

Farbe in Wahrnehmung und Druck

Farben-Sehen, Farbmeterik, Farbmessung, Farbunterschiede, Farbmanagement und Farbenpsychologie

Farbwahrnehmung

- Warum sehen die einen Menschen die Szene so und die anderen so?

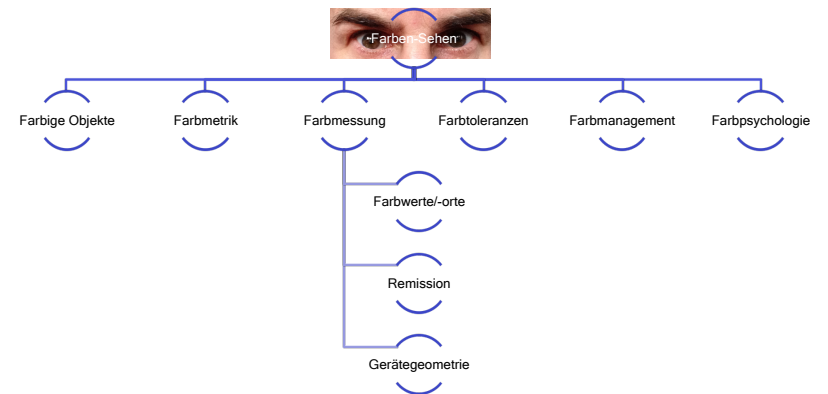


Objektive Farbwahrnehmung?

- Gibt es so etwas wie die farbige Welt eigentlich?
- Wie ist Farbwahrnehmung überhaupt zu erklären?
- Ist die Behauptung, die Welt wäre in Wirklichkeit gar nicht farbig, richtig oder falsch?



Zusammenhänge beim Thema „Farbe“



Am Anfang steht ...

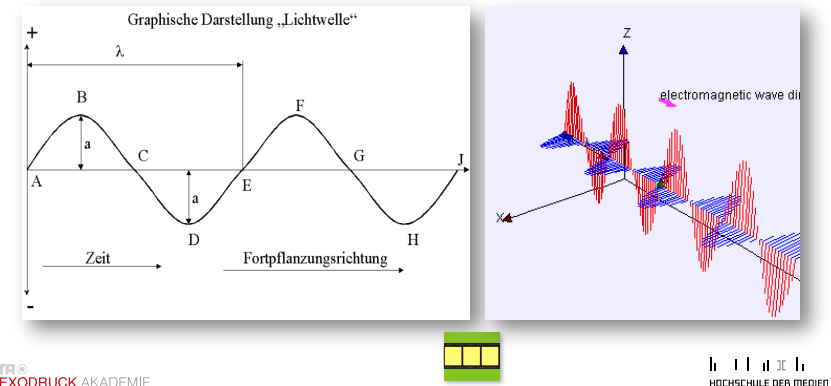
- ... das menschliche Auge!



- Es empfängt **Licht** aus der Umwelt

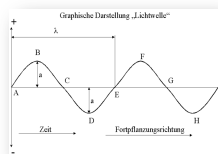
Was ist Licht?

- **Elektromagnetische Wellen** mit Längen in einem Bereich von
- 380 bis 700 nm (sichtbares Wellenspektrum: **etwa 400 bis 700 nm**)



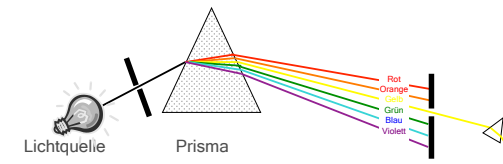
Was sind Elektromagnetische Wellen?

- Schwingende Teilchen?
- „Photonen“?
- Energie? Ja!
- ... aber wir wissen es nicht genauer!
- Deshalb haben wir das Wellenmodell, das das Verhalten von Licht teilweise erklären kann.



Was ist Weißes Licht?

Zerlegung von weißem Licht mittels Prisma



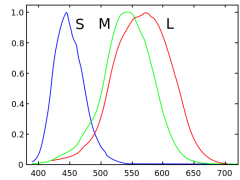
- Das **weiße Licht** ist **zusammengesetzt** aus einer kontinuierlichen Folge von Einzelfarben, sog. **Spektralfarben**
- Spektralfarben lassen sich nicht mehr weiter zerlegen
- Spektralfarben lassen sich wieder (z.B. mittels Sammellinse) zu weißem Licht vereinigen

So nehmen wir Weißes Licht wahr



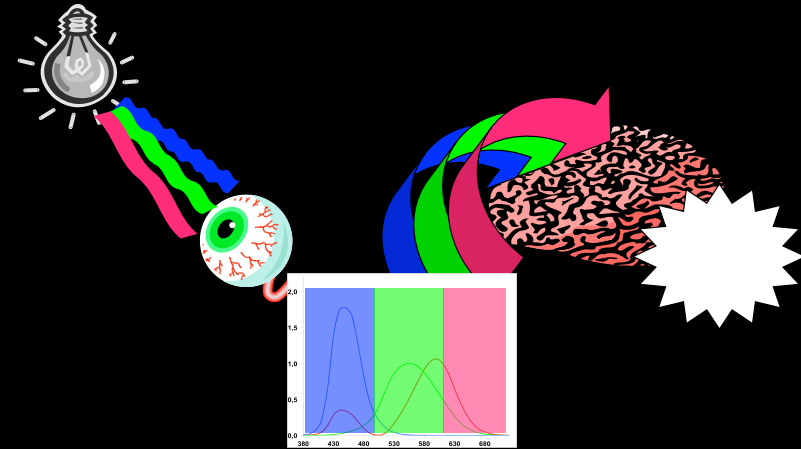
Trichromatisches Sehen

- 3 verschiedene Rezeptoren (genannt „Zäpfchen“)
- Empfindlich für
 - Kurze Wellen: **Blau**
 - Mittellange Wellen: **Grün**
 - Lange Wellen: **Rot**
- Licht besteht aus einer **Mixtur von Wellenlängen** und reizt alle drei Rezeptoren, meist aber mit unterschiedlicher Intensität!

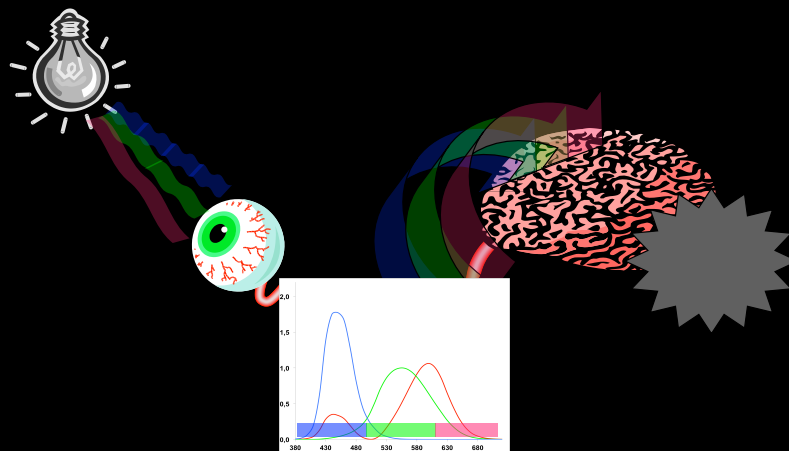


Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/Color>

Weißes Licht und menschliches Sehen

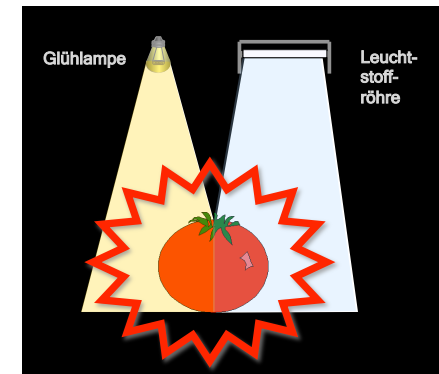


Weißes Licht – aber mit geringerer Intensität



„Weißes“ Licht?

- Genau genommen gibt es aber die verschiedensten Tönungen von Weiß!
- Und das beeinflusst unsere Farbwahrnehmung erheblich!
- Aber das nehmen wir uns etwas später vor ...



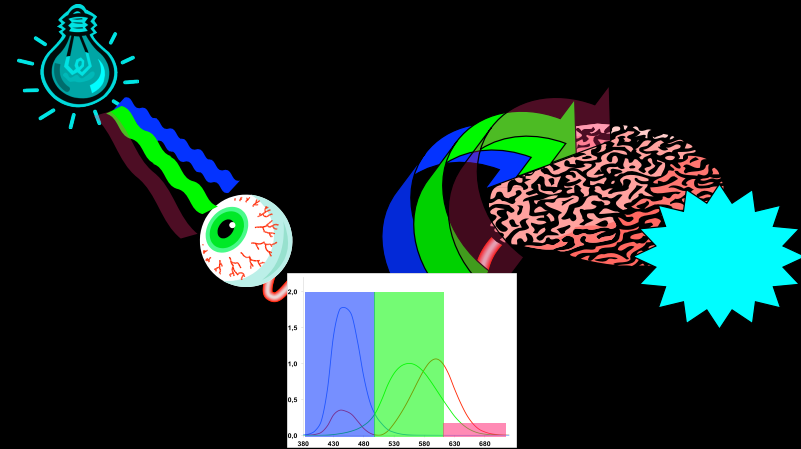
Wo kommt jetzt „die Farbe“ her?

- Bis hierher wäre unsere Welt noch **Schwarz** **Weiß**

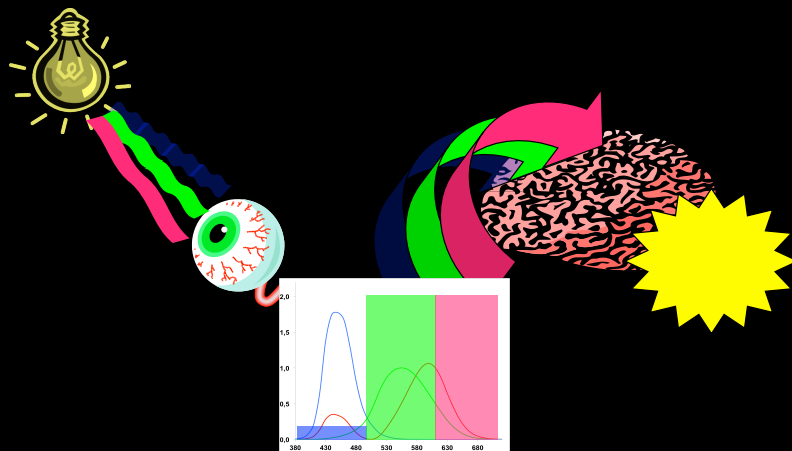


- Die Antwort kommt sofort ...

