

Was ist Farbe?

Mehr als diesen allgemeinen Überblick finden Sie im Kapitel „Farbmanagement“ ab S. 222.

In der Druckvorstufe hat man es mit zwei vollkommen unterschiedlichen Darstellungsformen von Farben zu tun. Auf der einen Seite den Monitor, dessen Farben selbst leuchten, auf der anderen Seite das fertige Produkt, dessen Farben das umgebende Licht nur remittiert (zurückwirft) – bei Tageslicht erscheinen die Farben anders als im Licht einer Glühlampe.

In diesem Kapitel geht es darum, was Farbe überhaupt ist, sowohl theoretisch wie praktisch.

Licht

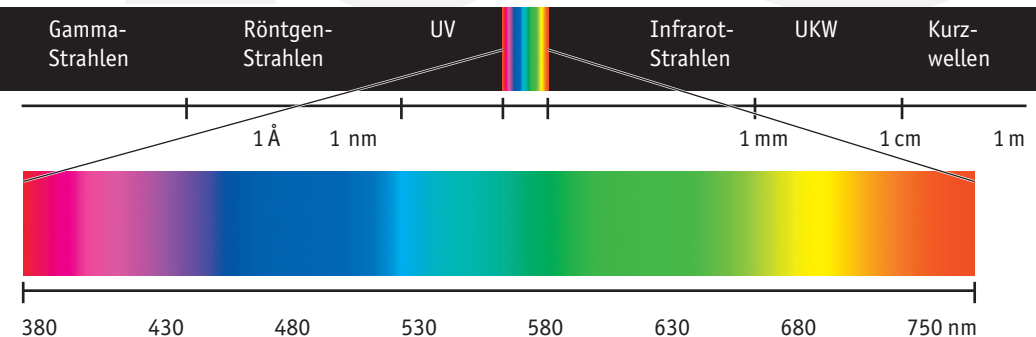
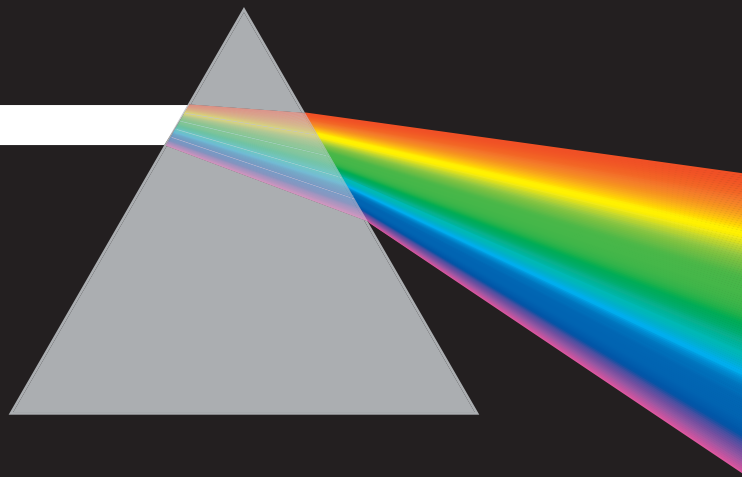
Ohne Licht können wir nichts sehen. Eine Binsenweisheit, aber was sehen wir, wenn es hell ist? Schauen Sie sich dazu die Grafik unten an: Licht nennen wir nur den winzigen Teil der uns umge-

benden elektromagnetischen Strahlung, für den unsere Augen empfindlich sind. Dieser Bereich liegt etwa zwischen 380 und 750 nm, von Violett über Blau, Grün, Gelb bis Rot – Wellen dieser Strahlung mit einer Länge von 580 nm beispielsweise nehmen wir als Grün wahr.

Licht – ein Sinneseindruck

Viele Wirbeltierarten können weniger, viele Insekten mehr als die von uns wahrnehmbaren Farben sehen. Farbe und damit Licht sind also keine naturgesetzmäßigen Größen sondern werden erst durch unsere Augen zu dem, was wir Licht nennen.

