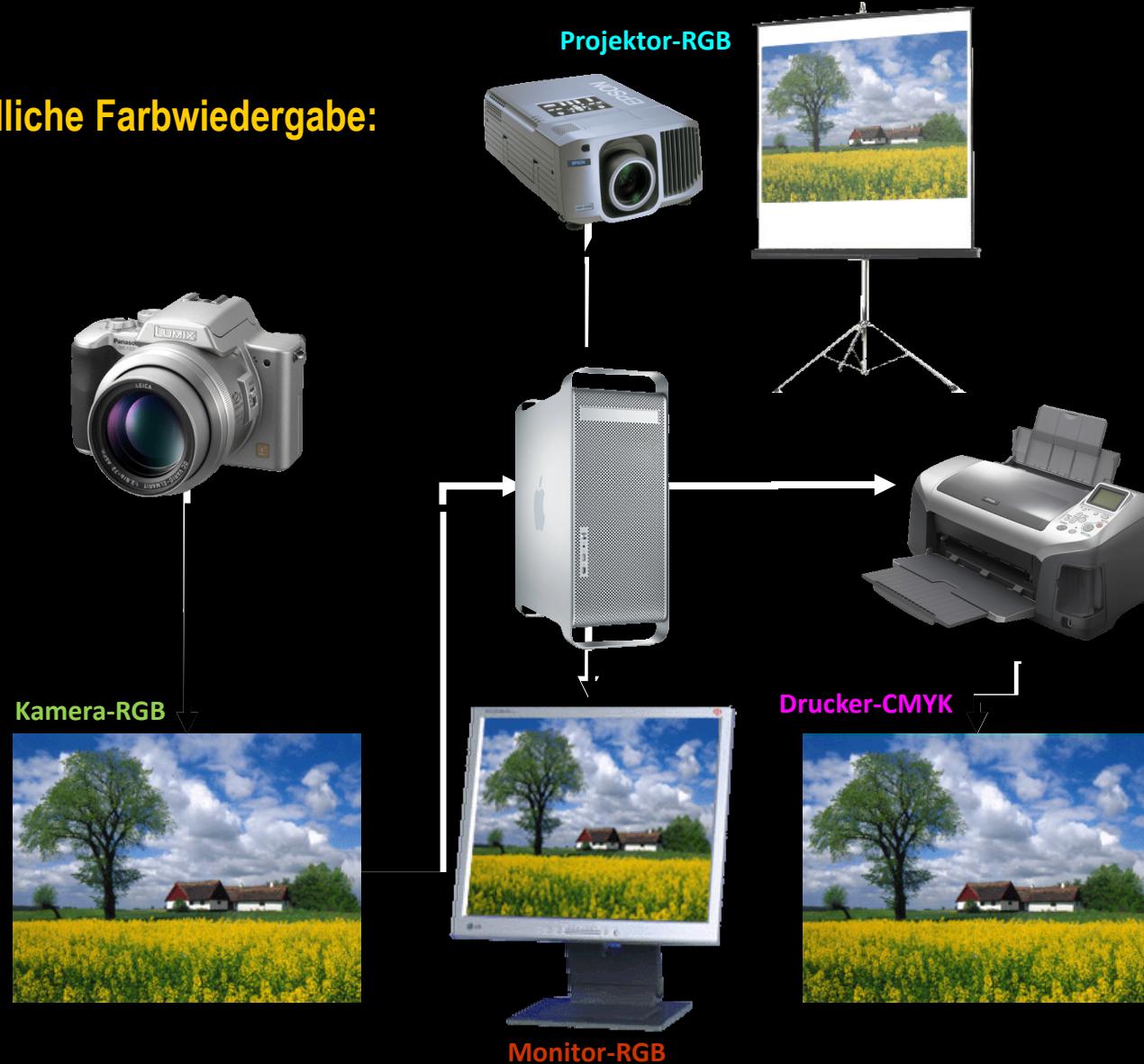
Resultat der unterschiedlichen Farbräume:



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Verbindliche Farbwiedergabe:



# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## Farbmanagement (Color-Management)

Mit **Farbmanagement** soll erreicht werden, dass eine Vorlage, die mit einem beliebigen Eingabegerät erfasst wurde, an einem beliebigen Ausgabegerät möglichst ähnlich wiedergegeben wird. Color-Management Systeme (**CMS**) finden sich z.B. in Betriebssystemen (z.B. Windows, OSX) oder Bildbearbeitungs-Software (z.B: After Effects)



### RGB → Lab

R = 128              L\* = 54  
G = 128              a\* = 0  
B = 128              b\* = 0

### RGB ← Lab

R = 128              L\* = 54  
G = 128              a\* = 0  
B = 128              b\* = 0

### CMYK ← Lab

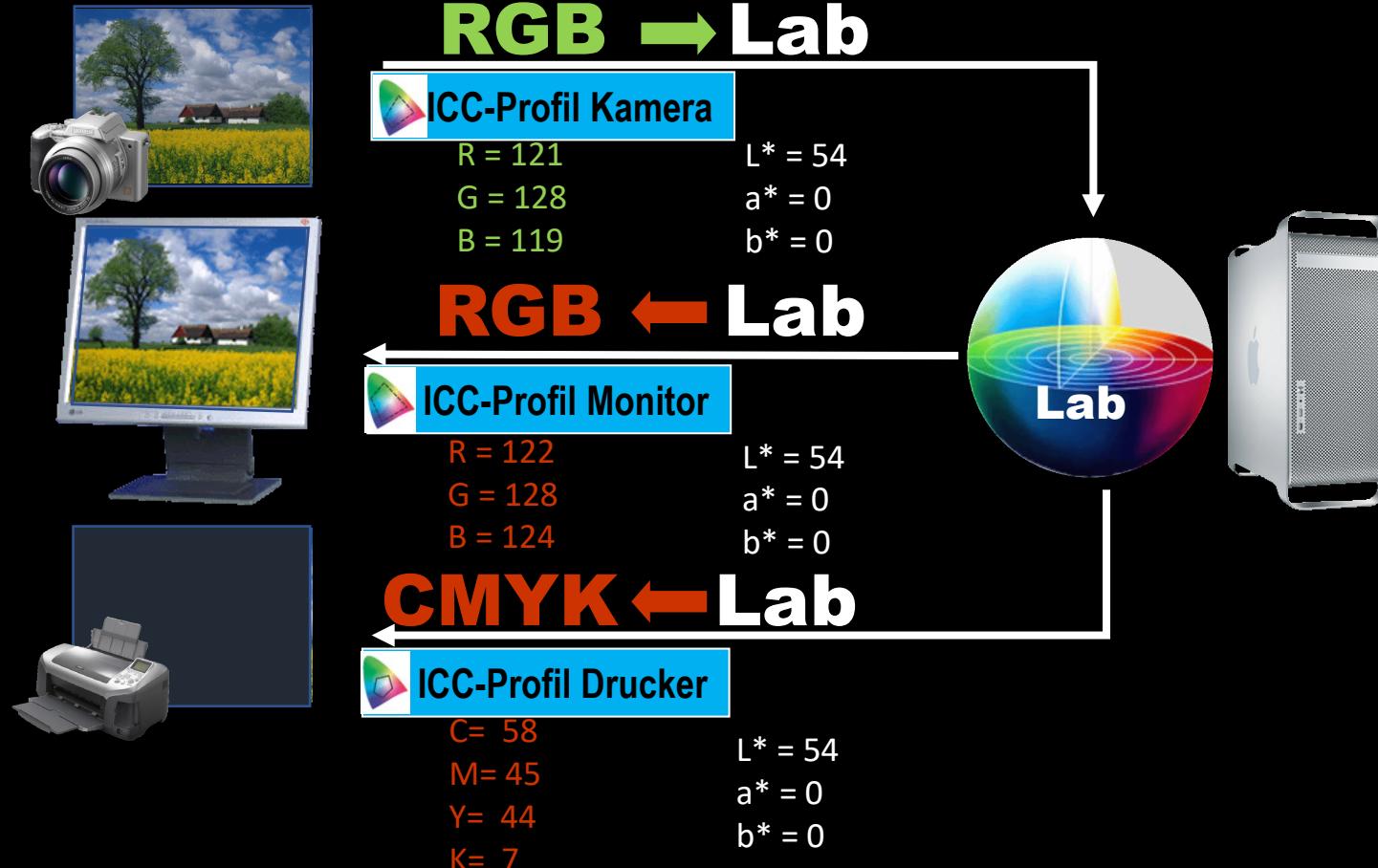
C= 49              L\* = 54  
M= 39              a\* = 0  
Y= 38              b\* = 0  
K= 20

