



Farben als Bits und Bytes 2

- Farbräume und anderes

von Adrian Ahlhaus, 24.02.2007

Zusammenfassung: Für die digitale Technik müssen Farben messbar sein. Die unterschiedlichen Farbmodelle und Farbräume sind aus praktischen Erwägungen entstanden. Zwischen ihnen die Daten zu übersetzen, zu konvertieren, ist immer ein Versuch der Annäherung. Dabei bleiben jedoch üblicherweise die additiven Farben von Kamera und Monitor getrennt von den subtraktiven Farben der Drucktechnik.

Schon die Monitore müssen für verschiedene Betriebssystem anders eingestellt werden, um die selben Bilder vergleichbar darzustellen.

Für den Druck sind unterschiedliche Farbräume in Gebrauch, die nach der Notwendigkeit auszuwählen sind.

Der „CIE Lab“ vereinheitlicht schließlich eine geräteunabhängige Beschreibung, die in der Praxis als „eciRGB“ die übliche Konvertierung zwischen den Geräten vereinfacht.

Noch vor der Entwicklung der Drucktechnik in Farbe, den ersten Farbfilmen und vor den ersten Fernsehbildern in Farbe brauchte man eine technisch nutzbare Beschreibung von Farben.

Die Wissenschaft entwickelte Farbmodelle und stellte diese in Farbräumen dar. Aus dieser Zeit, den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts, stammen heute noch genutzte Farbmodelle, allein, weil diese so anschaulich sind (siehe meine erste Grafik).

Wissenschaftliche und unwissenschaftliche Gedanken und Erkenntnisse, das Bewusstsein erhellende Farbtheorien gab es schon zuvor. Newton, Goethe und Johannes Itten, sowie viele andere seit der Antike nahmen sich das Phänomen der Farben an.

Bis in die Moderne ging es dabei um eine Theorie zur Farbe (Newton) oder um das farbigen Sehen des Menschen (Goethe) oder, wie auch heute, um eine anwendungsorientierte Theorie (Itten).

Mit diesem Text zu den technischen Grundlagen der digitalen Photographie wird die Komplexität auf eine pragmatische Frage nach der Bedeutung in der heutigen Praxis reduziert, und das vereinfacht die Darstellung der farbtheoretischen Grundlagen auf die Farbräume und deren Nutzen.

