

Hans Brümmer

Das Phänomen Farbe – filmbasiert und digital codiert¹

Vergleicht man die digitalen Bildtechniken mit den historischen Techniken der Farbfotografie, fallen einige Gemeinsamkeiten ins Auge. Bei der Entwicklung der frühen fotografischen Verfahren zur Wiedergabe natürlicher Farben standen als lichtempfindliche Materialien nur schwarzweiße Emulsionen zur Verfügung. Das bei der digitalen Bilderzeugung verwendete Silizium ist ebenfalls nicht farbempfindlich. Die Techniken zur Kompensation dieses Mangels, sind heute ähnlich wie vor 150 Jahren. Damit wird sich dieser Beitrag – unter anderem – befassen. Ein Vorteil der digitalen Fotografie liegt in der Möglichkeit, die natürlichen Farben mit einer früher nicht möglichen Genauigkeit durch alle Verarbeitungsstufen zu transportieren.

Was ist Farbe?

Unter dem Begriff „Farbe“ kann sich jeder intuitiv etwas vorstellen, aber eine allgemein gültige Definition

vermag kaum jemand zu geben. Farbe ist ein komplexes Phänomen, bei dem neben rein physikalischen Faktoren auch neuro-physiologische und psychologische eine Rolle spielen. Die Sinnesempfindung „Farbe“ entsteht, wenn der Sehapparat elektromagnetische Strahlen aufnimmt und das Gehirn entsprechende Informationen zu einer Wahrnehmung verarbeitet. Die Übertragung vom Auge zum Gehirn erfolgt durch frequenzcodierte biologische Ströme. Erst im Gehirn entsteht der Eindruck „Farbe“ (Bild 1). Farbe ist das Wahrgenommene, so wie der mechanische Reiz durch Druck oder Rauheit hervorgerufen wird².

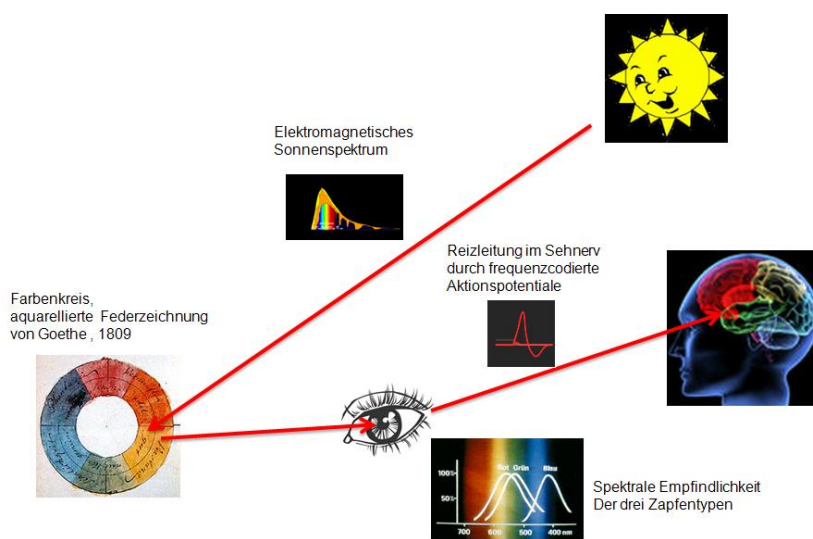


Bild 1: Farbe ist das was wir sehen und empfinden. Farbempfindung entsteht im Gehirn

Isaac Newton entdeckte um 1665, dass Licht aus sieben verschiedenen Farbanteilen (rot, orange, gelb grün, blau, indigo, violett) zusammengesetzt ist. Allerdings ging Newton von einem physikalischen Modell aus, welches Licht als Partikel beschreibt. Er hat durch seinen Einfluss sehr lange verhindert, dass sich auch das Wellenmodell, wie es z.B. von Thomas Young oder Cristiaan Huygens (1629-1695) vertreten wurde, anerkannt wurde.