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Profilierung

## ICC- Farbprofile (International Color Consortium )

ICC -Profile „übersetzen“ gerätespezifische Farbinformationen in geräteunabhängige Farbinformationen (LAB) und gleichen somit die unterschiedlichen Farbdarstellung der Ein- und Ausgabegeräte aus.



# LICHT/FARBE

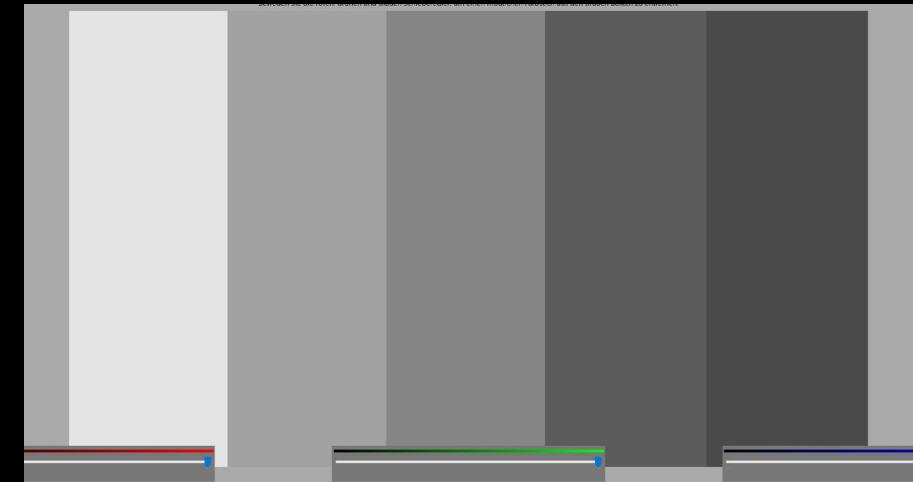
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

## Visuelle Farbkalibrierung: z.B. in der Windows Farbverwaltung

Diese Farbanpassung ist nur für Medien-Konsumenten vorgesehen, da die getätigten Einstellungen nicht auf Basis exakter Messungen, sondern rein auf der visuellen Wahrnehmung des Betrachters basieren. Faktoren wie die Lichtfarbe/Temperatur eines Leuchtmittels oder die dominante Umgebungsfarben des Raumes, können die Ergebnisse sehr einfach negativ beeinflussen.



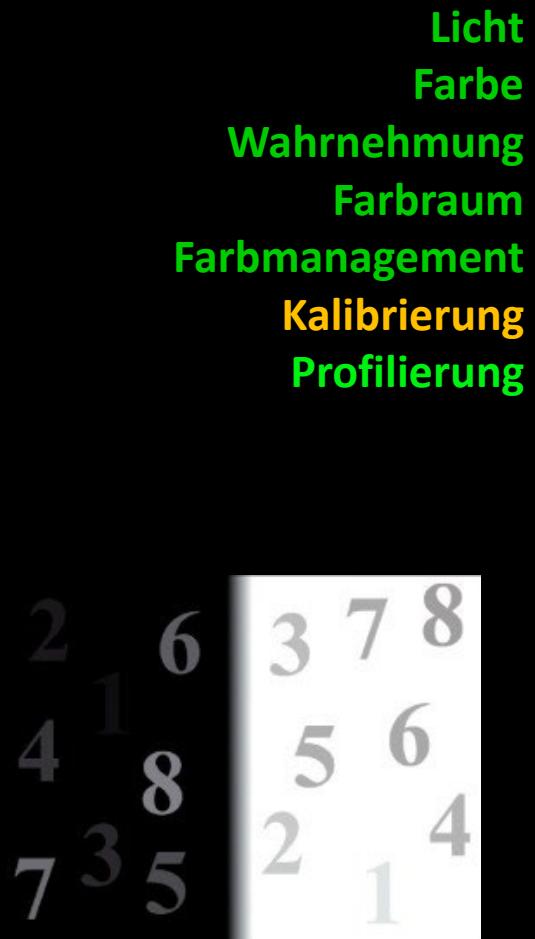
Helligkeit, Kontrast und Gamma (2,2) Test