Deshalb: *Licht ist nur ein Sinneseindruck!*



Farben des Lichts

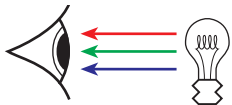
Schickt man weißes Tageslicht durch ein Prisma, kann man all diese Farben sehen. Da unterschiedlich lange Wellenlängen unterschiedlich stark an der Ein- und Austrittsfläche des Glasprismas gebrochen werden, werden sie in unterschiedliche Richtungen

abgelenkt – das Licht wird aufgefächert wie bei einem Regenbogen; alle Spektralfarben werden sichtbar.



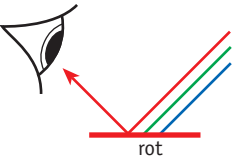
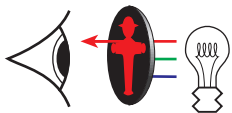
Der Weg ist auch andersherum möglich: leuchtete man mit all diesen einzelnen Farben aus den oben zu sehenden Winkeln (hier von rechts) auf ein Prisma, fügten sie sich auf seiner anderen Seite (hier links) zu einem weißen Strahl zusammen.

Diese Mischung zu Weiß kann auch ohne Prisma erzeugt werden: beleuchtet man mit all diesen Farben eine weiße Fläche, erschien sie uns weiß. Das heißt also, dass wir nicht nur ohne Licht nichts sehen, sondern dass wir das Licht selbst sehen. Je nach der Wellenlänge, in der es strahlt, nehmen wir es als unterschiedliche Farbe wahr.



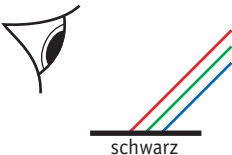
Ein leuchtender Gegenstand

Betrachten wir das Licht einer Glühlampe, sehen wir direkt das Licht, das von dem glühenden Metalldraht ausgeht. Bei einer roten Ampel ist vor eine Glühlampe eine rote Glasscheibe gesetzt, die alle anderen Anteile ihres Lichts herausfiltert und nur noch die roten hindurchlässt.



Ein remittierender Gegenstand

Sehen wir einen roten Stuhl, werden alle nicht roten Anteile des Lichts „geschluckt“, absorbiert, und nur die roten remittiert. Die nicht remittierten werden in Wärme umgesetzt.



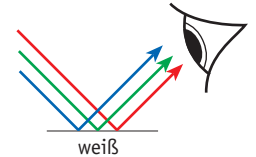
Schwarz

Erscheint uns etwas als schwarz, geht davon kein (oder kaum) Licht aus – es gibt kein helles Schwarz. In der Nacht ist alles schwarz, weil die Sonne nicht strahlt und damit nichts Licht

remittieren kann. Etwas erscheint uns dagegen selbst in strahlen- der Sonne schwarz, weil es kaum Licht remittiert. Deshalb wird es auch heißer als etwas Rotes.

Weiß

Ein Blatt Papier erscheint uns dagegen als weiß, weil es fast das gesamte Licht remittiert. Ein möglicher Farbstich resultiert daraus, dass nicht das gesamte Spektrum des Lichts remittiert wird.



Farbtemperatur

Dasselbe Blatt Papier erscheint uns im Licht einer Glühlampe gelblich. Wird es dagegen von einer Neonröhre beschienen, erscheint es weiß. Das Licht einer Glühlampe selbst ist gelblich, deshalb hat das Blatt Papier keine „Chance“, seine wahre Farbe zu zeigen – es kann nur das Licht remittieren, von dem es beschienen wird. Unterschiedliche künstliche Lichtquellen leuchten also nicht mit allen Farben, die es braucht, weißes Licht zu erzeugen. Sie haben verschiedene Farbtemperaturen. Weil wir gelbe Farben wärmer empfinden als blaue, sprechen wir auch von warmem und kaltem Licht. Tatsächlich verhält es sich aber genau umgekehrt: je heißer der Faden in einer Birne glüht, desto weißer die Glut.

Die Farbtemperatur wird in Grad Kelvin gemessen. Dabei wird ein Objekt so stark erhitzt, dass es glüht. Je heißer, desto heller ist die Glut: Rotglut ist kälter als Weißglut. 6500 Grad° Kelvin entspricht der Farbe neutralen Tageslichts. Die Farbtemperatur einer Kerze liegt bei ungefähr 2000° Kelvin.