Farbiges Licht und menschliches Sehen



Farbiges Licht und menschliches Sehen



FARBE IST EINE ILLUSION!

Das Auge liefert Informationen über Zusammensetzung der Lichtwellen und unser Gehirn „gaukelt“ uns die Farben vor.

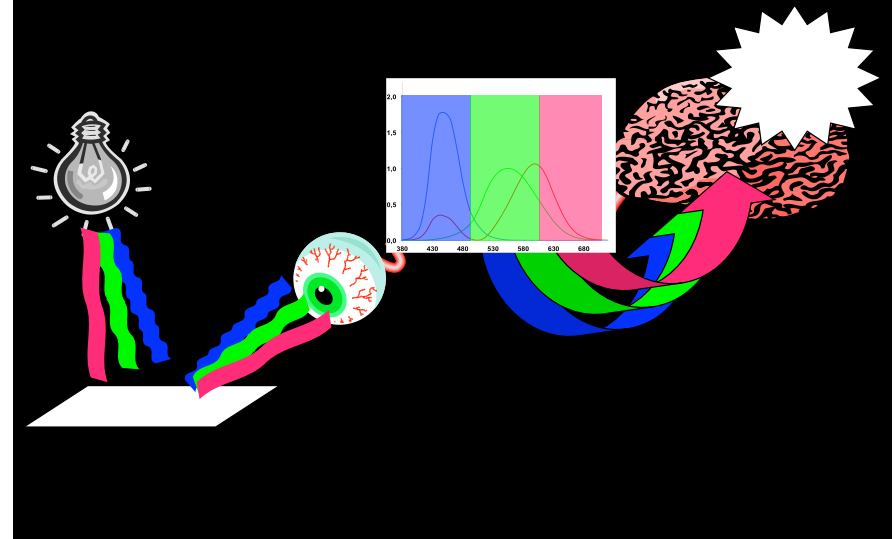
Und wo bleibt jetzt das farbige Drucken?

- Aha, so „geht“ Farbe also!
- Bisher haben wir zwar nur weißes und farbiges **Licht** kennen gelernt ...
- ... aber von da ist es zu den gefärbten **Oberflächen** von Objekten nicht mehr weit!

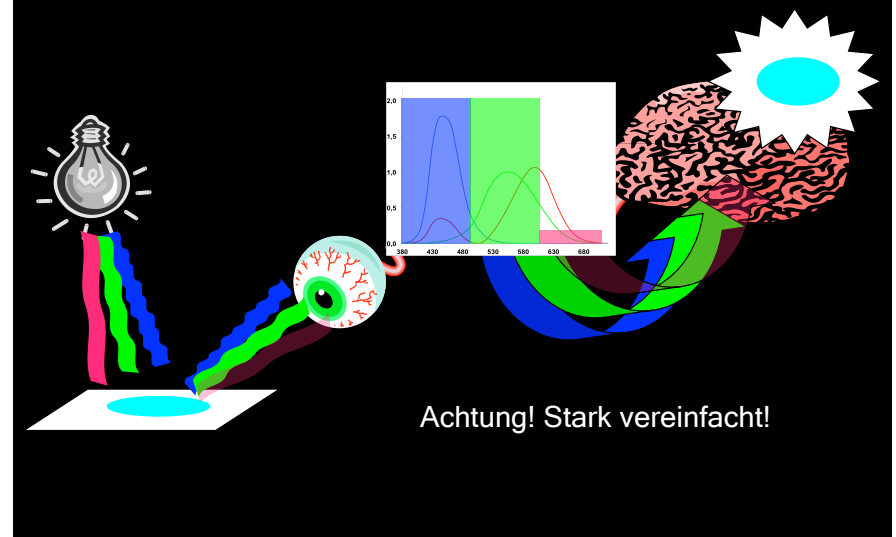
Oberflächen von Objekten

- ... haben meist die Fähigkeit, Lichtwellen zu reflektieren
- ... tun das oft unter Streuung des zurückgeworfenen Lichts
- Wir sprechen dann von **Remission**
- Meist werden aber nicht alle auftreffenden Lichtwellen vollständig **remittiert**, sondern die meisten auch mehr oder weniger stark **absorbiert**

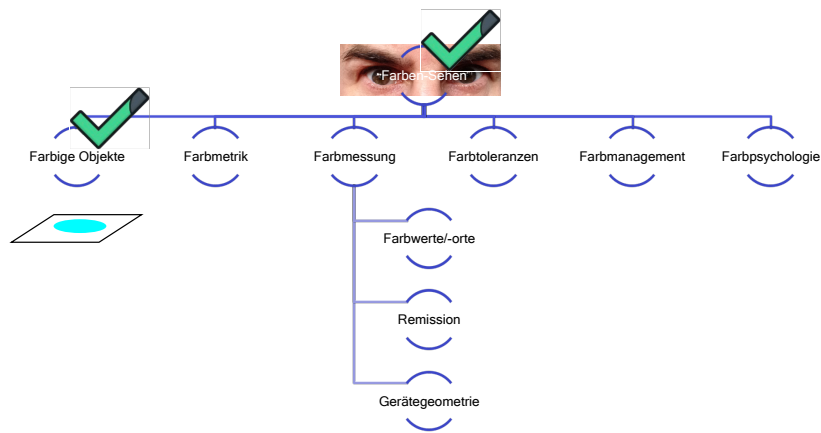
So „funktioniert“ eine weiße Oberfläche



... und hier kommt unsere Druckfarbe drauf



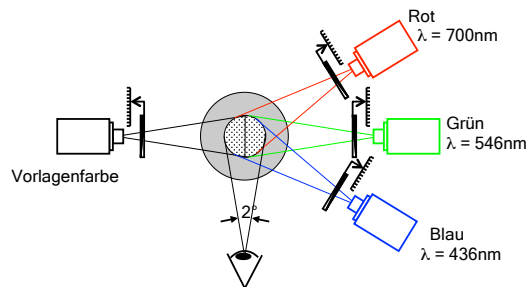
Zusammenhänge beim Thema „Farbe“



WIE KANN MAN EINE ILLUSION MESSBAR MACHEN?

Der Weg zu den „Farben in Zahlen“: 1. Schritt

- Jeder Farbton ist stets eindeutig durch drei Grundfarben additiv nachmischbar



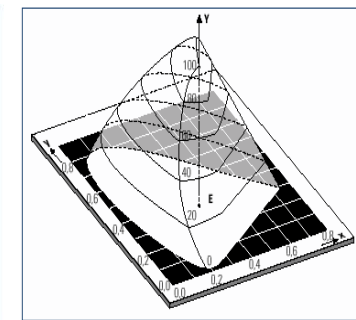
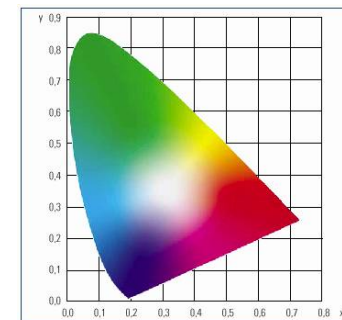
- ursprünglicher Messaufbau für Farbmessung (-> CIE-Projektor 1931) nach dem Gleichheitsverfahren

2. Schritt: XYZ-Normvalenzsystem

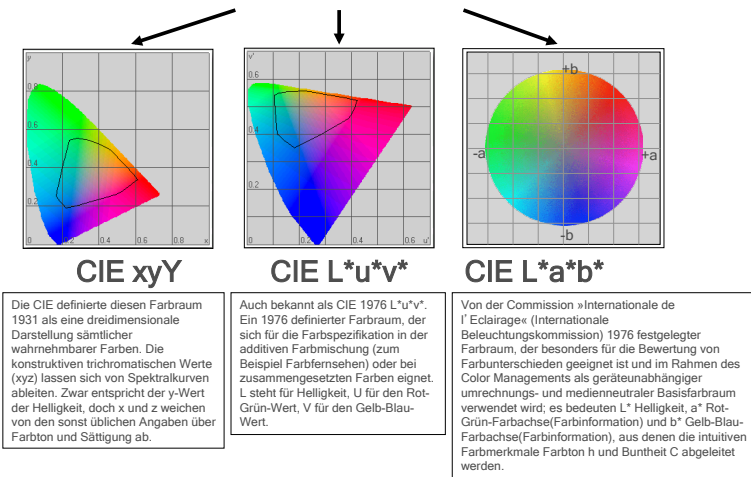
Nicht gleich-abständig!

CIE-Farbdreieck

- Umrechnung der messtechnischen RGB-Werte in genormte XYZ-Farbwerte und in xy-Farbwertanteile (CIE 1931, DIN 5033)



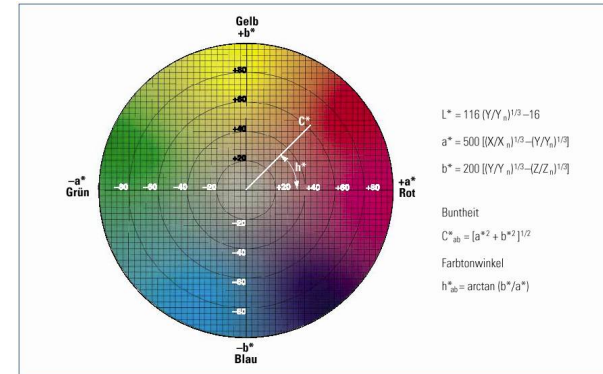
Von XYZ-Normfarbwerten zu CIE Luv und CIELab