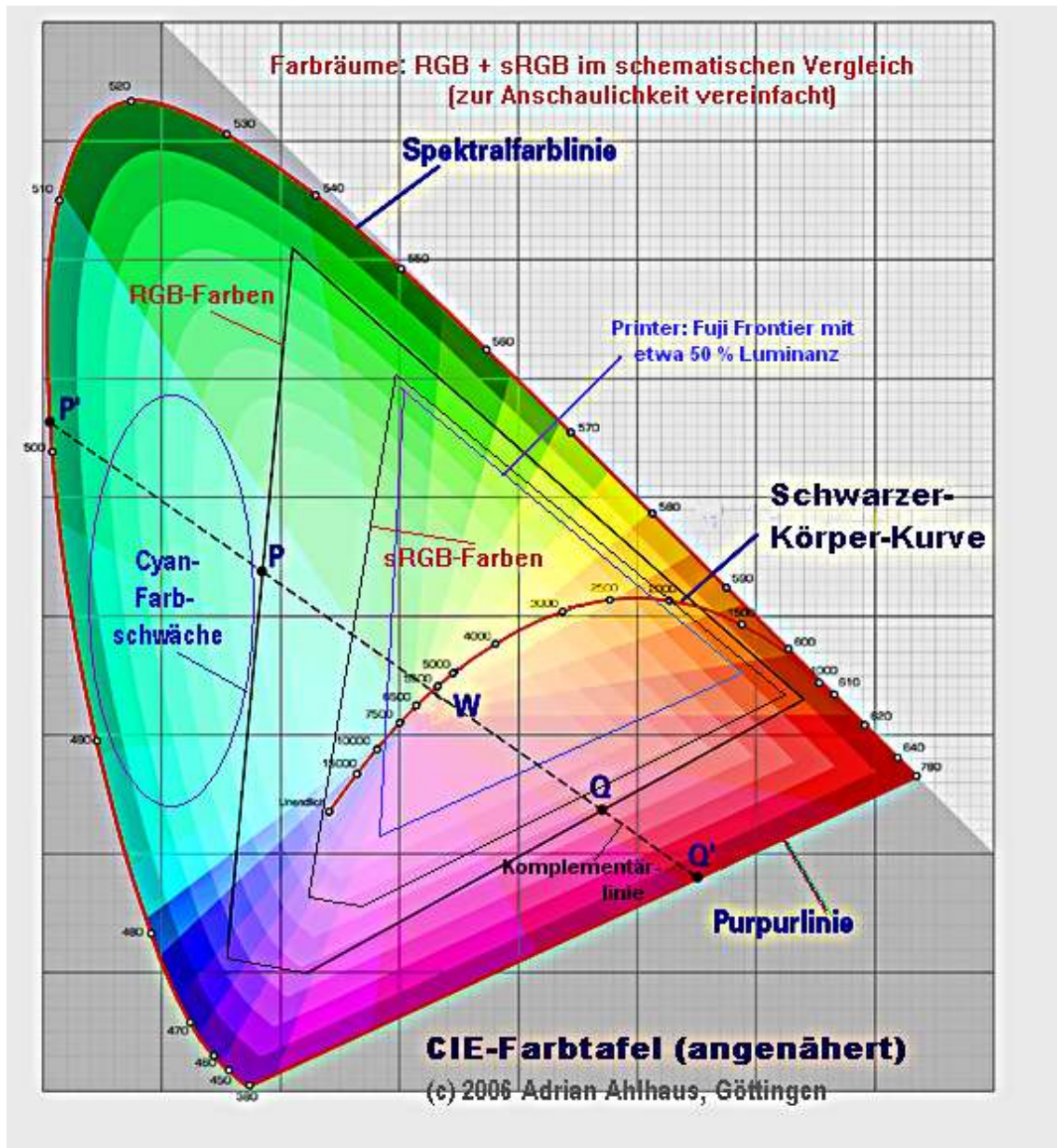
Die selbstleuchtenden Farben werden in RGB beschrieben, die der Drucker in CMYK. Doch das sind lediglich Angaben, die den grundsätzlichen Unterschiede von additiv oder subtraktiv erzeugten Farben beschreiben helfen. Dabei handelt es sich um Umrechnungen, die von den Bilddaten ausgehend ein sichtbares Bild erzeugen sollen auf einem Monitor oder für den Druck.

In der Praxis gibt es viele weitere Unterschiede, die die verwendeten Geräten und das endgültige Bild berücksichtigen, damit ein Bild möglichst wenig von der

originalen Vorlage abweicht.

Doch dies ist immer eine Abstraktion der Wirklichkeit. Wir können mit unserer Technik nicht den Helligkeitsunterschied der Natur wiedergeben. Jeder Helligkeitsunterschied, ein Kontrast, wird unter den besten Bedingungen und Möglichkeiten immer komprimiert von zumeist deutlich mehr als 1:100.000 auf unter 1/1000 um als Dia oder Bild wiedergegeben zu werden. Dabei werden auch die Farbinformationen reduziert.

Recht anschaulich, allerdings nicht mehr ganz zeitgemäß, ist die sogenannte Schuhsole, die CIE-Normfarbtafel von 1931, mit der ein Farbraum beschrieben wird, und von mir mit weiteren Angabe ergänzt wurde.



Was ist darauf zu sehen? (Die originale Tafel enthält keineswegs diese groben Abstufungen.)

Außen herum findet sich als Kurve das Lichtspektrum von Rot über Grün bis Blau. Die gerade Pupurlinie erfasst jene Farben, die im Spektrum nicht enthalten sind.

(Das menschliche Auge nimmt diese Farben nicht als einen direkten Farbeindruck wahr. Erst das Gehirn erzeugt aus zusammen gesetzten Farbeindrücken die Farben zwischen rot und blau. So entsteht aus Anteilen dieser Farben ein Violett.)

Das „W“ ist der Weißpunkt. Zieht man eine Linien durch diesen Punkt bis zu den Rändern der Grafik, dann werden die Komplementärfarben berührt, im Schaubild durch die gestrichelte Linien dargestellt, der „Komplementärlinie“.

Um Farben messbar zu machen, hat man ein Vergleichsobjekt geschaffen, den „schwarzen Körper“. (Schwarzes Metall einer normierten Legierung wird erhitzt und beginnt ab einer bestimmten Temperatur zu glühen, vom dunklen Rot über Orange und Gelb nach Weiß – dem Weißpunkt –, um schließlich immer stärker bläulich zu glühen.)