Visuelle Korrektur eines Farbstich

# LICHT/FARBE

Beispiele für einen visuellen Monitor-Test:

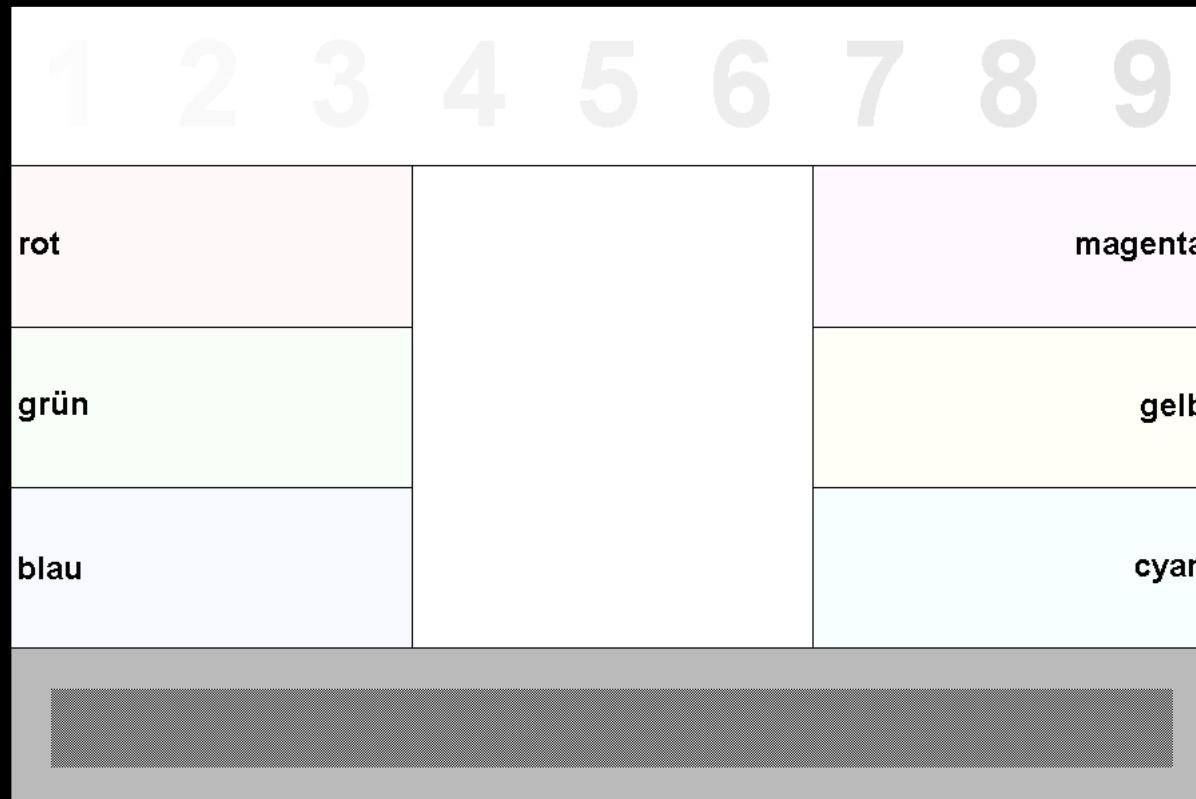


Im Idealfall sollten alle Zahlen sichtbar sein. Sind selbst die 2er nicht zu erkennen, ist die Helligkeit zu hoch bzw. der Kontrast des Monitors falsch eingestellt.