Siehe auch Normlicht S. 40.

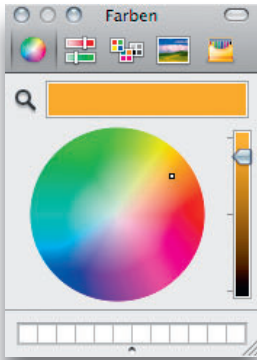
Ein Grad Kelvin ist genauso „breit“ wie ein Grad Celsius – die Spanne von einem Grad zum nächsten ist gleich groß. Allerdings wird nicht der Gefrierpunkt von Wasser gleich Null gesetzt, sondern der absolute Nullpunkt, bei ca. -273° Grad Celsius.

Tageslicht

Tageslicht am Mittag empfinden wir als *neutral* – weder warm noch kalt. Eine davon beschienene weiße Fläche erscheint uns deshalb ebenfalls als neutral weiß. Im Tageslicht können wir alle Farben sehen. Das heißt, dieses Licht muss alle Farben selbst enthalten. Soll nun eine bestimmte Farbe daraus beschrieben werden, zum Beispiel für ein Computerprogramm, ist das ohne Hilfsmittel nicht möglich, denn Computer verstehen nur Zahlen.



Siehe auch: <http://www.photozone.de/Imaging>



z.B. Rot, Grün und Blau (RGB).

Farbmodelle

Mit einem Modell versucht man, die Realität zu vereinfachen und damit erklärbar und verständlicher zu machen. Da in der Vereinfachung eines Modells Teile der Realität auf der Strecke bleiben, sind mit den diversen Farbmodellen zumeist auch nur *fast alle* Farben beschreibbar.

Wichtig ist, dass mit einem Farbmodell Farben auch mittels Zahlen dargestellt werden können. Darüber können dann auch Computerprogramme mit Farben umgehen. Außerdem braucht man die Zahlen, um Farben exakt beschreiben zu können.

Wie kann man Farbe beschreiben?

Im Laufe der Geschichte wurden unterschiedliche Ansätze entwickelt, Farben zu beschreiben. Isaac Newton (1642 – 1727) hat als erster den direkten Zusammenhang zwischen Licht und Farbe erkannt. Er teilte die Farben in sieben Grundfarben ein, den sieben Tönen der europäischen Musik entsprechend. Er ging von der Farberlegung durch ein Prisma aus.

Grund- oder Primärfarben

Diese wenigen Farben, aus denen sich alle anderen ableiten oder mischen lassen, werden Grundfarben genannt.

Sekundärfarben

Alle aus zwei Grundfarben ermischten Farben heißen Sekundärfarben, weitere Mischungen werden Tertiärfarben genannt.

Komplementärfarben

So werden Farben mit dem größten Kontrast zueinander bezeichnet wie beispielsweise Rot und Grün oder Blau und Gelb.

Körperfarben

Die Farben, mit der ein Gegenstand gefärbt, bemalt, lackiert oder bedruckt ist, wird Körperfarbe genannt. Sichtbar wird sie erst, wenn sie von Licht beschienen wird.

Additive & subtraktive Farben

Je nach dem, ob man es mit direkt leuchtenden Körpern (Sonne) oder remittierenden Flächen (bedrucktes Papier) zu tun hat, spricht man von additiven und subtraktiven Farben.

Alle einzelnen Farben des Lichts addieren sich zusammen zu Weiß – je mehr Farben zusammen kommen, desto heller wird es, kein Licht bedeutet keine Farbe und damit Schwarz.

Bei remittierenden Farben verhält es sich genau umgekehrt: je mehr unterschiedliche Farben man ineinander mischt, desto dunkler wird die resultierende Farbe.

Ein additives Farbmodell beschreibt verschiedenfarbiges Licht, das von einer Lichtquelle ausgeht.

Ein subtraktives Farbmodell beschreibt remittierendes Licht, also solches, das nach der Absorption übrig bleibt. Oder man könnte auch sagen: Licht, das nach der Subtraktion vom weißem einstrahlenden Licht nach dem Zurückwerfen übrig bleibt.

