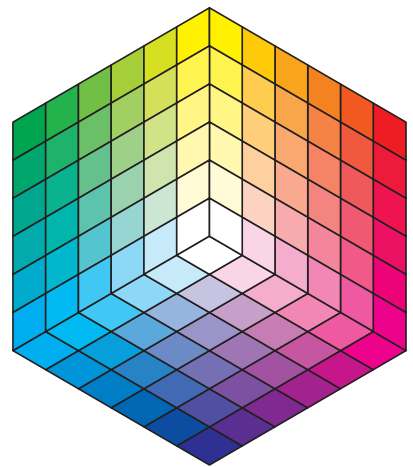
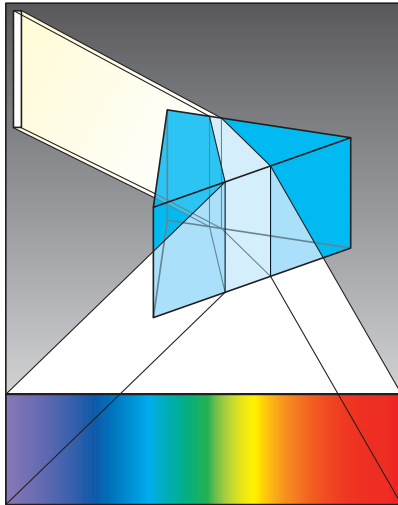


Farbtheorie idealer Farben

Die Bezeichnung Colormanagement enthält die Worte Farbe und Management. Wer als Manager nicht genau weiß, warum er etwas tut, muss ständig mit unangenehmen Überraschungen rechnen. Auch um Colormanagement zu betreiben, ist daher ein Basiswissen über Farbwahrnehmung und Farbmischung unabdingbar. Für einen leichteren Einstieg basiert dieses Kapitel auf idealen Farben, die so in der Praxis nicht vorkommen. Die grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten der Farbenlehre gewinnen dadurch aber deutlich an Kontur.



Das Spektrum und das Auge

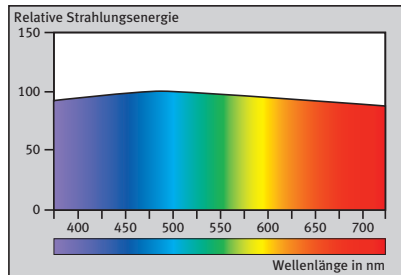


Lichtbrechung durch ein Prisma

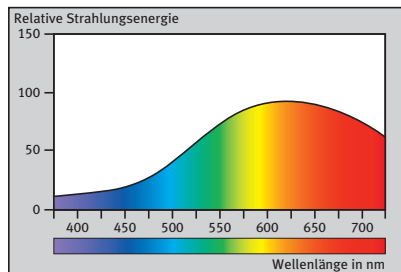
Ohne Licht sehen wir nichts. Diese einfache Wahrheit stellt sich bei näherem Hinsehen als wesentlich komplexer heraus. Denn Licht ist nicht gleich Licht. In der Umgangssprache sagt man, es gibt kaltes und warmes Licht. Der Fotograf unterscheidet zwischen Tageslicht und Kunstlicht. In der Reprografie gibt es zum Abmystern von Vorlagen, Andrucken und Fortdrucken das Normlicht. Da Licht die Grundvoraussetzung für die Wahrnehmung von Farbe darstellt, beginnt auch dieses Buch mit dem Licht.

Licht zählt zu den elektromagnetischen Wellen und befindet sich damit in der Gesellschaft der Strahlung von Radio- und Fernsehsendern oder Röntengeräten.

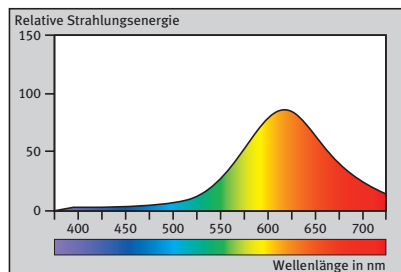
Ähnlich dem Radio, das die Rundfunkfrequenzen in hörbare Töne umsetzt, wandeln Auge und Gehirn die empfangenen Lichtstrahlen in farbige Bilder um. Jede elektromagnetische Strahlung lässt sich anhand ihrer Wellenlänge beschreiben. Die vom Menschen als Farben wahrgenommene Strahlung hat eine Wellenlänge von 380 bis 780 Nanometer.



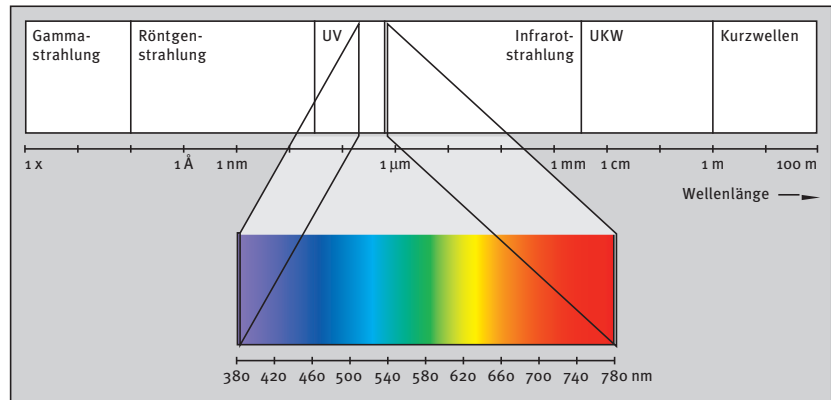
Spektrum des Tageslichts



Spektrum einer Glühlampe



Spektrum einer roten Ampel



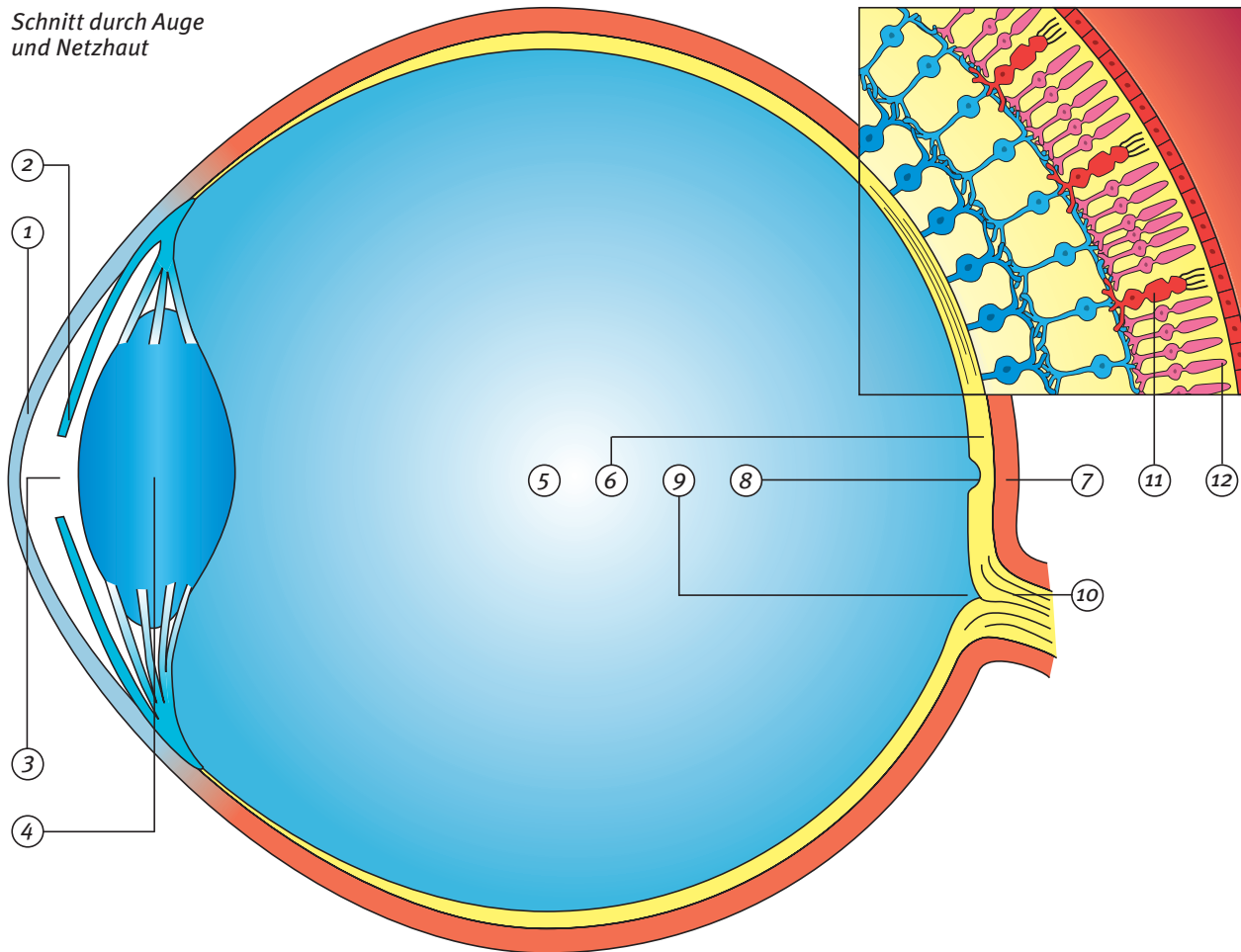
Der Bereich des sichtbaren Lichts in der Skala der elektromagnetischen Wellen