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Beispiele für einen visuellen Monitor-Test:



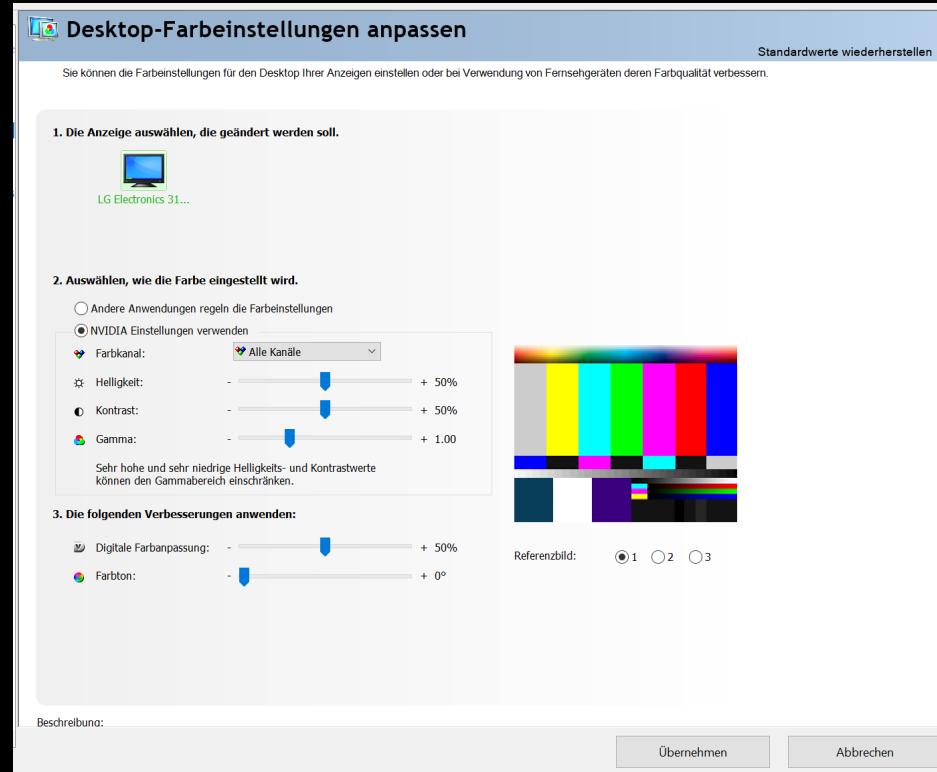
1 2 3 4 5 6 7 8 9

Farbstich, Helligkeit, Kontrast und Gamma (2,2) Test

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Kalibrierung  
Messungen  
Profilierung



Farb-Anpassungen direkt im Grafikkarte-Driver sollten für die professionelle Farbkorrektur unbedingt vermieden werden.

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Kalibrierung  
Messungen  
Profilierung

## ICC-Profilierung/ Farb-Kalibrierung

Kolorimeter z.B:

- X-Rite i1Display Pro (Plus)
- Datacolor Spyder 5 PRO

Software z.B:

- iProfiler
- DisplayCAL (open source)
- CalMAN

Testchart (Color Checker) z.B:

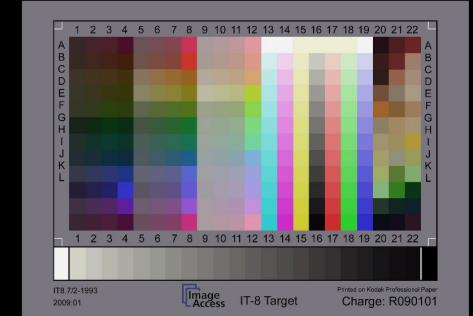
- IT8-Chart (für Scanner)