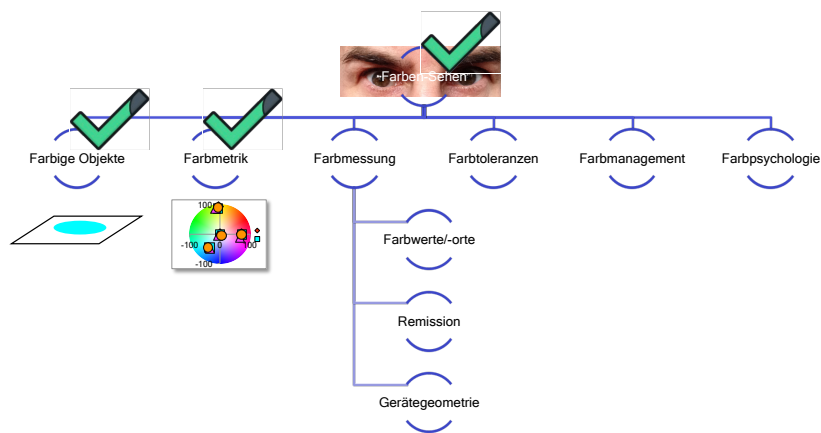
Farbwerte im CIELab-System

Das CIELab-System

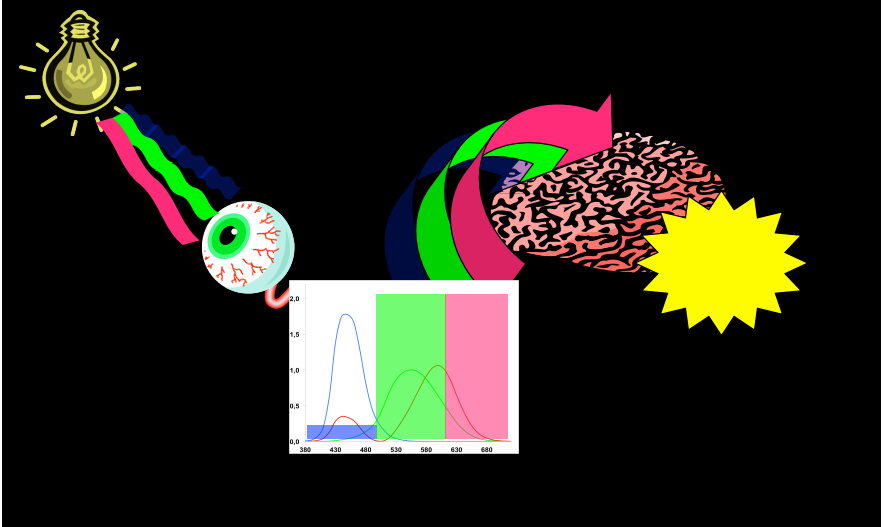
- Umrechnung der XYZ-Farbwerte in L*a*b*-Werte (1976)



Zusammenhänge beim Thema „Farbe“



Welche Farben können wir sehen? Nur diese 3?



Können wir tatsächlich nur 3 Farben sehen?

- NEIN! Es sind wesentlich mehr!



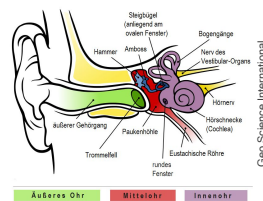
- Menschen können etwa **150** verschiedene REINE Farben unterscheiden! (wurden oben als „Spektralfarben“ bezeichnet!)
- Zum besseren Verständnis ein „Quiz“:
- Was unterscheidet diese beiden Farben prinzipiell voneinander?



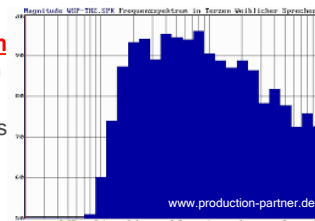
- Machen wir zur Aufklärung einen kleinen Ausflug: Das menschliche Gehör

Das Prinzip des Hörens

- Der „Sensor“ (= Hörschnecke im Innenohr) ...
- ... erfasst alle Frequenzen im hörbaren Bereich ...
- ... und quantifiziert die **relativen Intensitäten** der verschiedenen Frequenzen.



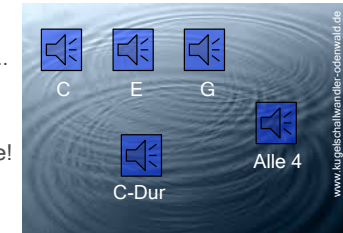
- Das Ergebnis ist ein (Schall-) **Frequenz-Spektrum** das in Form von elektrischen Signalen ins Gehirn geht.
- Die Gesamtheit der Signale spiegelt die Form des Spektrums zum Betrachtungszeitpunkt wieder.



Über das menschliche Gehör zur Farbmessung?



- Wir hören reine Töne ...
- ... aber auch Mischtöne!



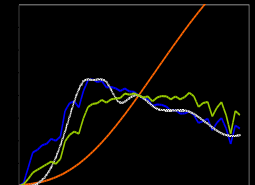
- Unser Hörapparat sendet je nach aufgefangener Schall-Frequenz ein anderes (elektrisches) Signal an das Gehirn
- Meistens sind es **Mischsignale**, weil **mehrere** Schall-Frequenzen gleichzeitig angekommen sind

Vom Hören zum Farbsehen





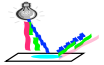
- Der „Sensor“ (= Retina im Auge) ...
- ... erfasst alle Frequenzen im sichtbaren Bereich ...
- ... und quantifiziert die **relativen Intensitäten** der verschiedenen Frequenzen.



- Das Ergebnis ist ein (Licht-) **Frequenz-Spektrum**, das in Form von elektrischen Signalen ins Gehirn geht.
- Die Gesamtheit der Signale spiegelt die Form des Spektrums zum Betrachtungszeit- und Ortspunkt wieder.

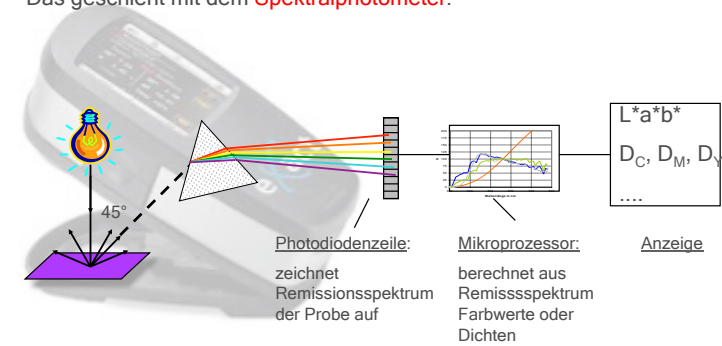


Vom Hören zum Farbsehen

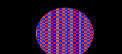
- So wie das **Schall-Frequenz-Spektrum**  einen Ton  genau charakterisiert ...
- ... kann das **Licht-Frequenz-Spektrum**  eine Lichtquelle  oder eine remittierende Oberfläche  genau charakterisieren!
- Für remittierende Oberflächen (= nicht selbst leuchtende, also quasi „passive“ ~) nennt man das Licht-Frequenz-Spektrum auch **Remissionsspektrum**

Vom Farbsehen zur Farbmessung

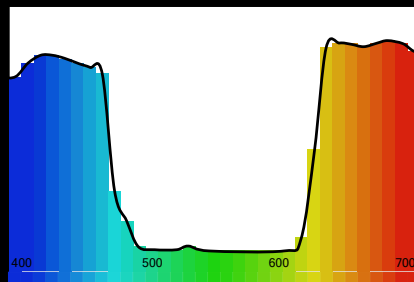
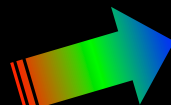
- Im Fall gedruckter Farben müssen wir also „nur“ das Remissionsspektrum ermitteln!
- Das geschieht mit dem **Spektralphotometer**:



Remissionskurven „aufzeichnen“: Wie geht das?



Messpunkt



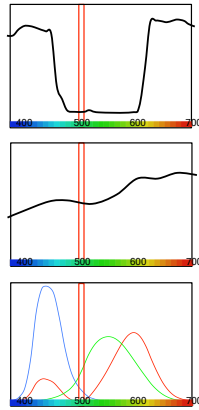
Was machen wir mit dem Remissionsspektrum?

Antwort: Es kommt darauf an, welches Ziel bzw. welche Aufgabe verfolgt wird!

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Farbwerte sollen quantitativ ausdrücken, wie der Mensch diese Oberfläche wahrnimmt? <input type="checkbox"/> Farbunterschiede (2 Oberflächen) sollen ermittelt werden? <input type="checkbox"/> Die Druckfarbschichtdicke soll (relativ) gemessen werden? <input type="checkbox"/> Das Halbtendruckverhalten (Raster) soll kontrolliert werden? • Farbmanagement soll den Produktionsprozess farbsicher machen? <p>➤ Farbwerte errechnen! (bspw. Lab)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Farbmanagement soll den Produktionsprozess farbsicher machen? <input type="checkbox"/> Sonderfarben sollen rezeptiert werden? <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Grundrezept <input type="checkbox"/> Optimierung des Grundrezepts nach Andruck/Einrichten <input type="checkbox"/> Restfarbenverwertung <input type="checkbox"/> Metamerie-Gefahr muss ermittelt, Metamerie vermieden werden? <p>➤ Remissionsspektrum speichern und verwenden!</p> |
|---|--|

Farbwerte errechnen – Schritt 1

- Grundlage ist das **Remissionsspektrum** der farbigen **Oberfläche** ...,
 - Beispiel: $RO_{500} = 10\% = 0,10$
- ... das mit dem **Abstrahlungsspektrum** der **Lichtquelle** ...
 - Beispiel: $AL_{500} = 50\% = 0,50$
- ... und nacheinander mit den drei **Empfindlichkeitskurven** des normalen menschlichen Auges **multipliziert** wird.
 - Beispiel: $X_{500} = 10\% \times 50\% \times 0\% = 0\% = 0,000$
 - $Y_{500} = 10\% \times 50\% \times 70\% = 5,5\% = 0,035$
 - $Z_{500} = 10\% \times 50\% \times 10\% = 0,25\% = 0,025$



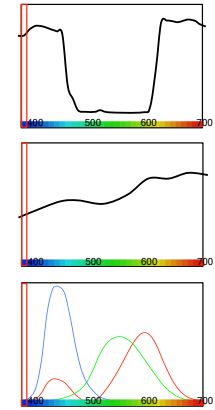
Farbwerte errechnen – Schritt 2

- Die beschriebene Berechnung wird für alle Wellenlängen im **sichtbaren Spektralbereich** gemacht
- Die X-, Y- und Z-Werte werden summiert:

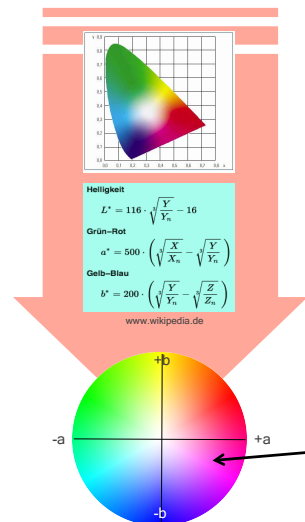
$$X = X_{400} + X_{401} + \dots + X_{699} + X_{700}$$

$$Y = Y_{400} + Y_{401} + \dots + Y_{699} + Y_{700}$$

$$Z = Z_{400} + Z_{401} + \dots + Z_{699} + Z_{700}$$



Farbwerte errechnen – Schritt 3



- Mit dem XYZ-System kann man **Farben in Zahlen** ausdrücken!
- ABER ...**
- ... es ist **nicht gleichabständig** und „verzerrt“ damit die Verhältnisse
- Man formt die XYZ-Werte daher in **(CIE)L*a*b*** um

Beispiel:

$$L^* = 47,57$$

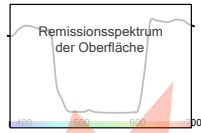
$$a^* = 57,24$$

$$b^* = -20,69$$

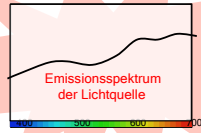
HALLELUJA!
WIR KÖNNEN FARBEN IN
ZAHLEN AUSDRÜCKEN!