Goethe lehnte Newtons Ansatz ab. Er war der Ansicht, dass dieser Unrecht habe, dass Farben nicht durch Teilung des weißen Lichtes sondern nur durch Zusammenwirken von Licht und Finsternis entstünden. Dieser Disput beruhte auf den unterschiedlichen Annahmen beider. Während Newton die additive Farbsynthese von Licht untersuchte, beschäftigte Goethe sich mit der subtraktiven Farbsynthese der Farbmittel. Das Problem der Entstehung von Weiß stellte für Goethe den Schlüssel zum Verständnis der Farben dar („...man erdenke sich Versuche, von welcher Art man wolle, so wird man niemals imstande sein, aus farbi-

Prof. Dr.-Ing. Hans Brümmer ist Vorsitzender der Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh)

¹ Die DGPh und das Industrie- und Filmmuseum Wolfen veranstalteten am 28. und 29. Oktober 2011 in Bitterfeld-Wolfen die Tagung „Auf der Suche nach den natürlichen Farben – 150 Jahre Farbphotographie“. Dieser Text ist eine erweiterte Fassung des Vortrags des Verfassers. Download unter www.HansBruemmer.de

² Philippe Lanthony: Forscher und Farbe. Spektrum der Wissenschaft. Spezial ND 5 FARBEN / 2004

gen Pigmenten ein weißes Pigment zusammensetzen, das neben oder auf vollkommen reinem Schnee oder Pulver nicht grau oder bräunlich erscheint“³.

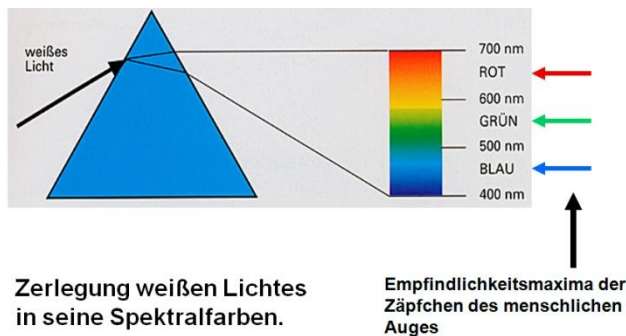


Bild 2: Spektralfarben des weißen Lichts

jede beliebige andere Farbe mischen kann. Dies ist auch heute noch das Funktionsprinzip aller Farbfernsehbildschirme und Farbmonitore.

Auf der Grundlage des Dreifarbensehens gelang es dem englischen Physiker James Clerk Maxwell schon im Jahre 1855, das erste Farbfoto der Welt zu erzeugen. Die Vorführung der additiven Farbmischung ba-

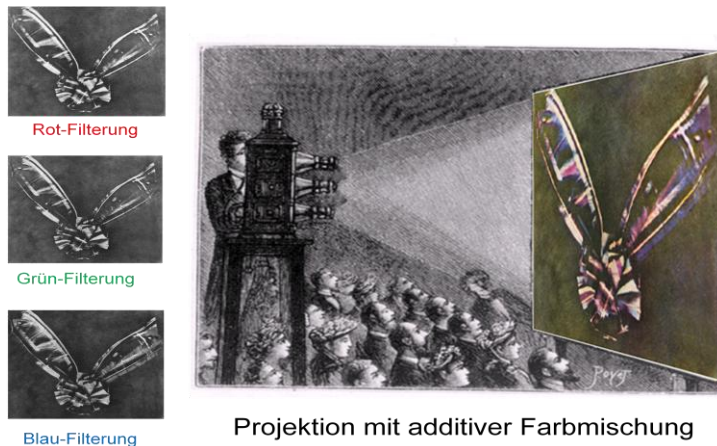


Bild 3: Maxwells Demonstration

weißfilm aufgebracht, der keine organischen Stoffe enthält und mehrere hundert Jahre gelagert werden kann. Mit diesem hochwertigen Material können zu jedem späteren Zeitpunkt alle Auswertungsformate bedient werden⁵.