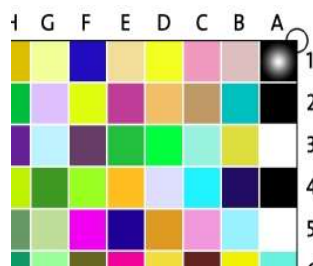
Nach diesen Temperaturen in Kelvin-Grad werden Farben des Tageslichts bestimmt. Allerdings, wo genau das normale Weiß liegt, wird unterschiedlich angegeben, irgendwo zwischen 5500° (Kelvin) und 5600° (Kelvin), wenn es nach den Herstellern von Filmen, Blitzgeräten und Tageslichtleuchten geht. Beim Tageslicht werden diese Farben in den Vormittags- und den Nachmittagsstunden erreicht. (Doch schon die Wolkendecke oder deren Fehlen erzeugt ein anderes Licht.)

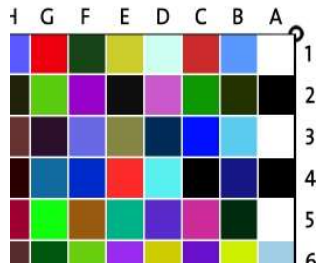
Die digitale Technik lässt sich relativ einfach auf die unterschiedlichen Farbtemperaturen des Lichtes einstellen. Relativ, weil die tatsächliche spektrale Zusammensetzung einer Lichtquelle von Kameras nicht erfasst werden kann und dies in selteneren Fällen zu einem falschen Weißabgleich führt, sodass das Bild eine deutlich sichtbare Farbverschiebung aufweisen kann- Als Beispiel können Leuchtstoffröhren dienen, von denen fast jeder weiß, dass aus wenigen und schmalen Anteilen des Spektrums eine dem menschlichen Auge ähnliche Tageslicht-Lichtquelle vorgetäuscht wird, allerdings nicht einer Kamera.

Für die digitale Verarbeitung von Daten werden analog festgehaltene Ladungen digitalisiert. Es bedeutet: Eine durch Licht erzeugte Ladung, die als Spannung ausgelesen werden kann, wird in Abstufungen aufgeteilt. Beispielsweise in 8 Bit, das sind 255 Abstufungen (256 Datenwerte), oder auch in 12 Bit, das sind 4095 Abstufungen (4096 Datenwerte). Diese Abstufungen sagen nichts darüber wie hell der hellste Wert ist oder wie dunkel der dunkelste Wert sein soll, doch zwischen den Eckwerten werden Unterscheidungen in Bytes festgehalten. (Auch die Qualität der Unterscheidungen ist durch eine Digitalisierung nicht bestimmt, etwa die der Linearität.) Das Gleich gilt auch für die Darstellung von Farben.

Sieht man in die obige Farbtafel, dann wird es schwierig sein den Ort einer Farbe zu bestimmen. Vergleichbare Angabe in Abstufungen wären unabdingbar, damit jeder, dem eine genormte Farbtafel vorliegt erkennen kann, welche Farbe gemeint seien. Man müsste eine Gitternetz darüber legen mit am Rand markieren einheitlichen Angaben, die von anderen mit einer identischen Grafik, gedruckt auf identischem Papier den Sollwert einer Farbe angeben.

(Oben ein Ausschnitt des Profilierungstargets für RGB, darunter für CMYK, der Firma „DeltaE. Imaging Consulting“, aus: <http://www.deltae-ic.de/>)





Doch schon die Grafik von oben, wie auch diese Ausschnitte aus den Tafeln, haben ein grundlegendes Problem: Man sieht diese auf einem Monitor, der von Modell zu Modell in Helligkeit, Farbe und Kontrast recht unterschiedliche Wiedergaben erzeugt. Mein Bild, während der Schreibens, ist nicht das Bild eines Lesenden. Ausgedruckt würden die Farben je nach Papier, Druckertinte und den verwendeten Druckereinstellungen zu deutlich unterschiedliche Ergebnissen führen. (Für die Druckindustrie gibt es entsprechend normierte, weit verbreitete, kleine Farbtafeln des Herstellers, die fast jeder Drucker in der Tasche stecken hat, für die Druckfarben des „HSK“-Farbraumes - einem Standard.)

Schon in der einfachen CIE-Farbtafel ist erkennbar, welche Unterschiede zwischen den Farbräumen und der angewandten Technik des Druckverfahren existieren, mit den drei eingezeichneten Dreiecken dargestellt. (Hierbei handelt es sich um schematische Annäherungen.)