Die Ergebnisse stimmen mit einer „kleinen Ausnahme“, die wir später kennen lernen werden, mit dem menschlichen Farbempfinden überein.

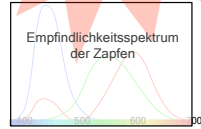
Halt! Da fehlt noch was!



- Woher kommt das (Emissions-) Spektrum der Lichtquelle?



- Das kann man natürlich auch mit einem Spektralphotometer messen, ...
- ... aber meist wollen wir uns auf Standard-Lichtquellen beziehen!



- Diese bestimmen sich nach der sog. Farbtemperatur

Farbtemperaturen von Lichtquellen

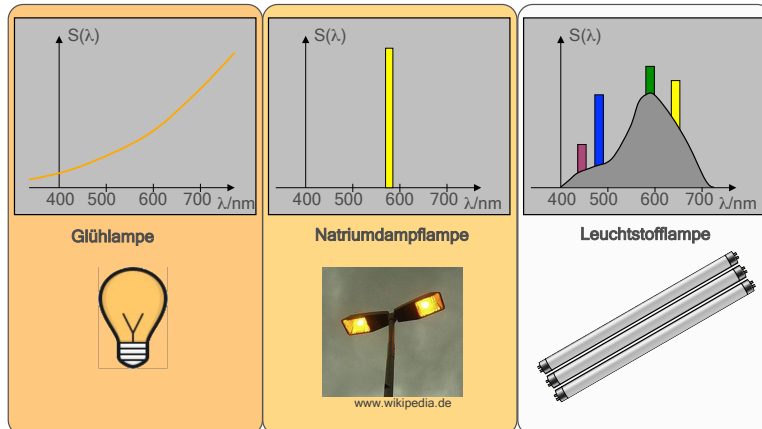


Die Eigenfarbe von „weißlichen“ Lichtquellen wird als **Farbtemperatur** angegeben:

Lichtquelle	Farbtemperatur
Kerze	1900 K
Glühlampe	2900 K
Haloglühlampe	3300 K
mittleres Sonnenlicht	5000 K
mittleres Tageslicht, Himmel klar	6500 K
Tageslicht, Himmel bedeckt	7500 K
blaues Himmelslicht im Gebirge	bis 18000 K
Leuchtstofflampe, Warmton	3000-4000 K
Leuchtstofflampe, Neutralweiß	4000- 5000 K
Leuchtstofflampe, Tageslichtweiß	6500 K

Färbungen von Lichtquellen

Spektrale Energiekurven $S(\lambda)$



Druckqualität - Abmusterung - Lichtarten



- Einfluss Beleuchtung
 - D (50, 65, ...)
 - Lichtart A „Glühlampenlicht“
 - Lichtart C Farbtemperatur 6.774° Kelvin
 - TL „Kaufhauslicht“ (TL 84) 4.000° Kelvin
 - Lichtart F 11 - Leuchtstoffröhre
- Umfeld neutrales mattgrau

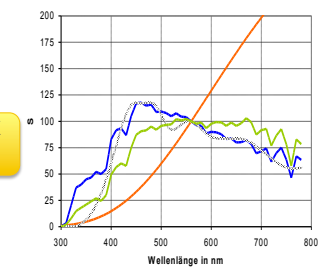


Normung der Lichtquellen - Farbtemperaturen

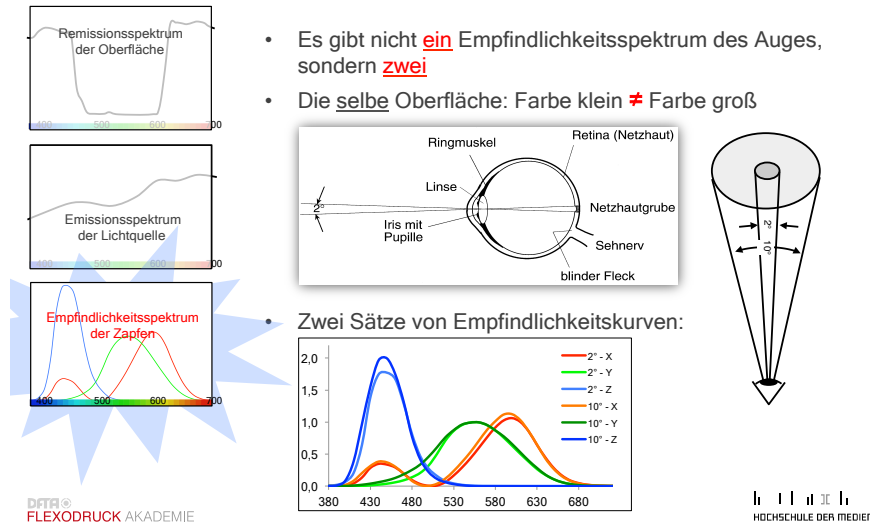
- Die Beleuchtung (Farbe und Spektrum der Lichtquelle) hat erheblichen Einfluss auf die Farbe einer Probe.
- Von der CIE wurden deshalb bestimmte Normlichtarten festgelegt:

Lichtart _____ Farbtemperatur _____

A:	Glühlampe	2856 K
C:	künstliches Tageslicht (sehr wenig UV)	6774 K
D50:	natürliches Tageslicht (wenig UV)	≈ 5000 K
D65:	natürliches Tageslicht (relativ viel UV)	6504 K



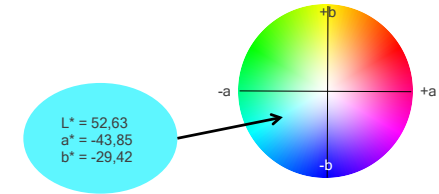
Und es gibt noch ein wichtiges Detail!



Bestandteile einer Farbmessung

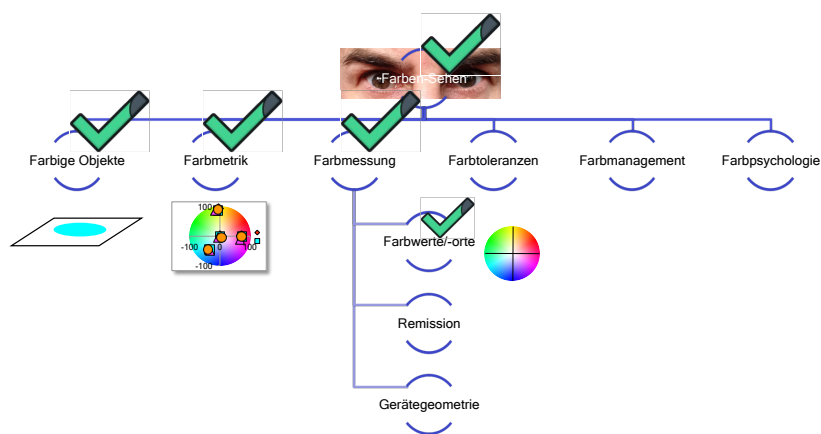
- Bei Farbmessungen muss korrekt eingestellt bzw. kommuniziert werden:

- das L*, a* und b*-Wertetripel:



- die Lichtart: D50, D65, A ...
- der Norm(al)beobachter: 2° oder 10°
- (die Verwendung eines Polarisationsfilters – siehe später)

Zusammenhänge beim Thema „Farbe“

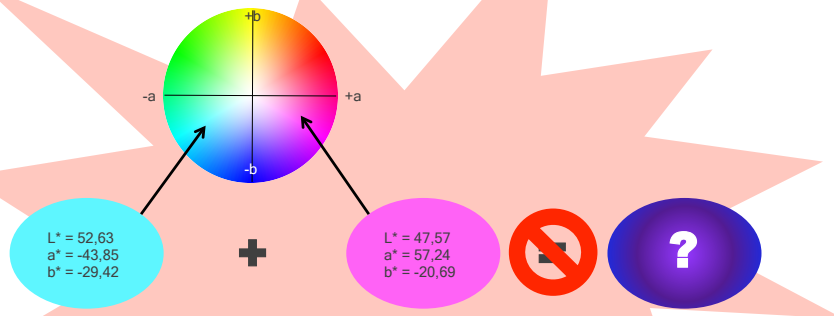


Was machen wir mit dem Remissionsspektrum?

Antwort: Es kommt darauf an, welches Ziel bzw. welche Aufgabe verfolgt wird!

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Farbwerte sollen quantitativ ausdrücken, wie der Mensch diese Oberfläche wahrnimmt? <input type="checkbox"/> Farbunterschiede (2 Oberflächen) sollen ermittelt werden? <input type="checkbox"/> Die Druckfarbschichtdicke soll (relativ) gemessen werden? <input type="checkbox"/> Das Halbtendruckverhalten (Raster) soll kontrolliert werden? • Farbmanagement soll den Produktionsprozess farbsicher machen? ➤ Farbwerte errechnen! (bspw. Lab) | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Farbmanagement soll den Produktionsprozess farbsicher machen? <input type="checkbox"/> Sonderfarben sollen rezeptiert werden? <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Grundrezept <input type="checkbox"/> Optimierung des Grundrezepts nach Andruck/Einrichten <input type="checkbox"/> Restfarbenverwertung <input type="checkbox"/> Metamerie-Gefahr muss ermittelt, Metamerie vermieden werden? ➤ Remissionsspektrum speichern und verwenden! |
|--|---|

Mischfarben aus L*a*b* errechnen?

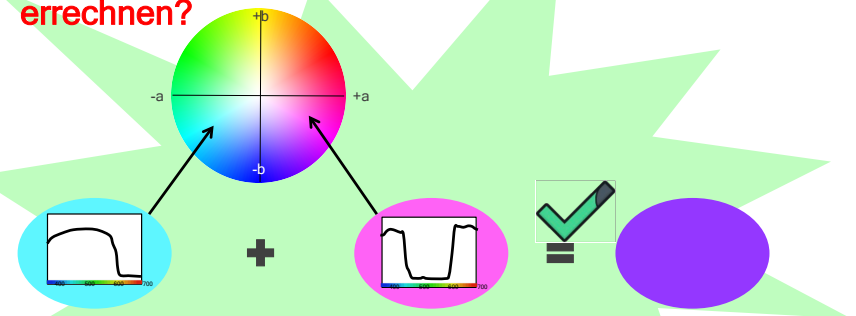


Die Resultierende aus 2 CIE Lab-definierten Farben vorzuberechnen ...