Die additive Farbmischung

Bei der Arbeit mit farbigem Licht, haben wir es mit der additiven Farbmischung zu tun. Entsprechend den drei Zapfentypen der menschlichen Netzhaut beruht sie auf den drei Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B). Durch Mischen entstehen hellere Farbtöne. Aus einer Mischung von Rot mit Grün entsteht Gelb, aus Grün und Blau entsteht Cyan - und Blau gemischt mit Rot ergibt Magenta. Kommen alle drei Farben in voller Intensität und gleichen Anteilen zusammen, ergänzen sie sich zu Weiß (Bild 4).

Der englische Forscher Thomas Young (1773 bis 1829) vermutete, das menschliche Auge enthalte drei verschiedene "Seh-Elemente", die das rote, blaue und grüne Licht verarbeiten und daraus das farbige Bild der Welt aufbauen. Grau und Weiß werden wahrgenommen, wenn alle drei Rezeptortypen gleich stark angeregt werden. Schwarz wird wahrgenommen, wenn kein Rezeptor stimuliert wird. Der deutsche Physiologe Hermann Helmholtz (1821 bis 1894) griff die Ansicht auf und verwandte sie als Fundament für seine "Dreifarbentheorie des Sehens", die im Wesentlichen bis heute gültig blieb. Helmholtz hatte beobachtet, dass man aus farbigem Licht dreier Primärfarben

erbracht⁴ (Bild 3). Hier sei angemerkt, dass das Prinzip der Aufnahme farbiger Motive auf drei Schwarzweißfilmen heute für die Archivierung farbiger Kinofilme eingesetzt wird, da sich digitale Archivsysteme bislang als störanfällig und auf Dauer als sehr pflege- und damit kostenintensiv erweisen. Besonders langlebig und daher für wertvolle Projekte geeignet ist die Archivierung auf einem *Separation Master*. Hier werden die drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau einzeln auf Schwarz-

weißfilm aufgebracht, der keine organischen Stoffe enthält und mehrere hundert Jahre gelagert werden kann. Mit diesem hochwertigen Material können zu jedem späteren Zeitpunkt alle Auswertungsformate bedient werden⁵.

³ Goethes Farbenlehre: http://de.wikipedia.org/wiki/Zur_Farbenlehre

⁴ Bildtechnologien: http://www.abmt.unibas.ch/skripten/bildtechnologiel/V04_color_grundl_addi.pdf

⁵ Film-Langzeitarchivierung: http://www.vtff.de/filmarchivierung_de.html

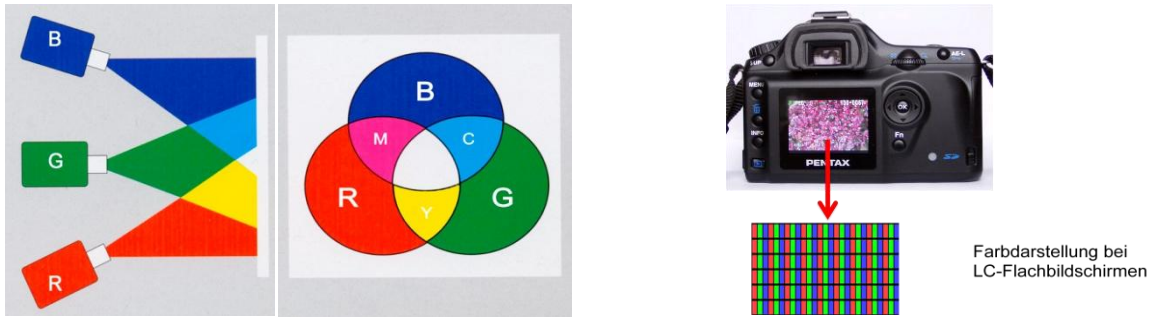


Bild 4: Prinzip und Anwendung der additiven Farbmischung

Das ist das Prinzip, nach dem das Farbfernsehen und die Farbdarstellung am Computer-Bildschirm funktionieren.

Die *subtraktive Farbmischung* ist die Grundlage für den *Farbdruck* in allen Druckverfahren (Siehe ⁷).