Wenn außen die maximal erreichbaren Farbwerte der Sättigung liegen, dann beschreibt, in ein Verhältnis gesetzt, das größte Dreieck den Farbraum von RGB, das mittlere Dreieck den Farbraum von sRGB. Diese beide additiv entstehenden Farbräume sind schon grundsätzlich größer, als ein Farbraum für den Druck sein kann. Der in der Fototechnik größte Farbraum für den Druck wird zur Zeit vom Hersteller „Fujifilm“ mit den Belichtern der Serie „Frontier“ markiert, deren maximal erreichbare Farben als der kleinste dreieckige Farbraum eingezeichnet ist.

Sowohl Aufnahmesensoren als auch Druckertinten weisen einen deutlichen Mangel der Wiedergabe im blau-grünen Farbbereich auf, von mir als Oval verortet.

So uneinheitlich schon diese Farbräume sind: Die digitale Technik kennt noch mehr unterschiedliche Farbräume, die alle nach ähnlichen Zielen streben: möglichst nah an der Wirklichkeit alle Farben in Zahlen festzuhalten. Dafür nun gibt es unterschiedlich definierte Farbräume, die glücklicherweise in ähnlicher Weise verstanden werden können.

Die digitalen Abstufungen werden in beispielsweise 8-Bit kodiert, also 256 unterschiedliche Werte.

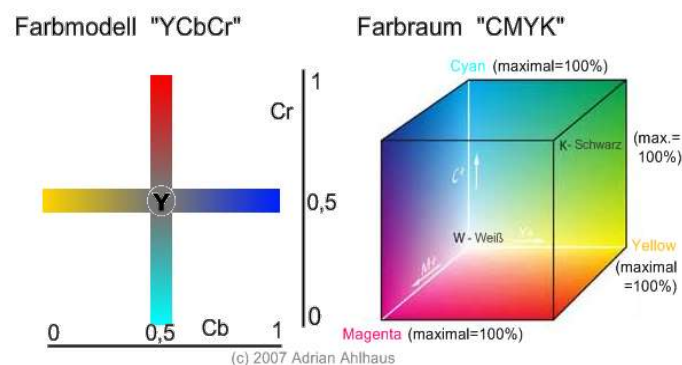
Jedoch besteht ein großer Unterschied bei der Anwendung: Für die Darstellung einer digitalisierten Bildinformation bestimmen zum Beispiel die unterschiedlichen Bildschirme mit Ihren maximalen Weißen und Schwarzen und Farben, wie die Bilddaten in sichtbare Bildpunkte übersetzt werden.

Das ist schon mit einem Farbmodell erreicht, wie wir es für den digitalen Fernseher nutzen, dem „YcbCr“. (Obwohl, es gibt noch Variationen des Farbmodells.) Dabei ist lediglich der mittlere Grauwert festgelegt, als „Gamma_Wert“ angegeben für die Betriebssysteme von „Microsoft“® mit 2,2, und für „Apple“® mit 1,8. Das bedeutet, die Monitore haben andere mittlere Grauwerte. Bilder können dunkler oder heller wiedergegeben als das Ursprungsbild, wenn von einem zum anderen System übertragen werden, zum Beispiel beim Internet. Meine Website ist für Gamma 2,2 ausgelegt. Sollten die Bilder für Gamma 1,8 bereit gestellt werden, dann müsste eine zweite Serie von Bildern vorbereitet sein.

Ein Farbraum, der für den Ausdruck genutzt wird, beschreibt die maximalen Farbwerte. Es sind also die Eckwerte definiert, die ein Drucker auf Papier wiedergeben kann. Natürlich kann ein Drucker davon abweichen, doch handelt es sich bei einem Farbraum allein um die Beschreibung der Differenzierung der Farben. Darüber hinaus gehend wird keine Farbe und kein Helligkeitswert mehr beschrieben und damit auch nicht mehr übersetzt.

Beim Konvertieren von Bilddaten kann dies dazu führen, dass für einen Farbwert im Ursprungssystem, kein entsprechender anderer Wert im Zielraum auffindbar ist. Das Ergebnis: Farbe sowie Helligkeit werden falsch wiedergegeben.

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Beschreibungsmethoden von Farbmodell für die digitale Kamera und Farbraum für den Druck, hier eine Grafik:



Im Farbmodell ist „Y“ der mittlere Grauwert, das ist der Bezugspunkt.

Im Farbraum sind die zur Verfügung stehenden „reinen“ Farben oder Tinten vorgegeben, das heißt, ohne Beimischung anderer Farben festgelegt. Das ist der Bezugspunkt. Der Weißton ergibt sich durch die Wahl des Papiers, auf dem gedruckt wird.