Normales Tages- oder Kunstlicht stellt immer ein Gemisch aus allen Wellenlängen dar. Bricht man dieses Licht durch ein Prisma, so sieht man statt des weißen Lichtes die Farben des Regenbogens. Das Gemisch der Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen ist jetzt wohlgeordnet. Jede Wellenlänge hat ihre spezifische Farbe. Bei 380 nm geht es mit Violett los, dann über Blau, Cyan, Grün und Gelb zu Rot bei 780 nm.

Im Licht ist das ganze Spektrum aller Farben also schon vorhanden. Die Bezeichnung warmes oder kaltes Licht bzw. Tages- oder Kunstlicht gibt an, wie stark die einzelnen Wellenlängen im Licht enthalten sind.

Um eine Lichtart zu charakterisieren, zeichnet man Anteile der einzelnen Wellenlängen in einem Diagramm auf. Dieses Diagramm wird Spektrum genannt. Sonnenlicht hat z. B. ein ausgewogenes Spektrum, dort sind alle Wellenlängen gleichmäßig vertreten. Beim Licht einer Glühlampe überwiegen die roten Bereiche im Spektrum. Daher wirkt dieses Licht auch wärmer. Bei farbigem Licht fehlen Teile des Spektrums. Beim roten Licht der Ampel fehlt der Anteil von Violett bis ins Gelb. Unsere Farbwahrnehmung hängt also eng mit den Spektren zusammen.

Schnitt durch Auge und Netzhaut



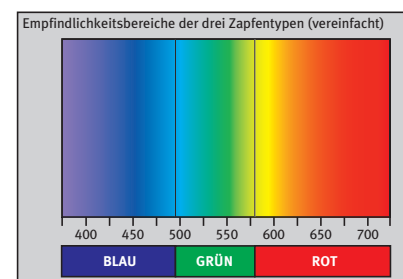
- 1 Hornhaut
- 2 Iris
- 3 Pupille
- 4 Linse
- 5 Glaskörper

- 6 Netzhaut
- 7 Lederhaut
- 8 Punkt des schärfsten Sehens
- 9 Blinder Fleck (Sehnervaustritt)
- 10 Sehnerv

- 11 Zapfen
- 12 Stäbchen

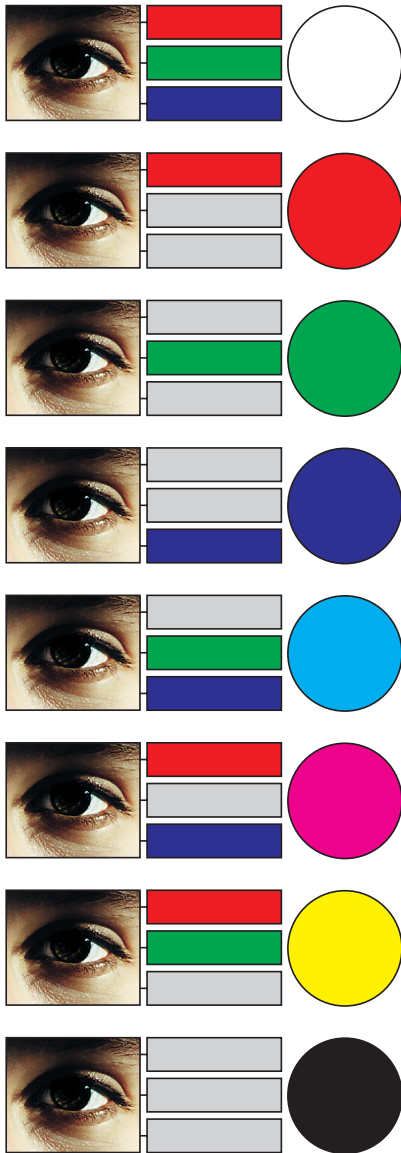
In der Netzhaut des Auges befinden sich die Rezeptoren, die das einfallende Licht in Nervenimpulse umsetzen. Man unterscheidet zwischen Zapfen und Stäbchen, wobei die lichtempfindlicheren Stäbchen „farbenblind“ und allein die Zapfen für die Farbwahrnehmung zuständig sind. Es gibt drei unterschiedliche Zapfentypen. Jeder ist für einen Bereich im Spektrum besonders empfindlich.

Jedem Zapfentyp wird eine Grund- oder Urfarbe zugeordnet, die wir mit Rot, Grün und Blau bezeichnen. Beim farbigen Sehen wird die Verteilung der verschiedenen Wellenlängen im Spektrum auf die drei großen Bereiche Rot, Grün und Blau reduziert. Aus der Mischung dieser Urfarben entsteht im Gehirn der Farbeindruck.



Drei Typen von Zapfen sind für unterschiedliche Bereiche des Spektrums empfindlich.

Ideale Farben und ideale Zapfen



Das hier und auf den folgenden Seiten gezeigte Modell der Farbwahrnehmung arbeitet mit idealen Zapfen und ergibt ideale Farben, die so in der Praxis nicht vorkommen. Die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Farbwahrnehmung werden dadurch aber deutlicher herausgearbeitet. Praxisorientierte Modelle folgen später.

Die drei Zapfenarten sammeln für ihren jeweiligen Wellenbereich die Lichtenergie des vom Auge aufgenommenen Spektrums. Werden dabei jeweils ein oder zwei Zapfen maximal gereizt, während die anderen Zapfen keine Lichtenergie abbekommen, entstehen die acht maximalen Farbeindrücke der Grundfarben. Bei Weiß werden alle, bei Schwarz kein Zapfen gereizt. Bei Rot, Grün und Blau jeweils einer und bei Cyan, Magenta und Gelb je zwei Zapfen (siehe Abbildung links).

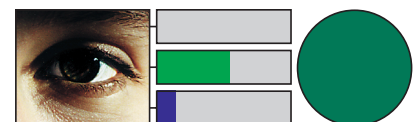
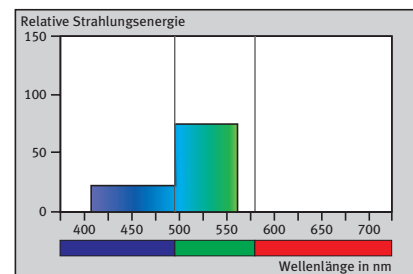
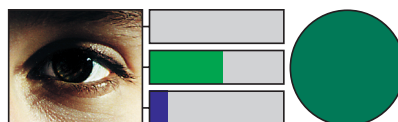
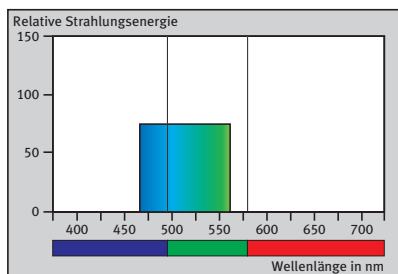
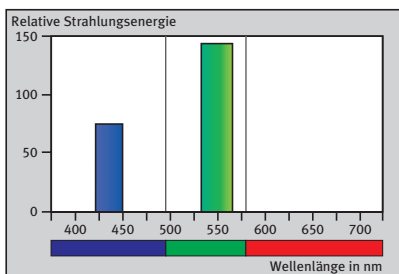
Da die Zapfen die Energie jeweils für einen breiten Bereich des Spektrums sammeln, kann es verschiedene Spektren geben, die den gleichen Farbeindruck hervorrufen. Für den Zapfen spielt es keine Rolle, ob er einen schmalen Ausschnitt des Spektrums mit hoher maximaler Energie aufnimmt oder einen breiteren mit niedrigerer Maximalenergie. Wenn die Summe der Lichtquanten identisch ist, meldet der Zapfen den gleichen Energie-Input an das Gehirn weiter (Abbildung unten).