- ... geht im Fall eines Zusammendrucks nur sehr ungenau
- ... geht im Fall einer physischen Mixtur gar NICHT
- Das Substrat kann in keinem Fall separat variiert werden



Mischfarben aus dem Remissionsspektrum errechnen?



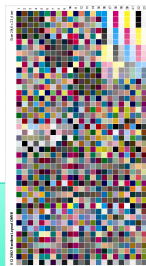
Die Resultierende aus 2 durch das Remissionsspektrum definierten Farben vorzuberechnen ...

- ... geht im Fall eines Zusammendrucks prinzipiell sehr gut
- ... geht im Fall einer physischen Mixtur sehr genau
- Es ist möglich, das Substrat eigenständig einzurechnen



Konsequenzen

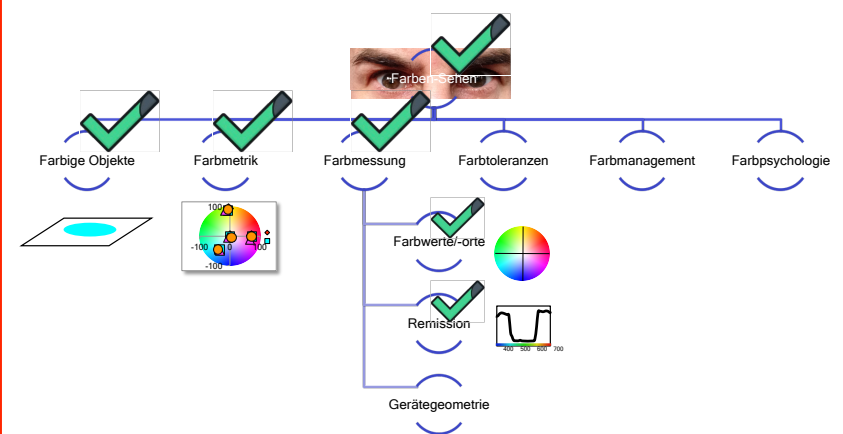
- Das sind KEINE neuen Erkenntnisse!
 - In der Farbgebung mit Software (physische Mixtur) hat man das immer schon berücksichtigen müssen
- Aber jetzt nutzt man dieses Wissen auch im **Farbmanagement!**
 - Farben der Fingerprint-Testform werden zukünftig NICHT mehr als Lab-Werte ...
 - ... sondern als **Remissionsspektrum** gespeichert und verarbeitet



Man kann somit

- Die Prozessfarben rechnerisch **anpassen**, ohne gleich **neu andrucken** zu müssen
- Eine Farbe gegen eine andere **austauschen**
- Das jeweilige **Substrat** besser berücksichtigen
- Die **Transparenz** und **Farbannahme** der Druckfarben besser berücksichtigen

Zusammenhänge beim Thema „Farbe“

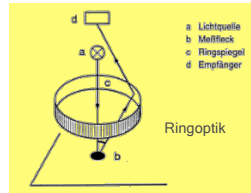


Messgeometrie der Farbmessgeräte

- Bezeichnet Winkel der Lichteinstrahlung und des Sensors

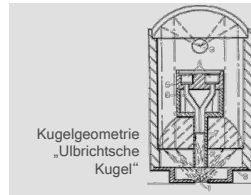
- Gerichtetes Licht

- So genannte „45° / 0°“- oder ...
- ... „0° / 45°“-Optik
- Beides ggf. mit Ringoptik



- Diffuses Licht

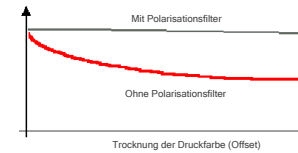
- So genannte „d / 8°“-Optik bzw. -Geometrie



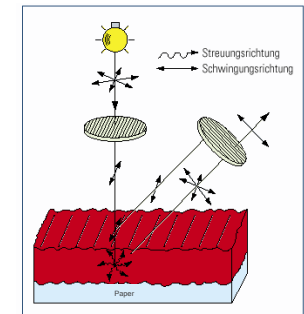
Verwenden wir Polarisationsfilter?

Messung mit Polarisationsfilter

- gibt es nur bei der 0/45 oder 45/0 Gerätegeometrie
- unterdrückt Oberflächen-**Reflexionsanteile**, besonders bei Kunststofffolien und metallisierten Substraten
- (bessere Linearität zwischen Dichte und Schichtdicke)
- („nasse“ Druckfarbe kann gemessen werden >> Offset!)



- (Ergibt höhere gemessene Volltondichte)
- Manche Druckfarbhersteller bestehen auf PF zur Farbformulierung (??)
- Kann in **Abmusterungskabinen** NICHT simuliert werden!

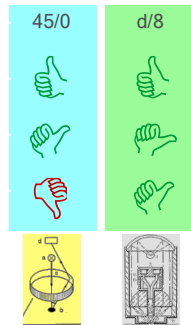


Welche Messgeometrie ist besser?

- Grundsätzlich sollen Farbmessgeräte **Funktion und Verhalten** des menschlichen Auges „nachbauen“ und ...



- ... so erfüllen sie das:



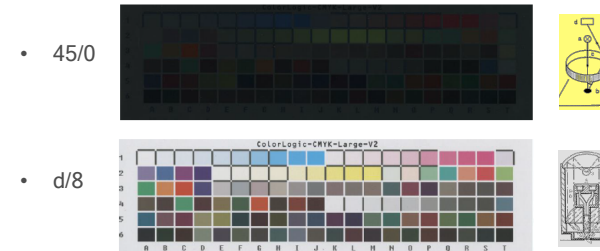
Spektrale Empfindlichkeit

Adaption an verschiedene Lichtmengen





Vermeidung des Glanzwinkels bzw. Wahl der optimalen Betrachtungsrichtung

Farbe richtig messen?

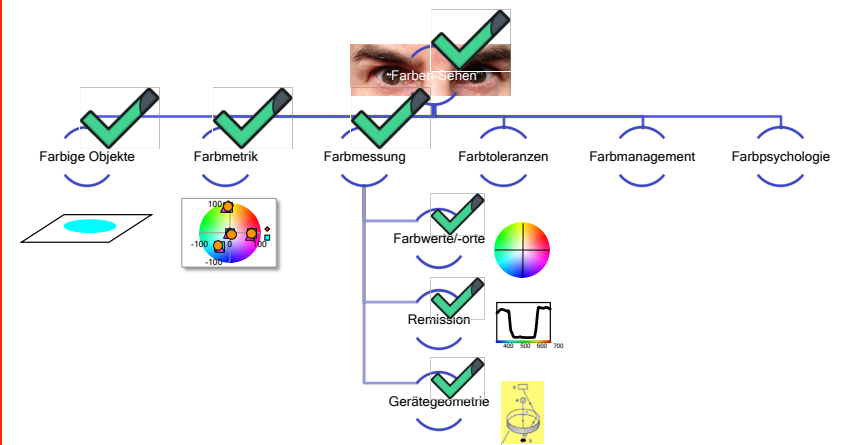
- ... kann unter bestimmten Verhältnissen **sehr schwierig** sein
- Hier: metallisiertes Substrat, gleicher Druck gemessen mit zwei verschiedenen Geräten, Farbprofile erstellt und angewendet, so sehen die Proofs dann aus:



Zwischenfazit Farbmessung

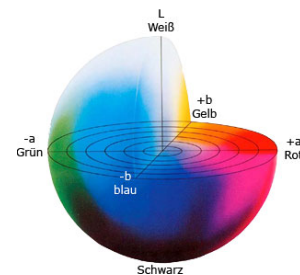
- Eigentlich muss man „nur“ das **Remissionsspektrum** der betreffenden Farbe korrekt erfassen
- Mit oder ohne **Polarisationsfilter**?
 - Meine Empfehlung: PF NICHT verwenden!
- Dann kann man damit heute schon einiges tun, z.T. besser als früher:
 -  Umrechnungen in den empfundenen Farbton: „Farbkoordinaten“
 -  Umrechnungen zu anderen Beleuchtungslichtarten
 -  Digitales Farbmanagement
 -  Farbrezeptierung etc.
- Aber das korrekte Erfassen ist nicht mit allen Messgeräten gleich gut möglich, alle haben ihre **Schwächen**, manche sogar sehr große!

Zusammenhänge beim Thema „Farbe“

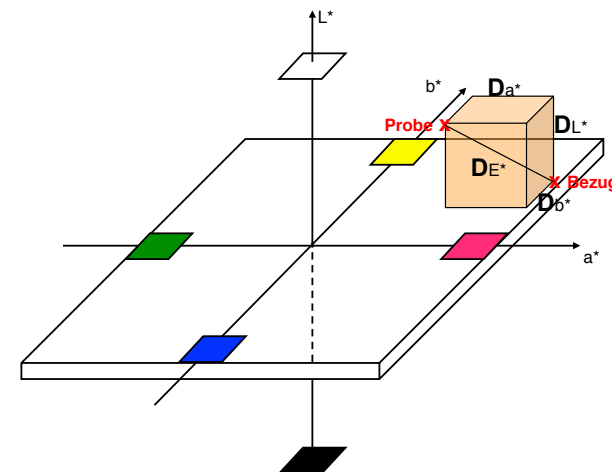


3-Dimensionales CIELab-System

- CIELab-System ist „räumlich“, also ein **3-dimensionaler Körper**
- Abstandsbewertungen können mathematisch einfach vorgenommen werden: „3-dimensionaler Pythagoras“
 - Anstelle von $a^2 + b^2 = c^2$ rechnen wir einfach $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$ oder
 - $dE = (a^2 + b^2 + L^2)^{0.5}$ (Wurzel aus)



Farbabstandsbewertung im CIELab-System



Farbmetrik - Umsetzung

Farbabstandsmaß DE_{ab}^*

Farbabstand DE_{ab}^*	Bewertung des Abstandes
- $DE_{ab}^* =$ kl. als 0,2	nicht sichtbar - i.a. vernachlässigbar
- $DE_{ab}^* = 0,2 - 1,0$	sehr gering
- $DE_{ab}^* = 1,0 - 3,0$	gering
- $DE_{ab}^* = 3,0 - 6,0$	mittel
- $DE_{ab}^* = 6,0 - 12,0$	groß (i.a. unakzeptabel)

- Diese Bewertungen sind **vorsichtig zu handhaben!**
 - Unterschiede zwischen gesättigten, bunten Farbenpaaren führen in CIE Lab zu numerisch großen Abstandsbewertungen, sind aber visuell viel kleiner! (>>> DE_{2000}^* oder DE_{CMC})

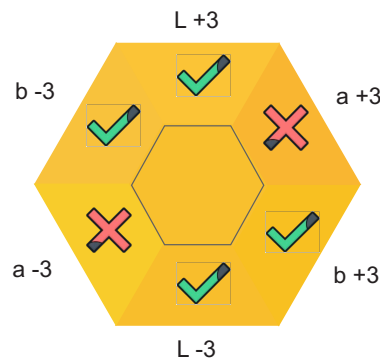
2 PROBLEME!