Farbmodelle in der Praxis

Wozu die ganze Theorie, wenn mit einem Modell doch nicht alle Farben beschrieben werden können? Nun, will man einen Monitor bauen, kann man nicht sämtliche Lichtfarben in ihn einbauen, eine Offset-Maschine oder Drucker kann nicht alle Farben der Welt enthalten. Man muss also zusehen, mit möglichst wenigen Grundfarben möglichst viele Mischfarben zu erzeugen!

Außerdem braucht man eine Übersetzung der Farben in Zahlen, denn nur sie sind für einen Computer berechenbar. Farben müssen also eindeutige Farbwerte zugewiesen werden können, denn „grün“ oder „rot“ versteht kein Computerprogramm.

Darstellung von Farbmodellen

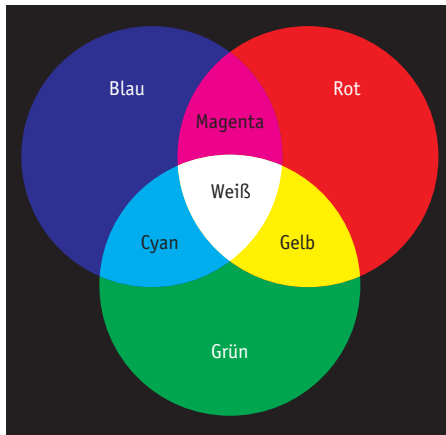
Mithilfe flächiger und räumlicher Darstellungen von Farbmodellen kann man zudem die Beziehung von Farben zueinander anschaulich machen. So liegen Komplementärfarben, Farben mit dem größten Kontrast zueinander, in der Darstellung eines Farbmodells immer einander gegenüber und damit so weit auseinander wie möglich.

Siehe Strahlengang durch ein Prisma.

Emittierende Farben werden von einem selbst leuchtenden Körper abgestrahlt.

Remittierende Farben entstehen durch das nur teilweise Zurückwerfen von Licht an einer Oberfläche.

Räumliche Darstellung siehe auch *Farbraum* S. 22.



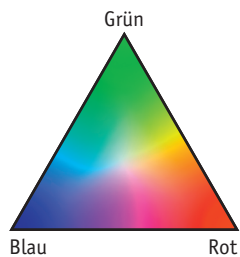
RGB-Modell (additiv)

Hier werden Rot, Grün und Blau als Grundfarben bestimmt. Scheinen die drei Lichtfarben mit voller Intensität zusammen, ergibt sich Weiß als Farbe – leuchtet nichts, ist es Schwarz.

In der Grafik links sehen Sie drei Kreise, die einander teilweise überlappen. Dargestellt ist der Lichtkegel dreier Lampen, die jeweils in einer der drei Farben in völliger Dunkelheit auf eine weiße Fläche leuchten. Dort, wo sich zwei Farben überlappen, entsteht eine Sekundärfarbe, wo sich alle drei überlappen, entsteht

weißes Licht, wo kein Licht hin gelangt, sieht man nichts.

Alle Farben sind innerhalb eines Dreiecks darstellbar – in der Tiefe wird es dunkel. Computermontore und Farbfernseher arbeiten nach diesem Prinzip. Jeder Punkt eines Monitors (Pixel) setzt sich aus drei weiteren kleineren Punkten zusammen, die aus jeweils einer dieser drei Farben bestehen. Leuchtet keines der Pünktchen auf, erscheint kein Licht, es ist dunkel oder Schwarz. Die Punkte überlappen einander nicht, sie stehen nebeneinander. Da sie so winzig sind, ergibt sich die Mischung in unserem Auge.