Die für die Unterscheidung von Farben benutzten Begriffe Farbart, Helligkeit und Sättigung lassen sich auch im Spektrum wiederfinden (Abbildungen rechts).

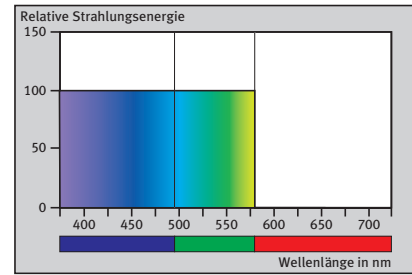
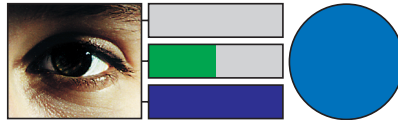
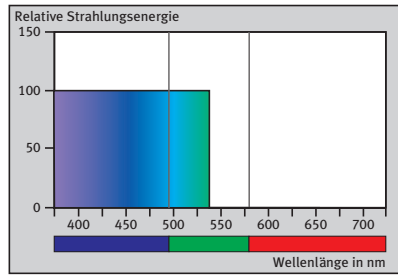
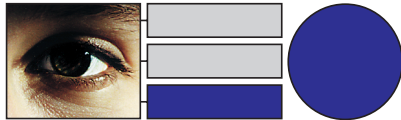
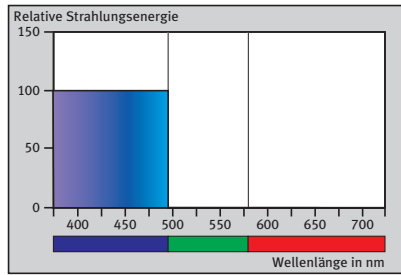
Die *Farbart* wird durch Übergänge zwischen den Grundfarben charakterisiert. Die *Sättigung* ergibt sich aus dem Abstand des am stärksten gereizten Rezeptors zu dem des am wenigsten gereizten. Die Abbildung auf der nächsten Seite unten zeigt die Varianten Grau, ungesättigtes Gelb und reines Gelb mit jeweils der gleichen Helligkeit.

Helligkeit ist ein Maß für die Stärke der Gesamtenergie, die von allen Zapfen umgesetzt wird. Bei gleicher Farbart und Sättigung bleiben die absoluten Abstände der Reizung der Zapfen erhalten. Ein dunkles Grün entsteht, wenn der Grünrezeptor nur zum Teil gereizt wird. Hellere Grüntöne gleicher Sättigung ergeben sich, wenn alle drei Zapfen gleichmäßig mehr Energie absorbieren.

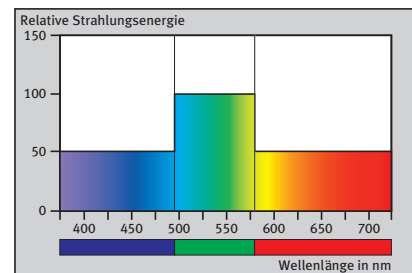
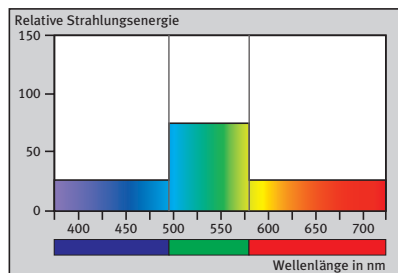
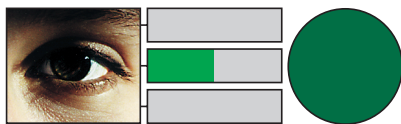
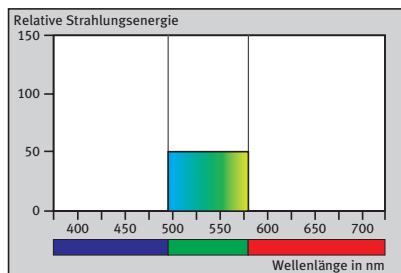
Unterschiedliche Spektren können im Auge denselben Farbeindruck hervorrufen.



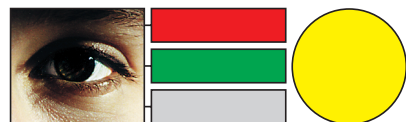
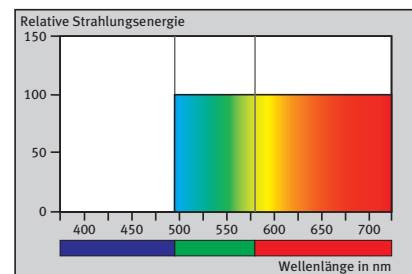
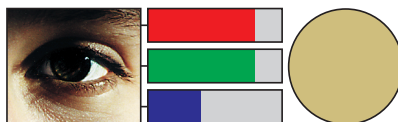
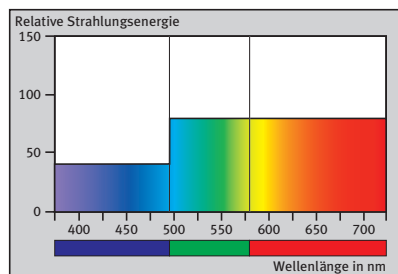
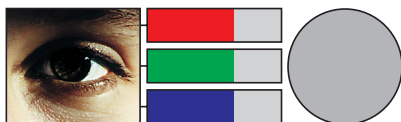
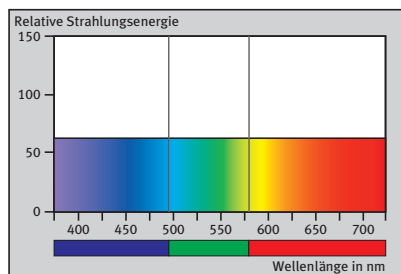
Unterschiedliche Farbart



Unterschiedliche Helligkeit



Unterschiedliche Sättigung



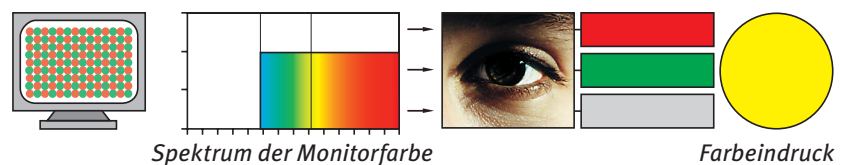
Additive und subtraktive Farbmischung idealer Farben

Ausgehend von den Zapfen gibt es zwei grundlegende Farbmischformen: die additive und die subtraktive Farbmischung.

Die *additive* Mischung funktioniert mit drei farbigen Lichtquellen, die jeweils auf eine Zapfenart abgestimmt sind. Je nach Mischungsverhältnis der drei Lichtquellen lassen sich so alle Farben mischen.

Beispiele für die additive Farbmischung sind der Computermonitor und der Farbfernseher. Bei beiden Verfahren besteht ein Grundelement auf dem Bildschirm aus drei Leuchtpunkten in den Farben Rot, Grün und Blau. Je nach Intensität des Elektronenstrahls der Bildröhre werden diese drei Leuchtpunkte unterschiedlich stark angeregt. Dadurch kann das Grundelement (Bildschirmpixel) auf dem Bildschirm jede Farbe annehmen. Alle Bildschirmpixel zusammen ergeben dann das endgültige Bild.