Das Autochrome- oder Kornraster-Verfahren

Zur farbigen Wiedergabe der Natur wurden verschiedene Verfahren entwickelt, von denen hier das auf der additiven Farbmischung beruhende Autochrome- oder Kornraster-Verfahren der Brüder Lumière beschrieben werden soll. Das Verfahren wurde 1904 patentiert, allerdings konnte es erst 1907 auf den Markt gebracht werden. In den ersten zwei Jahren der Produktion konnte die Firma Lumiere in Lyon die Nachfrage des Marktes kaum bedienen. Die maschinelle Produktion unterlag großen Schwierigkeiten, da nur selten Platten mit gleich bleibender Farbqualität produziert werden konnten.

Die Lumieres färbten Kartoffelstärkekörner mit einem Durchmesser von 0,010 bis 0,015 mm rot, grün und blauviolett ein und vermischten sie. Das entstandene graue Pulver wurde nun auf eine mit Gelatine oder Kollodium als Bindemittel versehene Platte gestreut und gewalzt. Verbleibende Zwischenräume wurden mit schwarzem Pigment aufgefüllt.

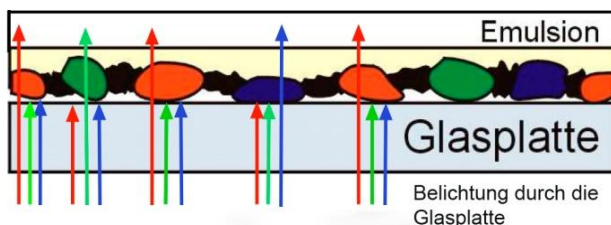
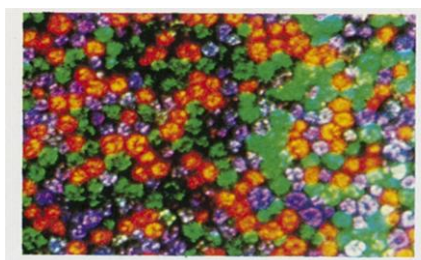


Bild 5: Aufbau der Autochrome-Farbrasterplatte

Empfindlich gemacht wurde die Platte mit einer Silberbromidemulsion. Autochromeplatten wurden in der Kamera mit der Glasseite zur Linse belichtet. Das Licht drang zuerst durch die eingefärbten Stärkekörner, die als winzige Farbfilter dienten, bevor es die empfindliche Emulsion erreichte (Bild 5). Die Platte wurde entwickelt und anschließend in ein Umkehrbad getaucht. Wenn das metallische Silber ausgewaschen und das vorläufige Bild aufgelöst war, wurde die Platte nochmals in weißem Licht belichtet und erneut entwickelt. Zuletzt wurde sie gewässert und getrocknet und die Emulsi-
onsseite zum Schutz mit einem Deckglas versehen.

Autochromeplatten wurden durch Projektion oder in „Handguckkästen“ betrachtet. Sie waren bis in die 30er Jahre in Gebrauch und wurden erst von den modernen Farbdias verdrängt.



Autochrome-Platte mit eingefärbten Kartoffelstärke-Körnern



Die Brüder Auguste (l.) und Louis Lumière (r.)

Bild 6: Das Autochrome-Verfahren

Die Rasterung

Die geniale Idee der Brüder Lumière bestand darin, die farbenblinde Emulsion durch ein feines Raster aus eingefärbten Kartoffelstärke-Körnern zu belichten. Nach einem ähnlichen Prinzip werden heute die ebenfalls farbenblinden elektronischen Sensoren der digitalen Kameras farbtüchtig gemacht.