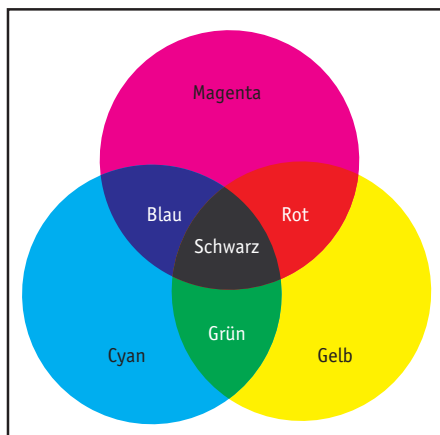


CMY-Modell (subtraktiv)

In diesem Modell werden die Farben Cyan, Magenta und Yellow (Gelb) als Grundfarben benutzt. Sie leiten sich direkt aus dem

RGB-Farbmodell ab: die Sekundärfarben im RGB-Modell werden als Primärfarben im CMY-Modell verwendet.

Gedruckt wird auf einen weißen Untergrund, und es scheint weißes Licht. Die verwendeten Druckfarben sind transparent, sodass durch den Druck zweier Farben übereinander Mischfarben entstehen. In der Grafik links sind die drei Kreisflächen aus Cyan, Magenta und Gelb überlappend übereinander gedruckt. Die entstehenden Sekundärfarben entsprechen den Primärfarben des RGB-Modells.



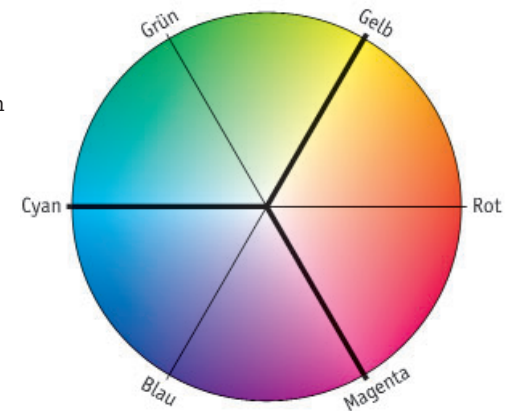
Dort, wo alle Farben einander überlappen, erscheint Schwarz – theoretisch. Tatsächlich entsteht ein fast schwarzes Braun, da es diese theoretischen Farben in der Praxis so rein einfach nicht gibt.

Der Farbkreis

Kombiniert man die beiden Farbmodelle miteinander, kann man den rechts abgebildeten Farbkreis daraus erzeugen. Dabei liegt zwischen je zwei Primärfarben eine Sekundärfarbe, Komplementärfarben liegen einander gegenüber.

Die drei dickeren Achsen liegen auf den Grundfarben des CMY-Modells, die dünneren auf denen des RGB-Modells.

Außen haben die Farben eine Sättigung von 100 %, nach innen werden sie immer heller bis hin zu Weiß.



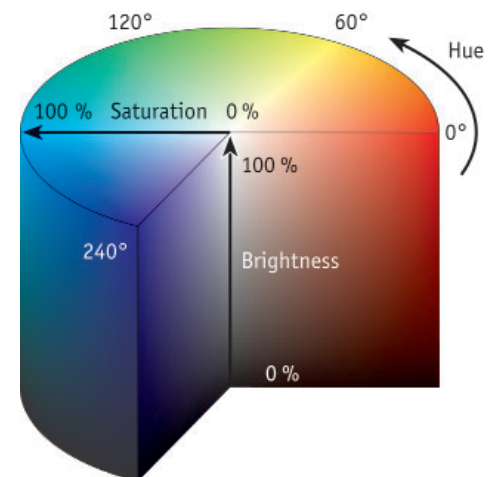
HSB-Farbmodell

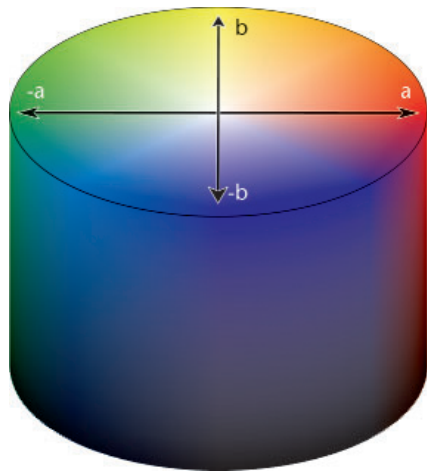
Die Grundlage dieses Modells ist der zuvor beschriebene Farbkreis mit all seinen Mischfarben. Er hat damit *alle Farben* aus dem Spektrum des sichtbaren Lichts. Der Farbkreis ist gewissermaßen der Deckel, unter dem es nach unten immer dunkler wird.