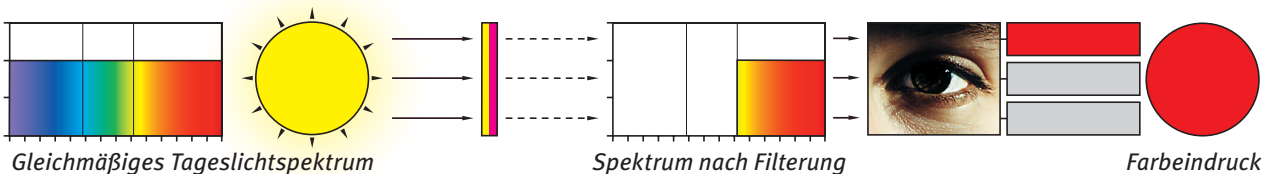
Additive Mischung bei selbstleuchtenden Körpern (z. B. Monitoren)



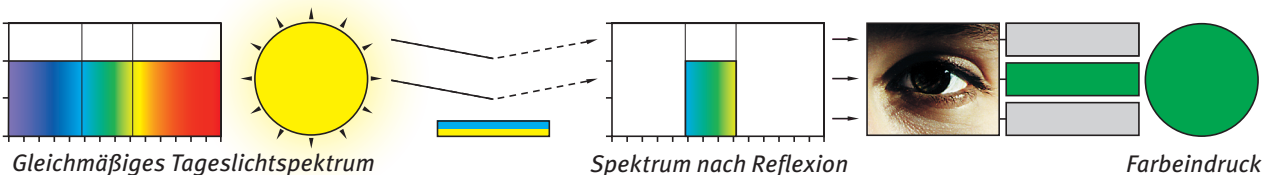
Umgekehrt funktioniert die *subtraktive* Farbmischung. Weißes Licht strahlt durch verschiedene Filter hindurch, die jeweils einen Teil des Spektrums herausfiltern. Jeder Filter kann den spektralen Bereich für eine Zapfenart ausfiltern. Ein cyanfarbener Filter lässt nur die Wellenlängen von Blau bis Grün durch. Die Zapfen für Rot bekommen kein Licht.

Ein Beispiel für die subtraktive Farbmischung ist das Farbdia. Es besteht aus drei Filterschichten mit den Farben Cyan, Magenta und Gelb, die im Zusammenspiel ebenfalls alle Farben erzeugen können.

Subtraktive Mischung bei transparenten Körpern (z. B. Diapositiven)

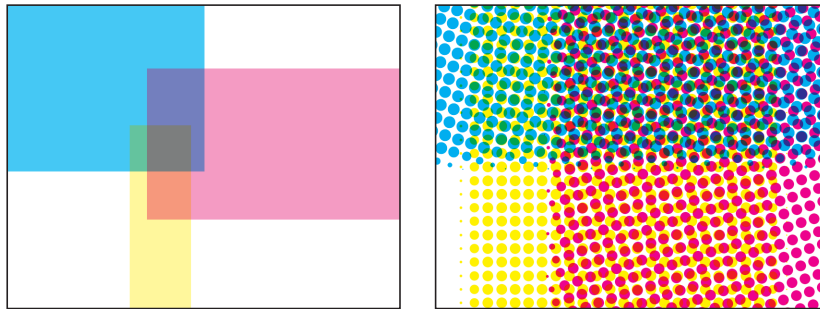


Subtraktive Mischung bei reflektierenden Körpern (z. B. Drucken)



Die Farbmischung im Offsetdruck

Vereinfacht betrachtet funktioniert auch der Offsetdruck nach dem subtraktiven Prinzip. Anders als beim Dia können die Farbfilter aber nicht direkt in ihrer Intensität verändert werden. Eine Offsetmaschine kann an verschiedenen Stellen die Farbe nicht dick oder dünn auftragen. Daher findet die Veränderung der Filter über ein Raster statt. Bei einem Raster von 100 % Flächendeckung wirkt die Druckfarbe als maximaler Filter. Bei einem Raster mit 50 % Flächendeckung ist die Filterwirkung entsprechend geringer.



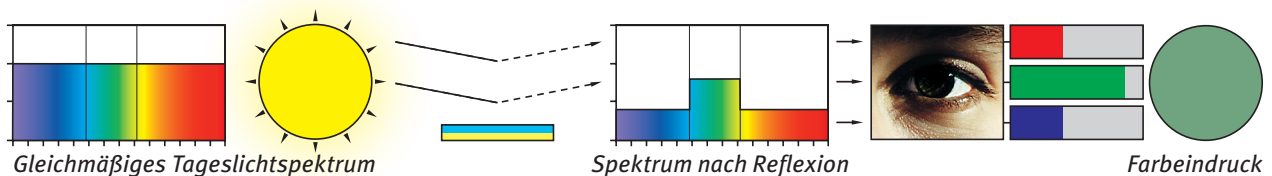
Farbmischung im Offsetdruck: links ein feines Raster, wie es bei qualitativ hochwertigen Vierfarbproduktionen verwendet wird, rechts ein vergrößerter Ausschnitt.

Der Einfluss der Beleuchtung bei der subtraktiven Mischung

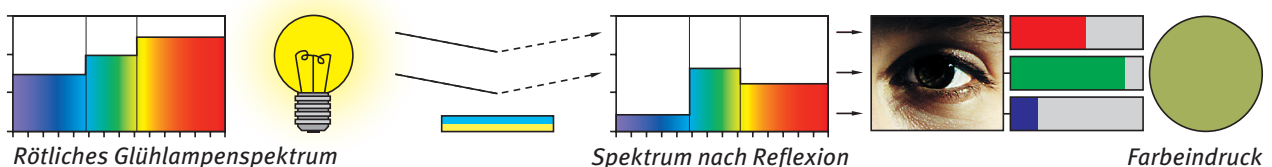
Der in subtraktiver Mischung entstehende Farbreiz wird stark von der Beleuchtung beeinflusst. Sind im Spektrum der Beleuchtung mehr Rotanteile vorhanden, so hat auch die Farbe nach dem Durchlaufen der Filter einen höheren Rotanteil. Bei Licht mit mehr Blauanteilen im Spektrum entsteht daher ein bläulicherer Farbeindruck.

Im Druck und in der Druckvorstufe werden daher farbkritische Arbeiten wie das Abmustern von Vorlagen, Proofs und Andrucken unter standardisierten Beleuchtungsbedingungen vorgenommen.

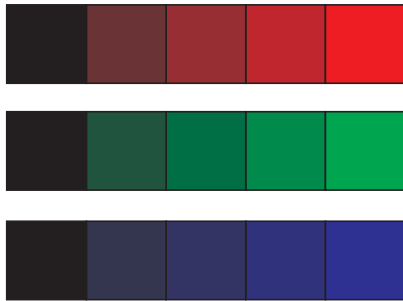
Betrachtung eines reflektierenden Körpers bei Tageslicht



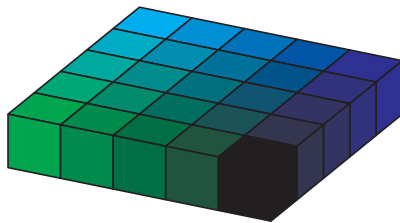
Betrachtung desselben Körpers bei Lampenlicht