1. „Kugelförmige“ Farbtoleranz
2. „Übertrieben“ große Farbabstandsbewertungen

1. Farbtoleranz nach ΔE_{ab}

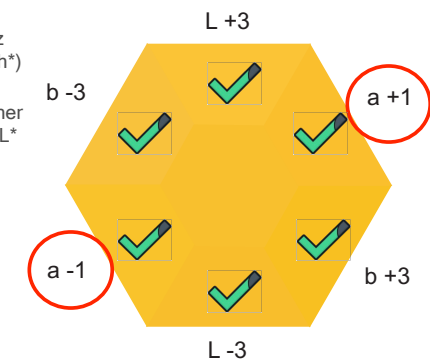
Achtung! Gefahr durch „Kugeltoleranz“!

- Beispiel für HKS 04K (Zentrum)
- Angenommen wird eine tolerierte Abweichung von $\Delta E_{ab} = 3$
- ganze Toleranz kann von nur einer Koordinate ausgeschöpft werden (siehe 6 Umgebungsfelder)
- Hier: L- und b-Abweichungen relativ unkritisch, aber a-Achse sehr kritisch!
- „Kugelförmige“ ΔE_{ab} Spezifikation berücksichtigt das nicht und ist daher gefährlich für den Anwender!



1. Lösung: Farbtoleranz nach $L^*C^*h^*$

- Die selektive Betrachtung von Luminanz (L^*), Sättigung (C^*) und Bunttonwinkel (h^*) löst das Dilemma
- Der **Bunttonwinkel** h^* muss dabei mit einer **engeren Toleranz** versehen werden als L^* und C^*
- Chroma $C_{ab} = \sqrt{a^2 + b^2}$
- Buntton $h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$
- $\Delta h_{ab} = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2} - \Delta C^2$
- Das entspricht einer **Verengung der Toleranzgrenze** entlang der kritischen Achse



2. „Übertreibung“ durch Delta-E_{ab}*

- Das Maß DE_{ab}* ist der **räumliche Abstand** zwischen zwei Farborten

- Bei Farbenpaaren hoher Buntheit >>> ist **gemessenes** DE_{ab}* zu groß im Vergleich zum **visuell empfundenen** Farbunterschied



- Neues Farbabstandsmaß **Delta-E₉₄***
 - ergibt für neutrale Farbtöne ähnliche Zahlenwerte wie DE_{ab}*
 - ergibt für Farben hoher Buntheit kleinere Zahlenwerte
 - >>> im Druck größere Toleranzen in der Farbführung
 - Später erneute Verbesserung eingeführt:

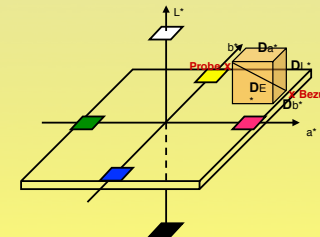
- Neues Farbabstandsmaß **Delta-E₂₀₀₀***
 - Die Formel entspricht noch mehr der Farbempfindung von Versuchspersonen
 - Wird empfohlen, wenn nur geringe Farbabstände akzeptiert werden

- Alternative Formel für die Farbabstandsbestimmung: **DE_{CMC 2:1}**

Berechnung von Farbabständen

- Sog. „Delta-E_{ab}“ oder „Delta-E₇₆“

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



Verbesserte Farbabstandsformeln:

$$\Delta E_{94}$$

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{k_H \cdot S_H}\right)^2}$$

$$\Delta E_{2000}$$

$$\Delta E_{2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{k_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{k_H \cdot S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{k_C \cdot S_C}\right) \left(\frac{\Delta H^*}{k_H \cdot S_H}\right)}$$

Dabei gilt:

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045 C^*_{ab} \text{ (Standard)}$$

$$S_H = 1 + 0.015 C^*_{ab} \text{ (Standard)}$$

$$k_L = k_C = k_H = 1$$

2 PROBLEME GELÖST!

- „Kugelförmige“ Farbtoleranz
- „Übertrieben“ große Farbabstandsbewertungen

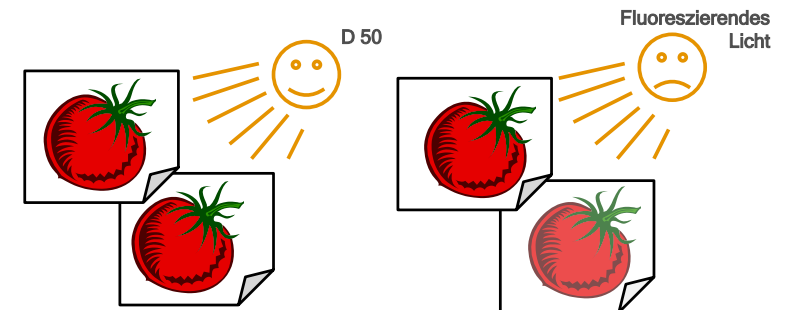
Die verbesserte Farbabstandsformel

Delta-E₂₀₀₀*

hilft in beiden Fällen!

Weiteres Problem: Metamere Farben

- Farbwiedergabe - **Metamerie**



- Farbwiedergabe hängt ab vom **Emissions-Spektrum** der Lichtquelle
- Ursache dafür kann z.B. die Verwendung **unterschiedlicher Pigmente** sein

Metamerie

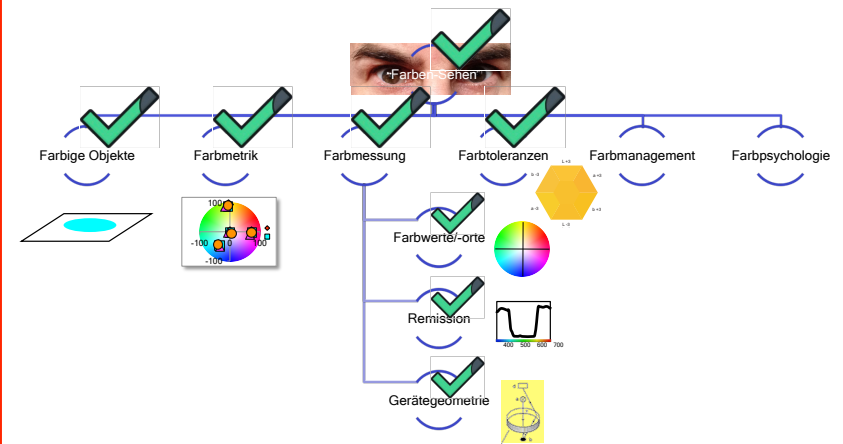
- Die drei Zapfenarten im Auge erzeugen aus dem spektralem Aufbau einer Farbe drei Farbsignale / Zapfensignale
- Viele unterschiedliche Spektren können die **selben Zapfensignale** erzeugen.
 - Beispiel aus additiver Farbmischung: Spektrales Gelb und ein Gelb gemischt aus R+G sind vom Auge nicht unterscheidbar
 - Dagegen in subtraktiver Farbmischung: wird ein Grün aus grünem Pigment gemischt, kann es bei einer Beleuchtung identisch mit einem Grün aus C und Y sein, dann aber nach einem Wechsel der Beleuchtung anders aussehen



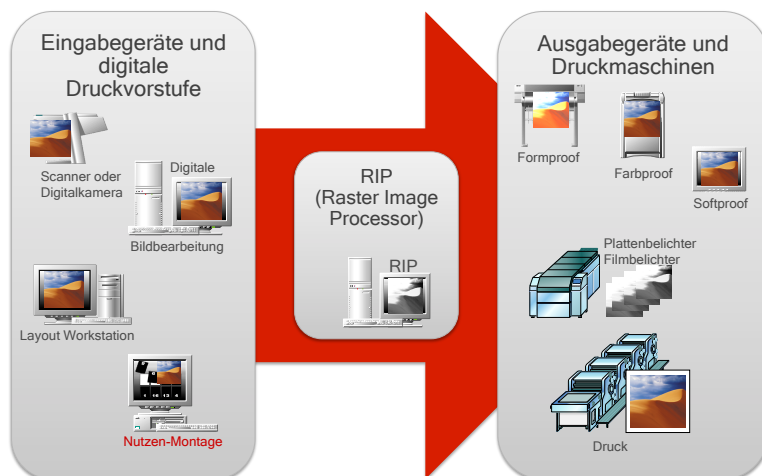
Farben, die **gleich aussehen**, aber **spektral unterschiedlich** aufgebaut sind, heißen **metamer** (bedingt gleich)

- Keine wirkliche Lösung! Aber...
- ... Abhilfe: Abmusterung (Soll-Ist-Vergleich) nacheinander bei **verschiedenen Lichtarten**

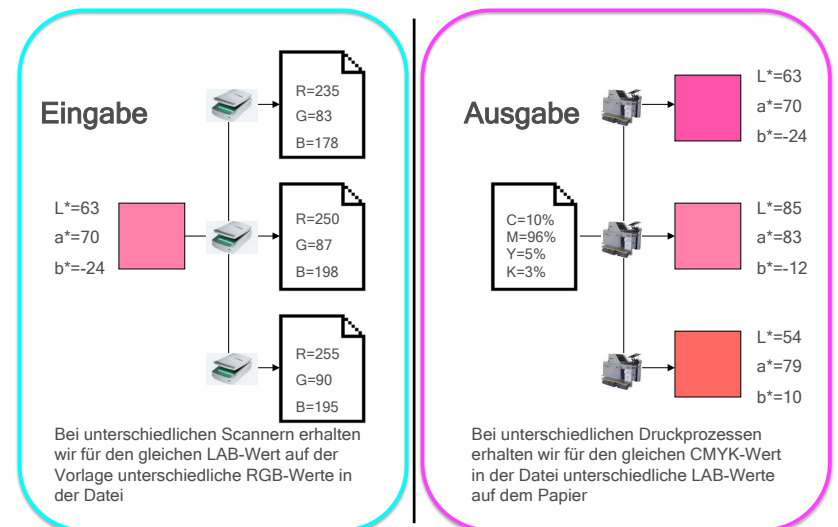
Zusammenhänge beim Thema „Farbe“



Verschiedene Geräte des Workflows



Problematik verschiedener Gerätecharakteristiken



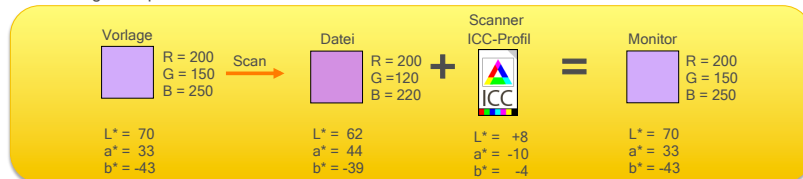
ICC Profile können das beheben



- ICC = International Color Consortium
- Referenzfarbraum CIE L*a*b*
- ICC-Profile ordnen den jeweiligen RGB- bzw. CMYK-Werten die entsprechenden L*a*b*-Werte zu