Monitor Empfehlung für prof. Videobearbeitung:

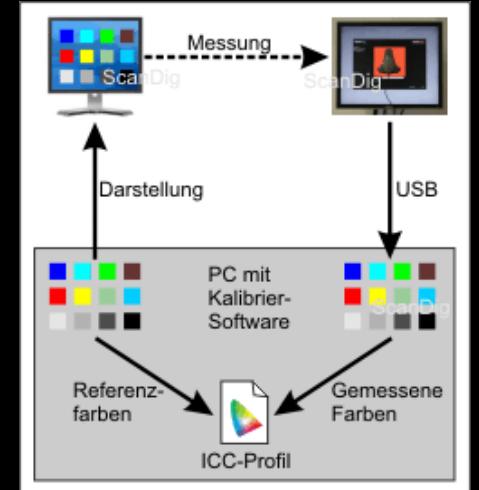
4K

10 Bit - IPS, IZGO, OLED, MicroLED

100% sRGB, besser 100% DCI P3 oder AdobeRGB



IT8.7/2 Chart von Kodak



Profilierung eines Monitors



Profilierung eines Monitor



Drucker



Beamer

Video Technology

# LICHT/FARBE

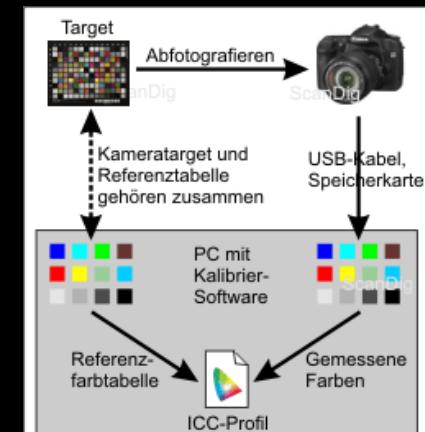
Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Kalibrierung  
Messungen  
Profilierung

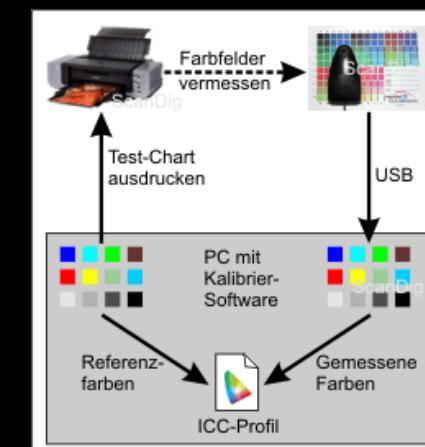
## ICC-Profilierung/ Farb-Kalibrierung

### Ablauf einer typischen Monitor-ICC Profilierung:

- 1) Vor der Profilierung sollte der Monitor 15-30 Minuten aufgewärmt werden (Farbtreue)
- 2) Die Einstellungen des Monitors, wenn möglich, im Menü auf Werkseinstellung zurückzusetzen.
- 3) Einstellung der korrekten Werte für die Gammakorrektur (sRGB 2,2 (Standard), BT1886 (Speziell für Video) verwendet 2,4) und die Farbtemperatur für den Weißpunkt (6500K (D65) für Video) einstellen.
- 4) **Bildschirmschoner** und Energiespar-Optionen des Monitors in OSX oder Windows ausschalten.
- 5) Es folgen Messungen mit dem Kolorimeter um die **Helligkeit** und die einzelnen Farben des Monitors (wenn möglich) je nach Umgebungslicht anzupassen (**für die Farbkorrektur/Color Garding 80-120 cd/m<sup>2</sup>**)
- 6) **Profilierung:** Eine Reihe von charakteristischen Farben (Soll-Werte) wird auf dem Monitor ausgegeben und vom Kolorimeter vermessen (Ist-Werte).
- 7) Aus den Abweichungen der Soll- und Ist-Werten wird ein ICC-Profil berechnet, welches im Farbmanagement des Betriebssystems abgelegt wird.
- 8) **Analyse des Ergebnisses:** Die Farbabweichung/Differenz von RGB wird in DeltaE angeben und sollte möglichst gering sein (nahe 0 ist perfekt, >2 ist gut, < 5 ist für professionelle Arbeiten zu viel).
- 9) Es können je nach Nutzung mehrere ICC Profile für einen Monitor angelegt werden z.B. eines für 80 cd/m<sup>2</sup> (Kino), eines 100-120 cd/m<sup>2</sup> (Video/TV) und eines mit 250+ cd/m<sup>2</sup> (Büro) Raumausleuchtung.