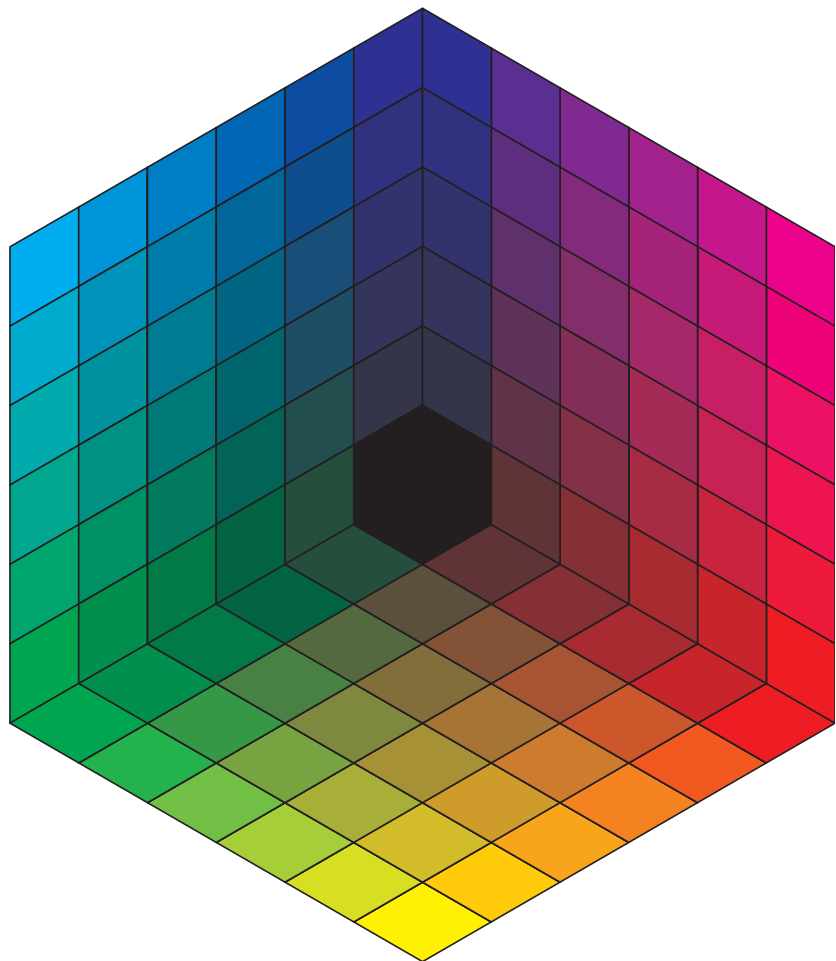
Additive und subtraktive Farbmischung im Farbwürfel



Die additiven Grundfarben entwickeln sich von Schwarz.



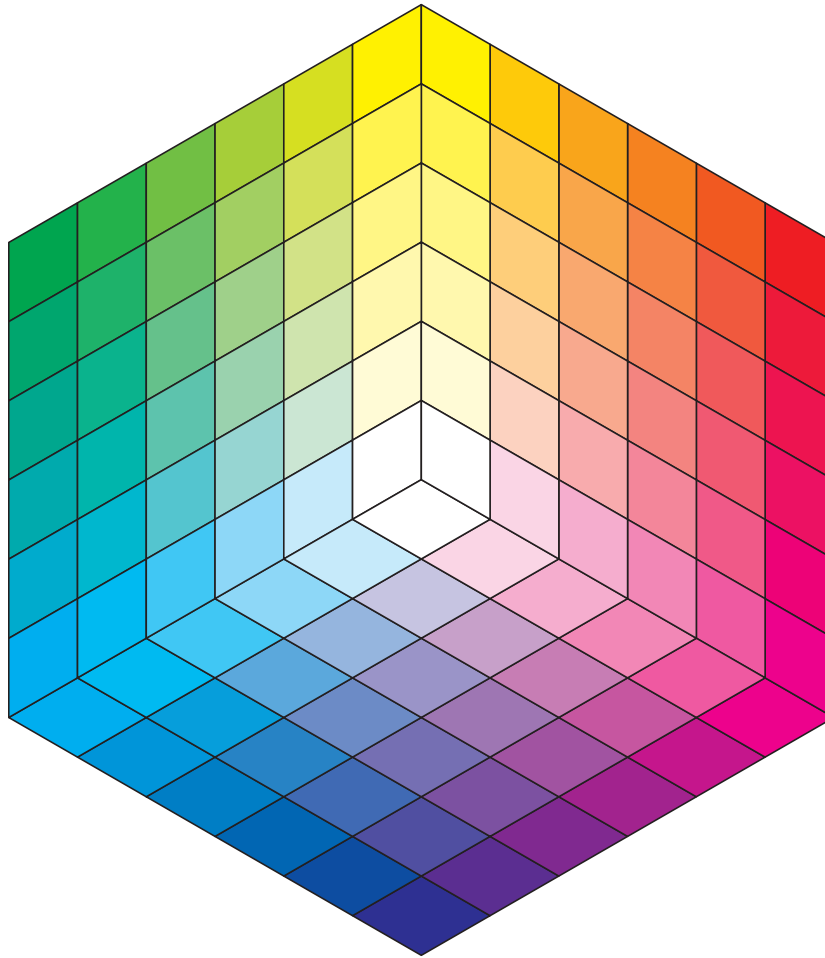
Die additive Mischung zweier Grundfarben ergibt eine Fläche.



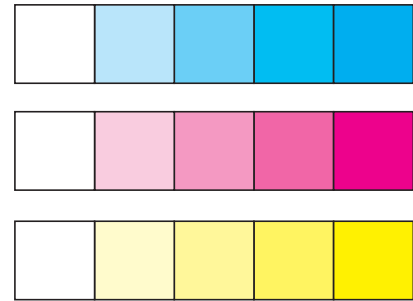
Die additive Mischung dreier Farben ergibt einen Würfel, der mit Schwarz beginnt.

Die Darstellung der additiven Farbmischung im Würfelmodell

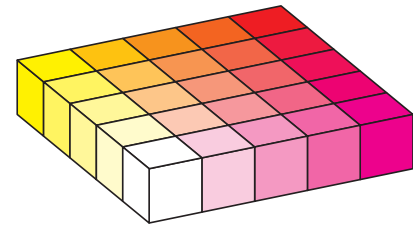
Als Modell für die räumliche Darstellung der additiven und der subtraktiven Farbmischung eignet sich besonders der Würfel. Bei der additiven Mischung von Rot, Grün und Blau steht für jede Zapfenart eine Linie, die bei Schwarz anfängt und bis zur maximalen Farbe der Zapfenart reicht. Um alle Farben darzustellen, die durch die Reizung zweier Zapfenarten möglich sind, spannen beide Linien im Winkel von 90 Grad eine Fläche bei Schwarz beginnend auf. Jeder Punkt auf der Fläche lässt sich durch den Anteil der beiden Grundfarben darstellen. Die gegenüberliegende Ecke von Schwarz stellt jeweils die Mischfarbe zweier Grundfarben dar (Cyan, Magenta und Gelb). Fügt man die dritte Grundfarbe im Winkel von 90 Grad zu den anderen beiden hinzu, fügen sich die drei Flächen zum Würfel. Jeder Punkt im Würfel ist durch die Anteile der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau darstellbar. Bei maximaler Intensität der drei Grundfarben ergänzen sich diese zu Weiß, und der Würfel ist geschlossen.



Bei der subtraktiven Mischung dreier Farben beginnt der Würfel mit Weiß.



Die subtraktiven Grundfarben entwickeln sich von Weiß.

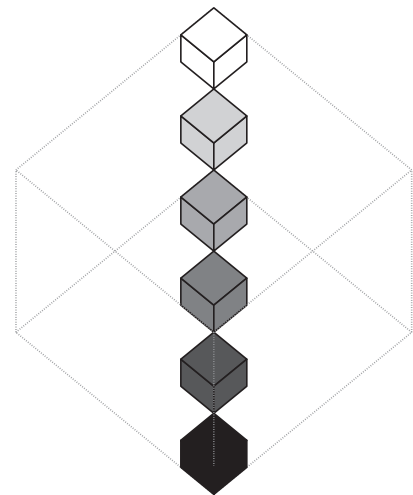


Die subtraktive Mischung zweier Grundfarben ergibt ebenfalls eine Fläche.

Die Darstellung der subtraktiven Farbmischung im Würfelmodell

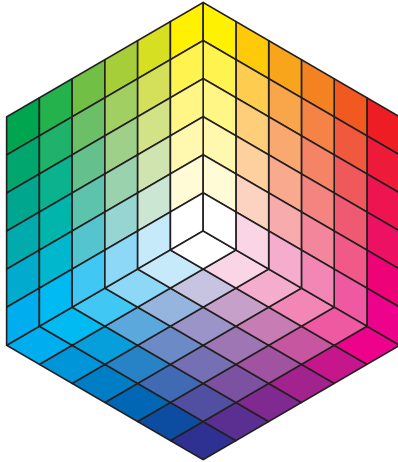
Die subtraktive Farbmischung ist die Umkehrung der additiven Farbmischung. Ausgehend von Weiß werden mit den Filtern Cyan, Magenta und Gelb einzelne Bereiche aus dem Spektrum herausgefiltert. Der Einfluss zweier Filter lässt sich auf einer Fläche darstellen. Wirken zwei Filter maximal zusammen, ergeben sich die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Wirken alle drei Filter zusammen, so wird das weiße Licht komplett absorbiert und Schwarz bleibt übrig.