Beispiel

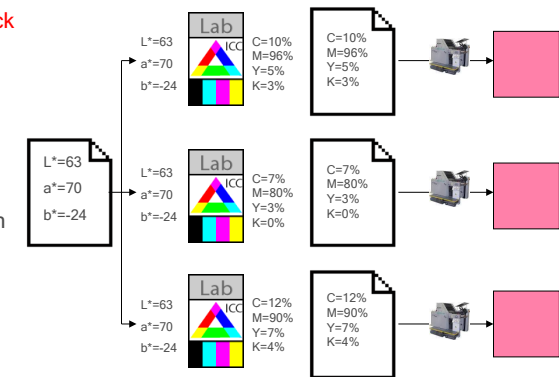
Der gescannten RGB-Bilddatei hängt ein ICC-Profil an, das der Bearbeitungs-Software anzeigt, dass R=x1 G=x2 B=x3 beim eingesetzten Scanner den LAB-Werten L=x1 a=x2 b=x3 auf der Vorlage entsprechen.



Wirkung eines Druckmaschinen-Profiles

Ausgabegabe-Profil: **Druck**

- Drei verschiedene CMYK-Werte in der Datei
- Drei mal die gleiche farbliche Erscheinung bei den verschiedenen Druckverfahren bzw. Druckmaschinen bzw. **Druckbedingungen**



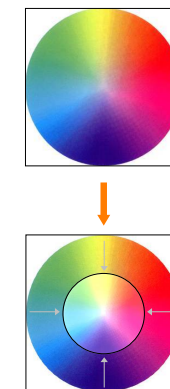
Farbwiedergabe und Farbmanagement

- Trotz der Vielzahl der druckbaren Farben lassen sich nicht alle natürlichen Farben im Druck wiedergeben >>> Komprimierungsstrategie ist notwendig
- **Farbmanagement: Rendering Intents**



Rendering Intents

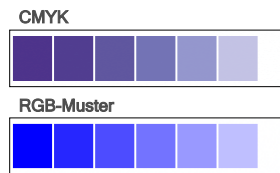
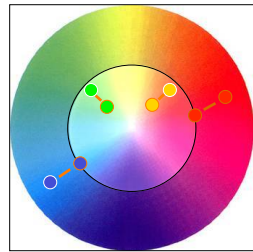
- **Rendering Intent** = Anpassung des Farbraumes für Ausgabegeräte bei der Separation nach CMYK
- Wichtig beim **Gamut Mapping**
- Der RI beschreibt, wie mit Farben außerhalb des darstellbaren Farbraumes bei der Umwandlung umgegangen wird



Schematische Darstellung der Verkleinerung des Farbraumes für die Ausgabe

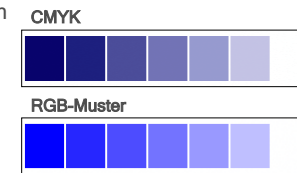
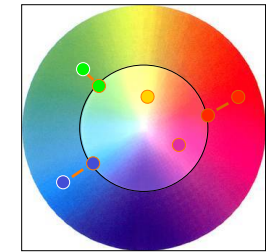
Rendering Intent „Perzeptiv“

- Fotografischer Rendering Intent
- Nicht darstellbare Farbbereiche werden auf die maximal erreichbare Sättigung des Zielfarbraumes **geschrumpft**
- Die **Beziehung** (Verhältnis der Abstände) der Farben zueinander bleibt dabei erhalten
- Neutralweiß wird auf das Papierweiß abgebildet
- Gut geeignet für die Umwandlung von Bilddateien in den Ausgabefarbraum



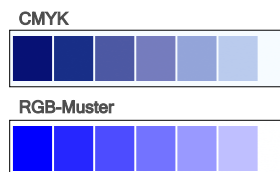
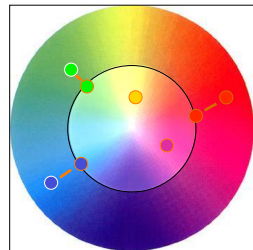
Rendering Intent „Relativ Farbmetrisch“

- Der relativ farbmetrische Rendering Intent übernimmt darstellbare Farbwerte 1:1 in den Zielfarbraum und „**schneidet**“ alle nicht darstellbaren Farbwerte ab und stellt diese mit der maximal möglichen Sättigung dar
- Keine **Simulation des Bedruckstoffes** beim Proofing
- Geeignet für Farbkonvertierungen, bei denen schon ein Großteil der Farben im Zielfarbraum liegen



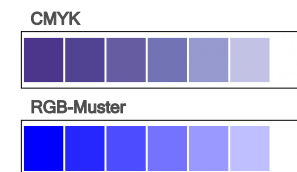
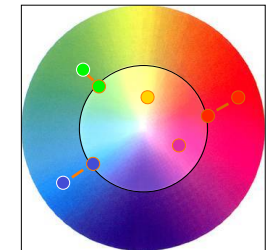
Rendering Intent „Absolut Farbmetrisch“

- Der absolut farbmetrische Rendering Intent übernimmt die darstellbaren Farbwerte ebenfalls 1:1 in den Zielfarbraum und „**schneidet**“ dabei alle nicht darstellbaren Farbwerte bei maximal möglicher Sättigung ab
- Geeignet für „Logo-Farben“ und für die Druckerausgabe
- Geeignet für Proofofen mit **Simulation des Bedruckstoffes**
- Geeignet für Softproof
- Ungeeignet für die meisten Farbkonvertierungen



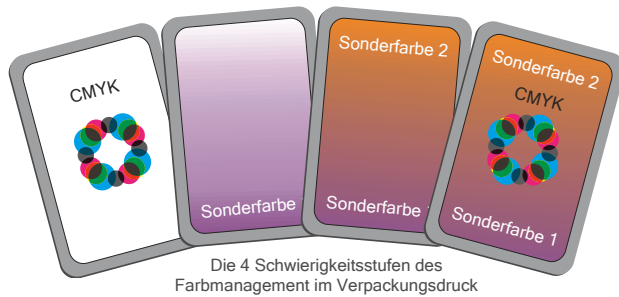
Rendering Intent „Sättigung“

- Farben werden stark gesättigt und brillant dargestellt, auf Kosten der Farbtreue
- Geeignet für Grafiken, bei denen kräftige Farben wichtiger sind, als Farbgenauigkeit
- Unbedeutend für Drucktechnik (eher für Internet-Anwendungen)



Farbmanagement im Verpackungsdruck

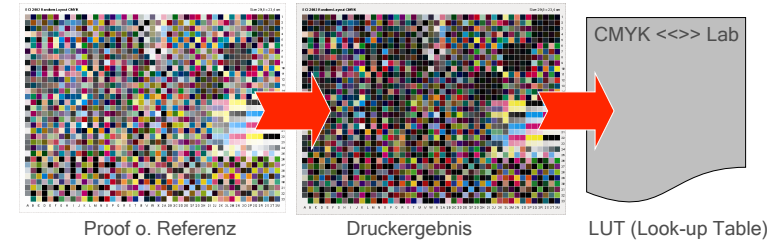
- Sonderfarben bringen Schwierigkeit, weil sie nicht profiliert werden können
- Bekannte Fachliteratur und Präsentationen beziehen sich nur auf die 1. von 4 Stufen der Komplexität!



Farbmanagement Stufe 1



- Bezieht sich auf sog. Prozessfarben („Skalenfarben“) CMYK
- **Empirische** Erfassung möglichst vieler Kombinationen mit bekannten Testformen



- Andruck >>> Vermessung >>> Verrechnung zum Profil über LUTs

Farbmanagement Stufe 2

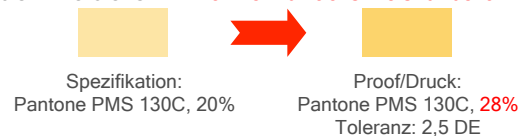


- Sonderfarben kommen hinzu
- Sind (in Proof und Druck) genau zu spezifizieren und zu treffen

- 1. Problem: Echtfarbe (Vollton)



- 2. Problem: Halbtöne >>> **Tonwertzuwachs meist unbekannt**



Farbmanagement für Sonderfarben

- Zusammendruck verschiedenster Farbkombinationen nicht möglich (Pantone PMS mit ca. 1500 Farben ergibt $1500! = 1500 \times 1499 \times 1498 \times 1497 \dots$ Kombinationen)

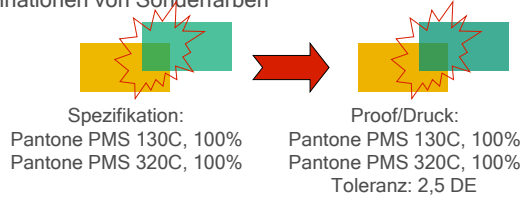


- Daher **mathematisch-theoretischer Ansatz** beim Farbmatching

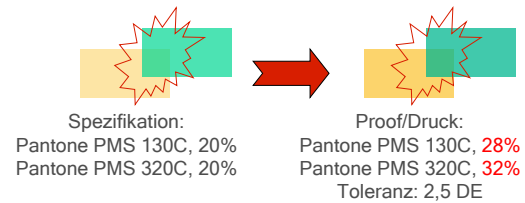
Farbmanagement Stufe 3



- Kombinationen von Sonderfarben



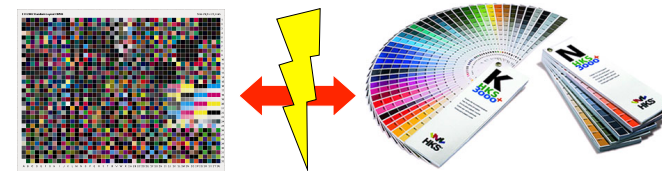
- Besonders schwierig in Halbtönen



Farbmanagement Stufe 4



- Prozessfarben und Sonderfarben kombiniert
- Empirischer Ansatz („möglichst viele Kombinationen andrucken und vermessen, was dabei herauskommt“) prallt auf mathematisch-theoretischen Ansatz („Kombinationen von Sonderfarben werden zu errechnen versucht“)