Profilierung einer Kamera



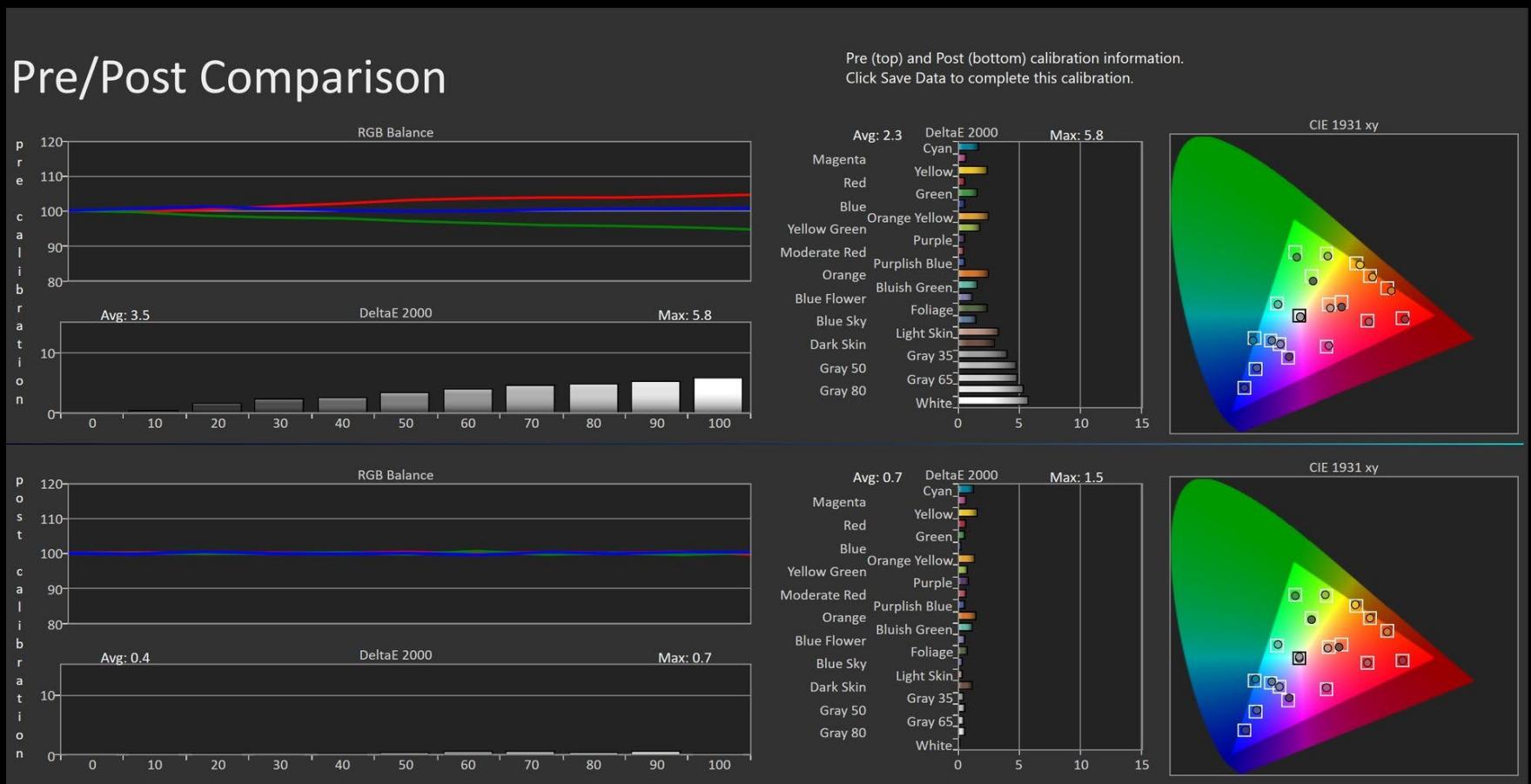
Profilierung eines Scanners

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Kalibrierung  
Messungen  
Profilierung