Innerhalb des Würfels gibt es eine Verbindungslinie von Schwarz nach Weiß. Hier liegen die Grautöne. Diese Verbindungsachse wird daher auch Grauachse genannt.



Die Grauachse im Würfel

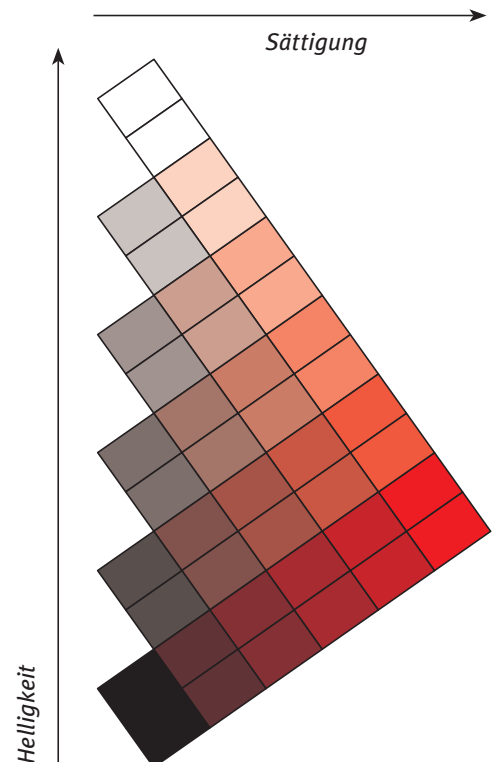
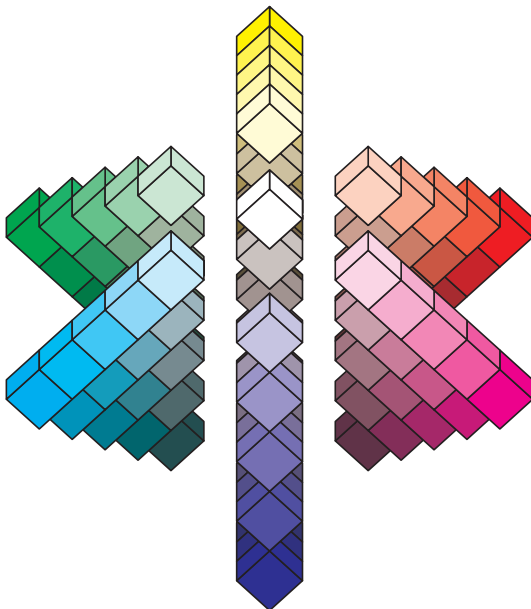
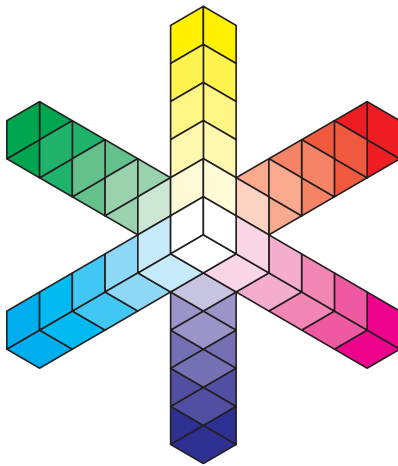
Die Farbarten im Würfel

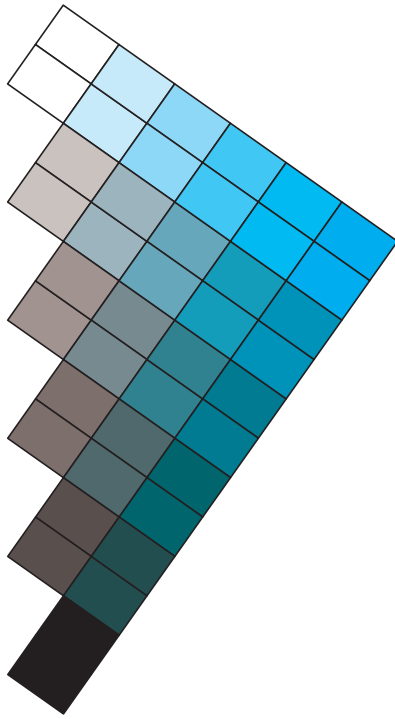


Schaut man von oben auf den Würfel, so entwickeln sich vom Weißpunkt zu den Eckfarben die Farbarten. Zwischen der Grauachse und der am meisten gesättigten Eckfarbe bilden die Farbarten Dreiecke.

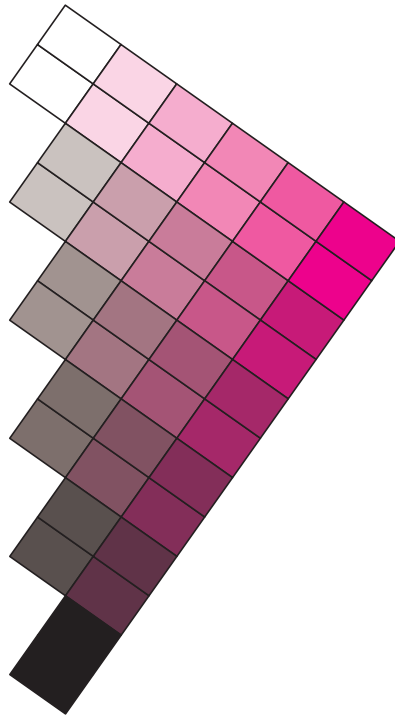
Für die Darstellung einer einzelnen Farbart ist es üblich, die Grauachse links einzuzeichnen und nach rechts die Entwicklung zur gesättigten Eckfarbe aufzuzeigen. Im so entstandenen Farbdreieck einer Farbart gibt die Höhe einer einzelnen Farbe ihre Helligkeit und die Entfernung von der Grauachse ihre Sättigung an.

Die Darstellungen in der linken Spalte zeigen noch einmal die Schritte, die zu den Farbdreiecken einer Farbart führen. Diese sind auf der rechten Seite abgebildet.