Der Bereich der Farben von 380 bis 780 nm ist in einem Kreis angeordnet. Eine Farbe (Hue) wird nach ihrem Winkel auf dem Farbkreis bestimmt: Rot steht rechts bei 0 Grad. Gegen den Uhrzeigersinn folgen Grün bei 120 und zum Beispiel Blau bei 240 Grad.

Von innen nach außen im Kreis nimmt die Sättigung (Saturation) der Farbe zu; innen ist die Sättigung gleich null, außen gleich 100 % – innen sind die Farben also unbunt.

Über die Helligkeit (Brightness) wird die Leuchtkraft der Farbe beschrieben – liegt sie bei null, ist sie unabhängig von den anderen Werten schwarz, bei hundert Prozent hat sie ihre volle Strahlkraft.





L*a*b*-Farbmodell

Die Grundlage dieses Farbmodells ist die Wahrnehmung des menschlichen Auges. Es beschreibt alle Farben, die der Mensch sehen kann.

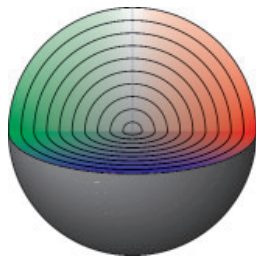
Die zuvor beschriebenen Farbmodelle sind dagegen dafür gemacht, Geräte mit zu ihnen passenden Anweisungen zu versorgen, damit diese ihre Farben ausgeben können.

Als Primärfarben dienen die vier Komplementärfarben Rot-Grün und Blau-Gelb. Hier liegt die Beobachtung zugrunde, dass unsere Wahrnehmung diese Farben gegenseitig ausschließt: eine Farbe kann nicht gleichzeitig rot und grün sein,

ebenso wenig blau und gelb. Daraus ergeben sich zwei Achsen, an deren Ende die jeweiligen Komplementärfarben liegen. Mit dieser Anordnung versucht man, die von uns wahrgenommenen Unterschiede von Farben zueinander zu beschreiben.

Dieses Modell lässt sich ähnlich darstellen wie das vorangegangene beschriebene HSB-Modell. Die Farben werden hier allerdings über die beiden Achsen *a* und *b* definiert von jeweils -128 bis 127, die Helligkeit *L* von 0 – 100% entspricht der Brightness im HSB-Modell: in der Mitte unten Schwarz, oben Weiß.

Da sowohl von den ganz hellen wie den ganz dunklen Tönen nur wenige, von den Mitteltönen dagegen viele vorhanden sind, kann das Farbmodell auch in Form einer Kugel dargestellt werden.



Medienkeil siehe auch S. 37.

Vorteil Lab

Mit den Werten des Lab-Farbmodells lassen sich exakt die Farben beschreiben, die wir Menschen sehen können. Damit ist es möglich, eine ganz bestimmte Farbe, beispielsweise die in einem *Medienkeil* oder eine Sonderfarbe, mit Hilfe von Zahlen zu beschreiben. Deshalb arbeiten Messgeräte zur Farbmessung wie Spektralfotometer auf der Basis dieses Farbmodells.

Auch verschiedene Programme arbeiten intern mit Lab-Farben, da so die tatsächlichen Farben bearbeitet werden und nicht nur die, die beispielsweise ein Monitor darstellen kann.

Nachteil Lab

Die meisten Geräte arbeiten mit RGB- oder CMYK-Farben. Es gibt keine Geräte, die Lab-Farben direkt verwenden können. Deshalb müssen die Lab-Farben übersetzt werden in Befehle, die die jeweiligen Geräte verstehen, also Werte von RGB oder CMYK.

Diese Übersetzung besorgen ICC-Profile, siehe S. 227.

Farbtiefe

Einerseits lassen sich mit dem Lab-Farbmodell alle Farben beschreiben, die wir sehen können, also unendlich viele, auf der anderen Seite müssen sie für den Computer in endlich viele Zahlen kodiert werden. Dabei werden die Farbinformationen in 8 oder 16 Bit je Farbe kodiert, bei manchen Modellen auch in Prozent.