## ICC-Profilierung/ Farb-Kalibrierung



Vorher/Nachher Vergleich eines neu ICC Profilierten Monitors. Die Abweichungen (Angabe in DeltaE) wurden von kritischen (max. 5,8) auf sehr gute (max. 1,5) reduziert.

# LICHT/FARBE

Licht  
Farbe  
Wahrnehmung  
Farbraum  
Farbmanagement  
Kalibrierung  
Profilierung

Kalibrierung  
Messungen  
Profilierung

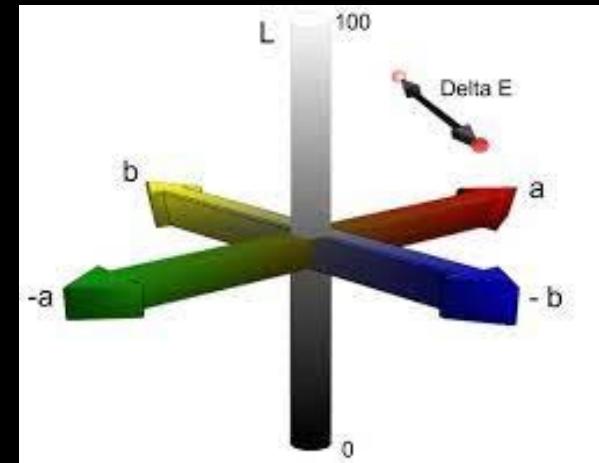
## ICC-Profilierung/ Farb-Kalibrierung

### Delta E

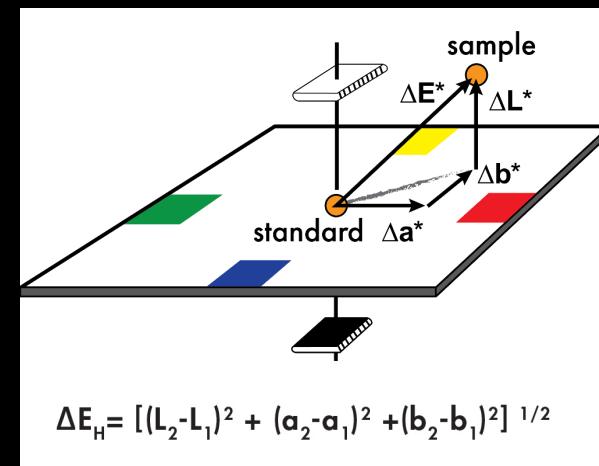
Ist ein Maß für den empfundenen **Farbabstand (Farbdifferenz)**, das möglichst für alle auftretenden Farben „gleichabständig“ ist. Das Delta steht hierbei als Zeichen der Differenz. Damit können Arbeiten, die sich mit Farben befassen, quantifiziert werden.

Interpretation von Farbabständen  $\Delta E$  als euklidischer Abstand der  $L^*a^*b^*$ -Werte

$\Delta E$	Bewertung
0,0 ... 0,5	nahezu unmerklich
0,5 ... 1,0	für das geübte Auge bemerkbar
1,0 ... 2,0	geringer Farbunterschied
2,0 ... 4,0	wahrgenommener Farbunterschied
4,0 ... 5,0	wesentlicher, selten tolerierter Farbunterschied
oberhalb 5,0	die Differenz wird als andere Farbe bewertet



Farbdifferenz (DeltaE) in Lab



Berechnung von DeltaE in Lab