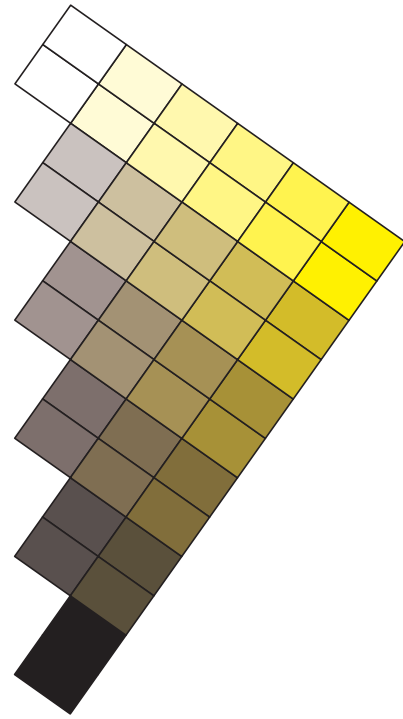




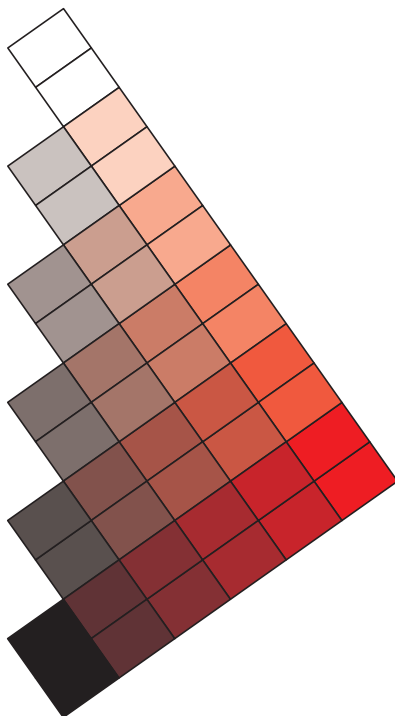
Cyan



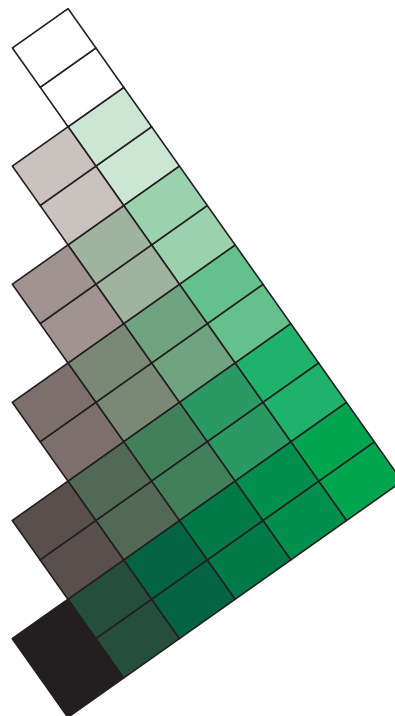
Magenta



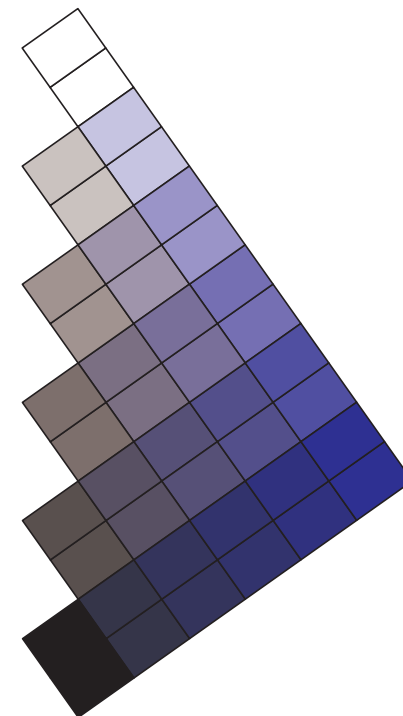
Gelb



Rot

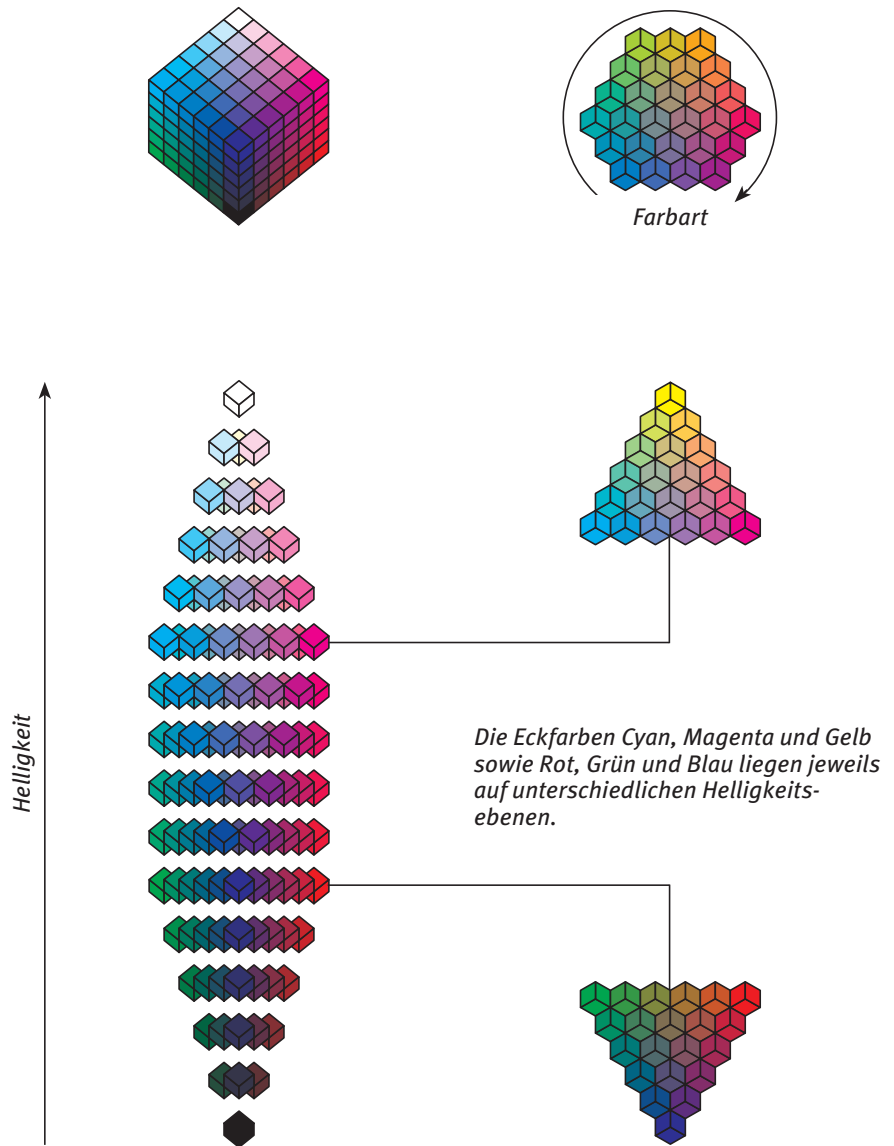


Grün



Blau

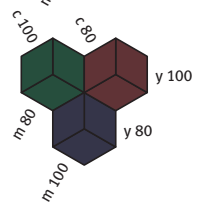
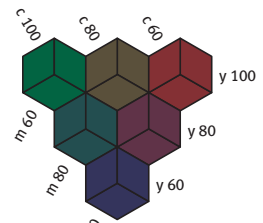
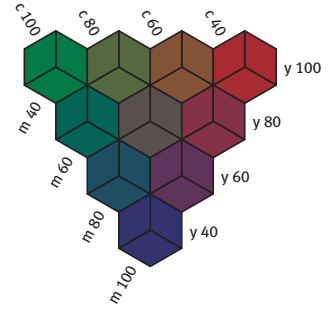
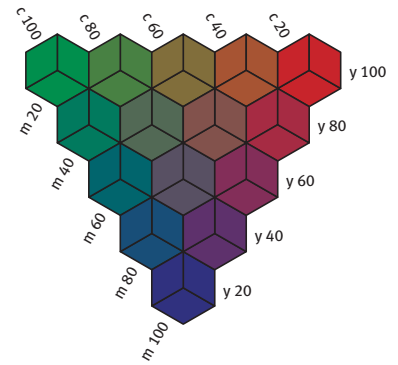
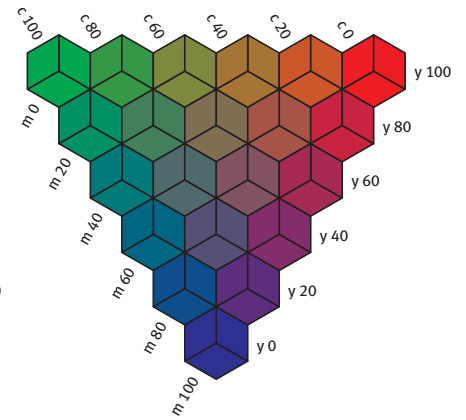
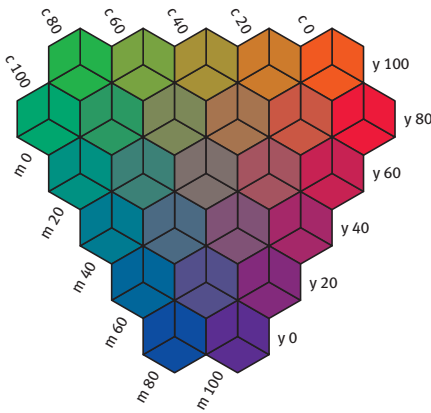
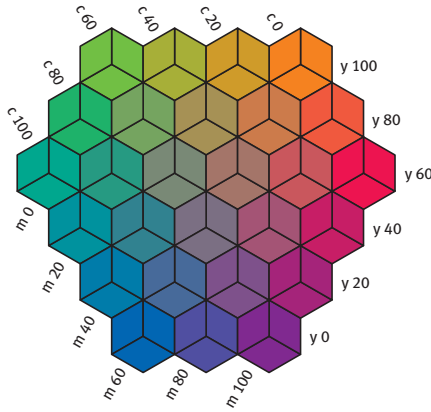
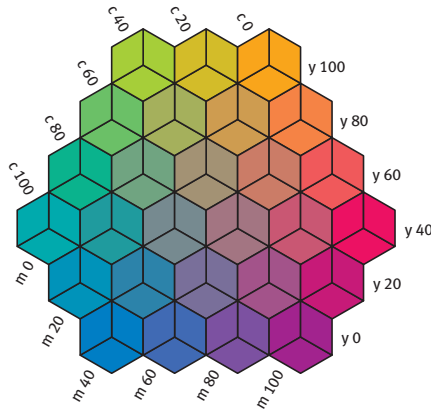
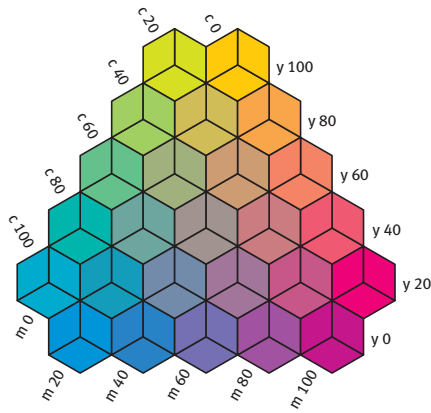
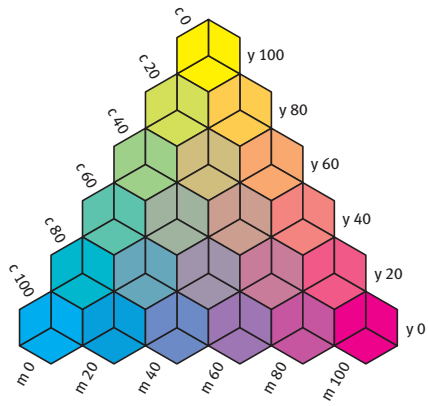
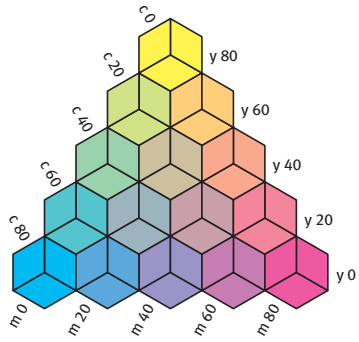
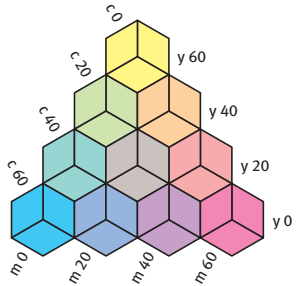
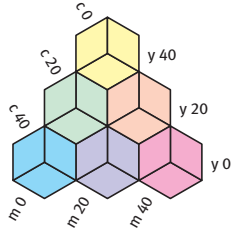
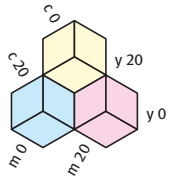
Die Ebenen gleicher Helligkeit im Würfel