In Computerprogrammen werden Werte zumeist in 8 Bit kodiert, das entspricht 256 unterscheidbaren Größen je Farbe ($2^8 = 256$).

8 Bit entsprechen $2^8 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 256$

16 Bit entsprechen $2^{16} = 65536$

Da Farbbilder aus mehreren Farbinformationen bestehen, RGB beispielsweise aus drei Farben, müssen alle Werte miteinander multipliziert werden, um die maximale Anzahl darstellbarer Farben errechnen zu können:

RGB, 8 Bit = $3 \times 2^8 = 2^{24}$ oder $256 \times 256 \times 256 \approx 16,77$ Mio Farben

RGB, 16 Bit = $3 \times 2^{16} = 2^{48}$ oder $65536 \times 65536 \times 65536 = 281$ Mrd

Bei L*a*b* und HSB sind es nur $256 \times 256 \times 100 \approx 6,5$ Mio Farben, da die L- und B-Information nur in 1-Prozentstufen aufgelöst ist.

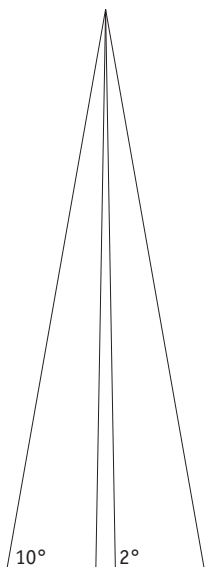
Für eine Bildbearbeitung mit feinsten Nuancen können 16 Bit die bessere Wahl sein als die Standard-8-Bit.

Andererseits hat CMYK 4 Kanäle und damit rechnerisch eine noch größere Farbtiefe.

CMYK, 8 Bit = $4 \times 2^8 = 2^{32}$ oder $256 \times 256 \times 256 \times 256$

= 430 Mio Farben und bei 16 Bit noch viel mehr.

Allerdings lassen sich mit gedruckten Farben auf Papier wesentlich weniger Farben reproduzieren – und je matter das Papier, desto weniger sind es. Eine Rechnung hilft hier nicht weiter.



Mit diesem Versuchsaufbau lassen sich die reinen spektralen Farben (Regenbogen) nicht erzeugen – siehe Grafik ganz rechts.

Zapfen siehe auch S. 24.

Die drei Zapfentypen sind
L = (rotempfindlich)
M = (grünempfindlich) und
S = (blauempfindlich)

CIE

Um einheitliche Standards entwickeln zu können, wurde Anfang des letzten Jahrhunderts die Internationale Beleuchtungskommission oder auch französisch *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) gegründet. Unter ihrem Dach haben sich Wissenschaftler zusammengefunden, die ihre Erfahrungen bezüglich der Farbwissenschaften ausgetauscht haben. Das Ziel war einheitliche Standards festzulegen, mit denen Hersteller und Anwender von farbrelevanten Produkten Farben beschreiben konnten.

1931

Mit drei in der Helligkeit regulierbaren Lampen, die jeweils einen roten, einen grünen und einen blauen Lichtkegel warfen, sollten Versuchspersonen vorgegebene Farben nachmischen. Die eingestellte Helligkeit der einzelnen Lampen wurde notiert. Es stellte sich heraus, dass über 90% der Versuchspersonen gleiche Einstellungen für gleiche Farben benutzten und damit also gleiche Farben gleich sahen. Diese 90% werden als Standardbeobachter bezeichnet.

Standardbeobachter

Die zu beurteilende Fläche im oben beschriebenen Versuch machte 2 Grad des Sichtfeldes aus. Aufgrund der unterschiedlichen Häufigkeit der Zapfen in unserer Netzhaut empfinden wir dieselbe Farbe leicht unterschiedlich, je nachdem wie groß die betrachtete Farbfläche ist. Danach wurde der 2°-Standardbeobachter definiert. Dabei wird die stärkste Konzentration an Zapfen in der Netzhaut (Punkt des schärfsten Sehens) beleuchtet.