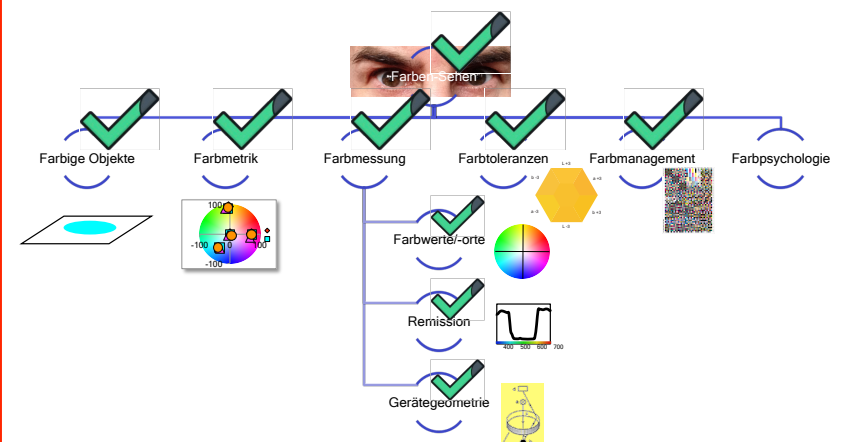
- Besonderes Knowhow wird benötigt
- Nur wenige Anbieter kompetent

Farbmanagement im Verpackungsdruck

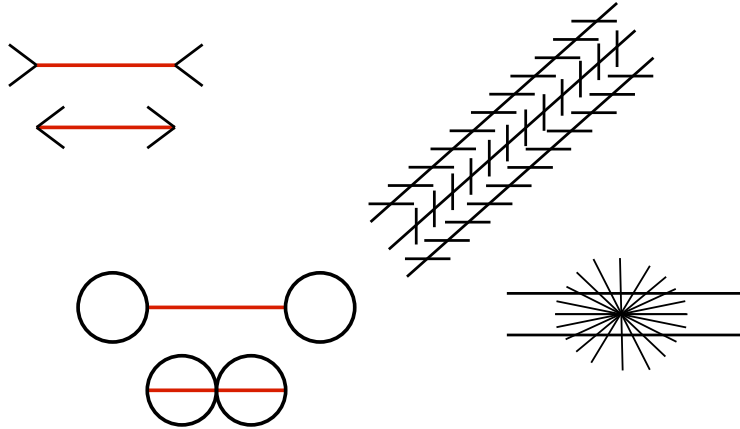
- ... hat große Herausforderungen! (besonders durch Sonderfarben) ...
- ... wird aber durch die zunehmende Verwendung von Remissionsspektren bei der Berechnung verbessert und erhält neue Möglichkeiten:
 - Austausch von Farbkanälen in Motiven/Bildern
 - **Sonderfarben mit Überdruckungen** vorausberechnen, teilweise ohne Andruck
 - Höhere Präzision der farblichen Übereinstimmung Proof/Druck
 - Etc.



Zusammenhänge beim Thema „Farbe“

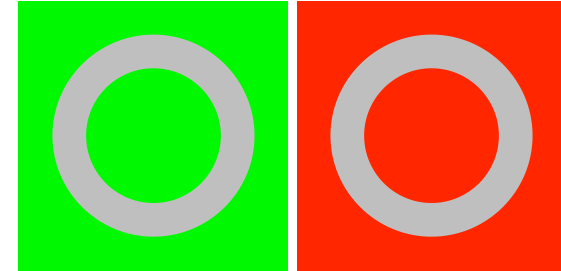


Visuelle Wahrnehmung: Linien und Längen



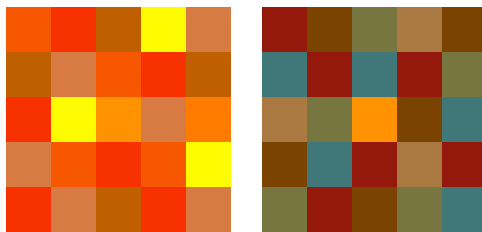
Umfeldeinfluss

- Der Simultankontrast



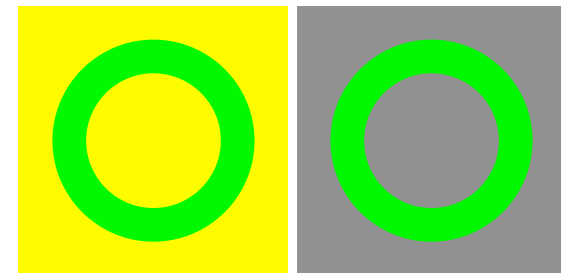
Umfeldeinfluss

- Der Intensitätskontrast (rein:trüb)

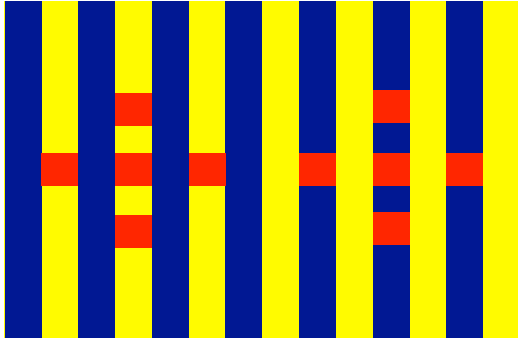


Umfeldeinfluss

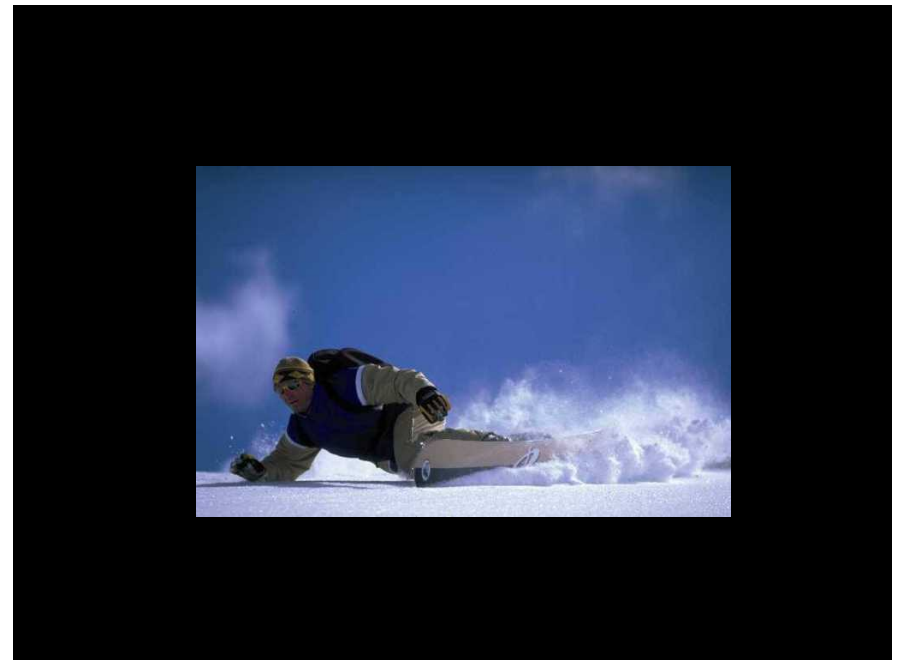
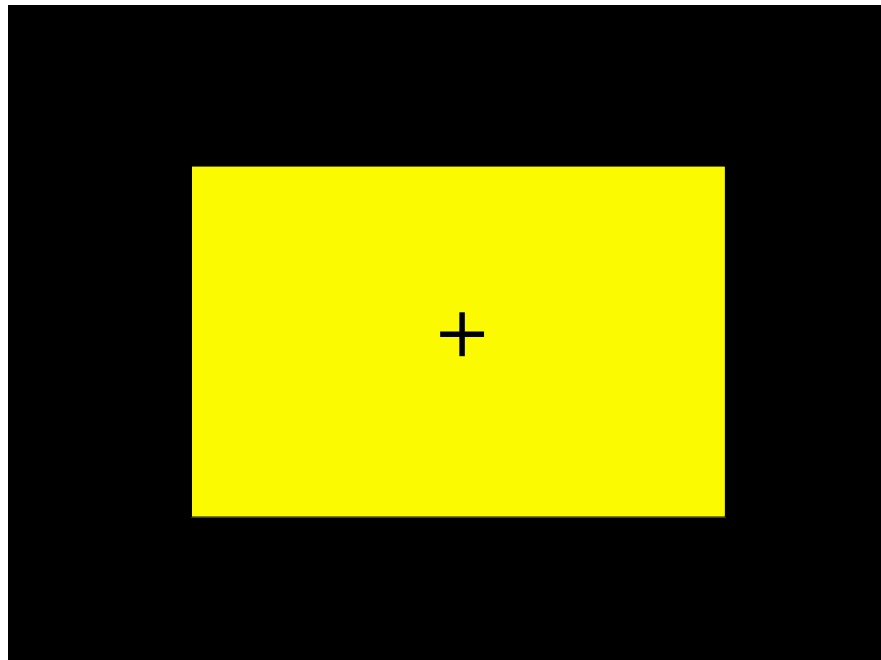
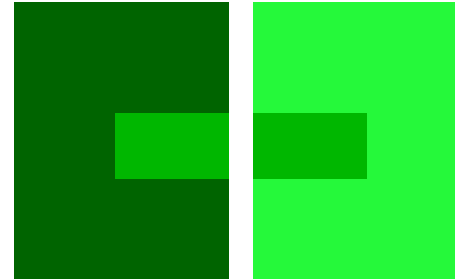
- Der Warm-Kalt-Kontrast



Umfeldeinfluss



Umfeldeinfluss



FARBE IST KOMPLEX!!

Am Ende müssen wir erkennen, dass in unserer Wahrnehmung auch noch die Umgebung einer Farbe „mitspielt“. Das kann nicht messtechnisch berücksichtigt, sondern nur qualitativ beschrieben werden.

Fazit

- Das Phänomen „Farbe“ entspringt aus einer (menschlichen) Illusion
- Es basiert auf sichtbarem Licht unterschiedlicher Wellenlängen
- Wir können Farbwahrnehmungen und Farbabstände durch Messung in Zahlen umsetzen, aber dazu ist gutes Verständnis erforderlich!
- Darüber hinaus haben die Messgeräte ihre Unzulänglichkeiten
- Modernes Farbmanagement kann farbliche Geräte-Abweichungen ausgleichen und wird durch die (neue) Verwendung von Remissionsspektren deutlich verbessert
- Wegen des Umgebungseinflusses sollten immer nur direkte Vergleiche (bspw. Proof-zu-Druck) vorgenommen werden