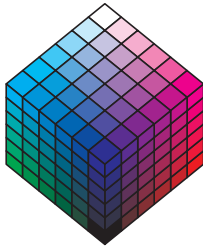
Von der Seite betrachtet, lässt sich der Würfel in Ebenen gleicher Helligkeit unterteilen. Auf einer Ebene nimmt die Sättigung von innen nach außen zu und lässt sich durch die Entfernung von der Grauachse beschreiben.

Von oben betrachtet, ändert sich die Farbart kreisförmig um die Grauachse.

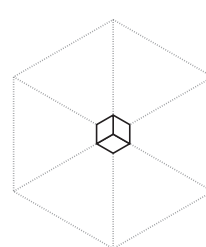
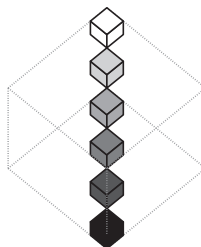
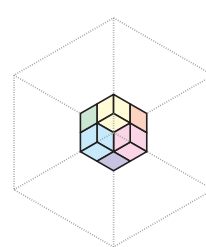
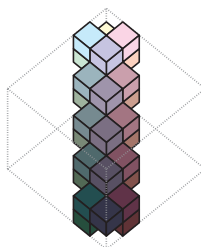
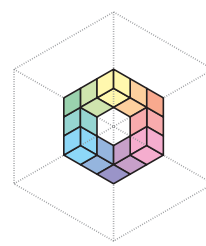
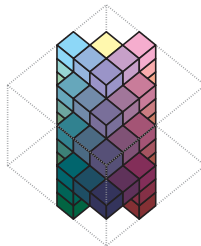
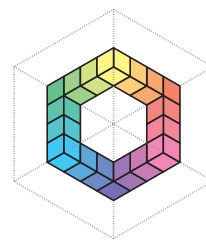
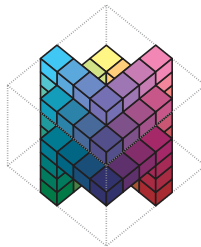
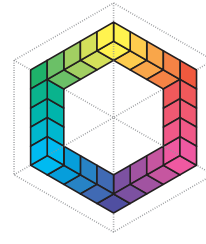
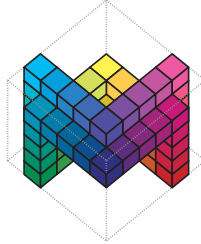
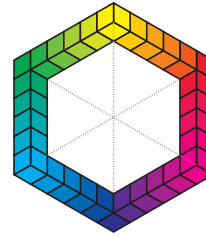
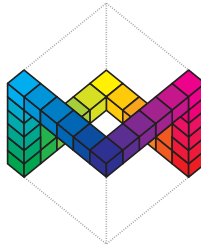
In der Abbildung auf der rechten Seite sind die Farben zur genauen Bestimmung in ihrer prozentualen Zusammensetzung dargestellt. Die seitlich angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf die ganze Reihe in Schriftrichtung. Der Cyananteil der Farben (c) nimmt nach links unten hin zu, der Magentaanteil (m) wächst nach rechts unten. Die Werte für Gelb (y) steigern sich nach oben hin.



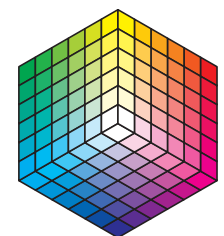
Die Bereiche gleicher Sättigung im Würfel

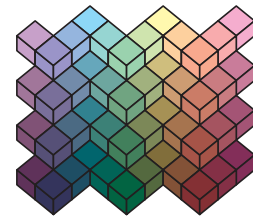
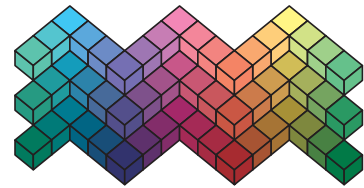
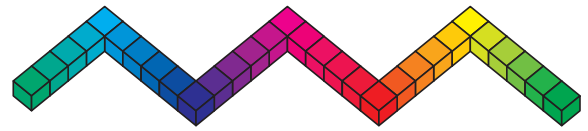
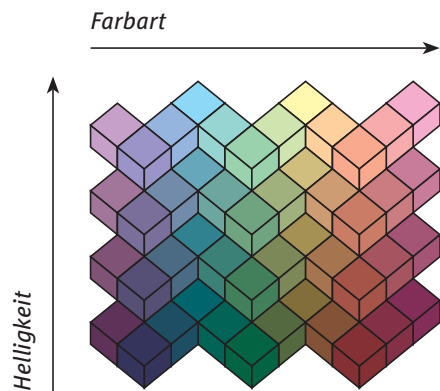


Die Bereiche gleicher Sättigung in der Seitenansicht ...



... und in der Draufsicht





Die Farben gleicher Sättigung zeichnen sich durch einen gleichen Abstand zur Grauachse aus, d. h., sie bilden Röhren um die Grauachse, wie Jahresringe eines Baums. Ganz außen bleibt nur ein Ring der am meisten gesättigten Farben übrig.

Wickelt man die einzelnen Röhren gleicher Sättigung zu einer Fläche ab, so zeigt diese Fläche alle gleich gesättigten Farben im Würfel.

Die Helligkeit steigert sich von unten nach oben, die Farbart ändert sich von links nach rechts.



Digitales Colormanagement

Grundlagen und Strategien zur Druckproduktion mit
ICC-Profilen, der ISO 12647-2 und PDF/X-1a

Homann, J.-P.

2007, VIII, 196 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-20969-0