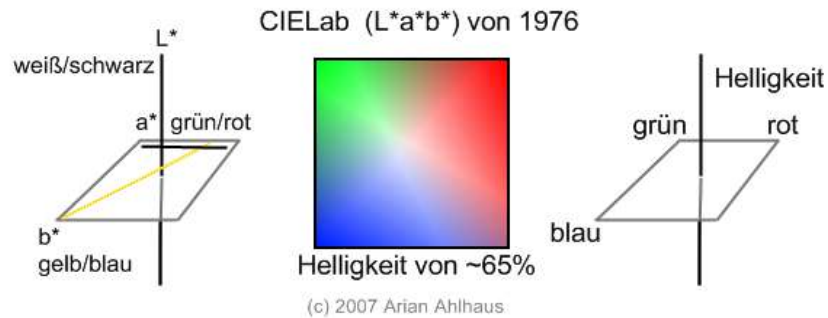
Wegen der oben bereits angesprochenen Cyan-Farbschwäche und auch wegen der Schwierigkeit eine neutrale, schwarze Tinte herzustellen, haben viele Drucker sechs oder mehr Farben zur Verfügung.

Es gibt einen geräteunabhängigen Farbraum, mit allerdings einigen Varianten. Dieser ist auch für Fotografen wichtig, „CIE Lab“ von 1976. Die Beschreibungsmethode erinnert an das Farbmodell von oben, doch sind die Farben an die Wahrnehmung des Menschen angepasst, sind gleichabständig und standardisiert.

Da das menschliche Sehen als Maßstab gilt, wird hier statt der Sättigung die Farbigkeit beschreiben und die Helligkeit, statt der Reflexion der Farben von einem Druckmedium (Papier, Folie o.a.)

Für die Photographie und zugleich für die Drucktechnik wird die Art der Beschreibung des Farbraumes übernommen von der ECI ((European Color Initiative) die den Arbeitsraum „eciRGB“ standardisierte.

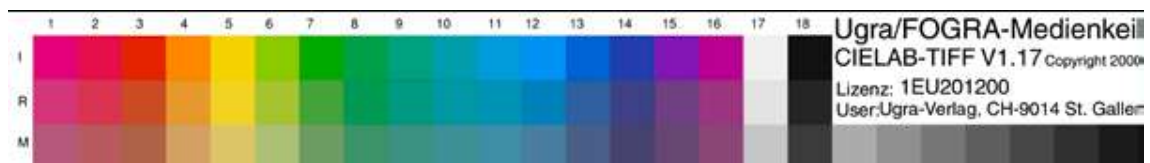
Hier ist eine Grafik zu CIELab, die allerdings die Beschreibung der Achsen lediglich schematisieren kann.



Für den ECI-Farbraum gibt es viele „Profile“, mit denen die Displays, Bildbearbeitungsprogramme und Drucker kalibriert werden, auf einen gemeinsamen Farbraum! Das gelingt bei den anderen Farbräumen nicht.

Gedruckte Farbtafeln mit ihren bunten und unbunten Feldern habe ich oben als Ausschnitte schon vorgestellt. Hier ist noch eine weitere Ansicht, zu einem „Medienkeil“, der in der photographischen Praxis genutzt wird. Mit nicht so vielen Farbfeldern ausgestattet kann der Karton mit fotografiert werden. Das erinnert an die Graukeile und Farbtafeln der Photographie mit Film.

Die untere Abbildung zeigt einen Ausschnitt von den wohl bedeutendsten Institutionen, wenn es um Drucktechnik und Normierung in Europa geht: der schweizerischen „Ugra“ und der deutschen „FOGRA“.



Als Standardfarbraum für die Übergabe von Bildern an die Druckindustrie gilt mittlerweile für die Bundesrepublik „eciRG“, das dem „sRGB“ ähnelt.

Es gibt keinen Grund für den Druck einen größeren Farbraum zu wählen.

Für die Weitergabe von Bilddaten zur Bildbearbeitung ist allerdings ein möglichst großer Farbraum zu empfehlen, mit möglichst vielen Differenzierungen in Bit, also, wenn möglich in 16 Bit je Farbkanal, um den Verlust von Farbwerten bei der Bearbeitung und einer Konvertierung möglichst klein zu halten.

(c) 2007 Adrian Ahlhaus, Göttingen. All rights reserved.