Daneben gibt es auch den 10°-Standardbeobachter, der eine entsprechend größere Farbfläche betrachtet und dieselben Farben ganz leicht anders wahrnimmt – siehe oben links.

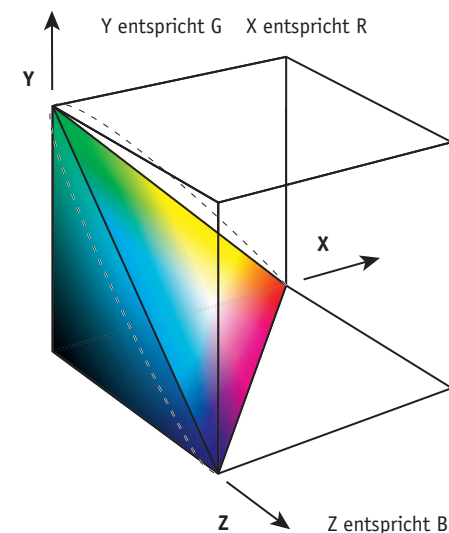
XYZ-Farbmodell

Aus den oben beschriebenen Beobachtungen wurde dieses Modell abgeleitet. Es bezieht sich auf die drei Zapfentypen in unserem Auge: diejenigen empfindlich für kurzwellige (short wave = S-Typen), für mittellange (medium wave = M-Typen) und lang-

wellige Strahlung (long wave = L-Typen). Deren aus dem Versuch abgeleitete Reizung durch Licht wird in XYZ-Werten beschrieben. In der Grafik rechts ist eine räumliche Darstellung abgebildet. Die drei Achsen XYZ treffen sich in einem Punkt – dort ist es schwarz.

Verbindet man die drei Farben in diesem Modell miteinander, ergibt sich ein Dreieck. Innerhalb dieses Dreiecks lassen sich allerdings nicht die ganz reinen Spektralfarben (Regenbogen) darstellen. Das klappt mit nur drei Grundfarben einfach nicht. Spektralfarben sind stärker gesättigt und damit etwas außerhalb des Dreiecks. An zwei Seiten bläht sich dadurch die Form über das Dreieck hinaus auf – es entsteht eine hufeisen- oder schuhsohlenähnliche Form, dargestellt durch die gestrichelte Linie.

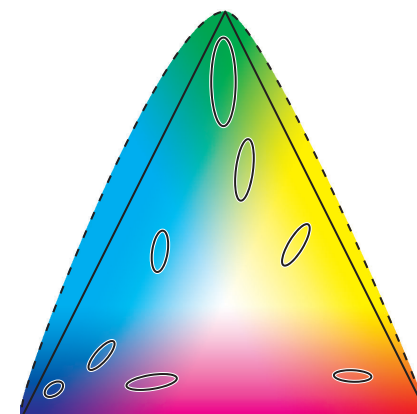
Stellt man das Dreieck aufrecht und betrachtet es von vorn, sieht es aus wie darunter abgebildet, die stark gesättigten Farben sind hier nun auch enthalten.



Farbabstände

Zwar lassen sich mit diesem Modell alle Farben beschreiben, aber wie unterschiedlich wir einzelne Farben wahrnehmen, entspricht nicht den Abständen im Modell. Besonders im grünen Bereich nehmen wir nicht so feine Unterschiede wahr wie beispielsweise im blauen. In der Grafik rechts ist das mit Hilfe von Ellipsen dargestellt: von der Mitte bis zum Rand erkennen wir einen Farbunterschied zur nächsten Farbe. Der Deutlichkeit halber sind die Ellipsen sehr stark vergrößert dargestellt.

Darüber hinaus lässt sich die Helligkeit nicht über einen einzelnen Wert beschreiben, was sehr unpraktisch ist. Deshalb hat man die Schuhsohle gekippt, verzerrt und in ein Koordinatenkreuz eingepasst – siehe L*a*b*-Farbraum auf der übernächsten Seite.



Siehe auch MacAdam-Ellipse:
<http://de.wikipedia.org/wiki/MacAdam-Ellipse>