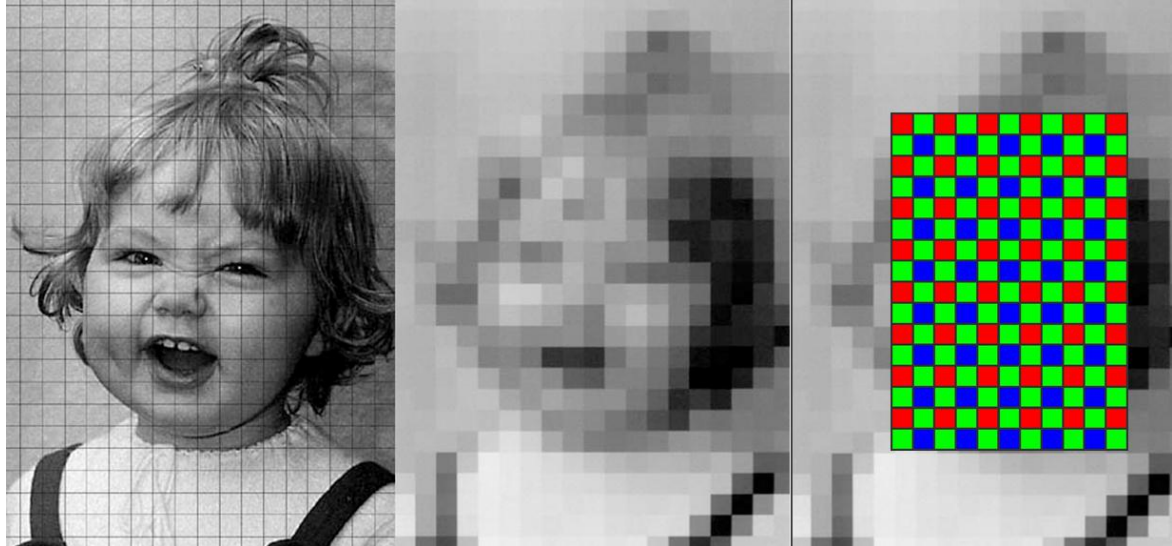


Bild 7: Prinzip der Digitalisierung von Bildern

Bei der Digitalisierung von Bildern wird im Prinzip ein rechteckiges Raster über das Bild gelegt (Bild 7). Jedes Feld des Rasters entspricht einem Bildpunkt (engl. pixel = picture element). Jedem einzelnen Pixel wird durch die Kamera oder den Scanner ein Helligkeitswert zugeordnet. Dieser entspricht dem über das Rasterfeld gemittelten Helligkeitswert. Die Bildpunkte werden nacheinander in Zahlenwerte umgeformt (digitalisiert) und gespeichert⁶.

Die lichtempfindlichen Pixel auf dem Sensor können nur Helligkeitswerte erfassen. Um Farbinformationen zu erhalten, wird vor jeder einzelnen Zelle ein winziger Farbfilter in einer der drei Grundfarben Rot, Grün oder Blau aufgebracht (Bayer-Filter, Bayer-Matrix).

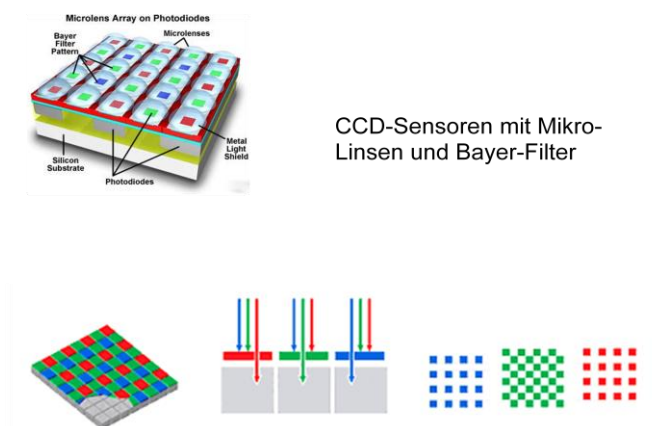


Bild 8: Fotosensor nach dem Bayer-Prinzip

Jeder Pixel liefert nur Informationen für eine einzige Farbkomponente an dieser Stelle. Die anderen Farben werden durch Interpolation aus den benachbarten Bildpunkten hinzugefügt. Die grünen Pixel kommen doppelt so oft vor wie die roten und blauen. Dadurch erhält die Sensormatrix eine Farbenempfindlichkeit, die etwa der des menschlichen Auges entspricht. Die Farbinterpolation (Demosaicing) kann durch die Software der Kamera erfolgen, wobei im Allgemeinen ein JPEG-Bild erzeugt wird. Dieses enthält nicht alle Informationen, die der Sensor der Kamera liefert. Diese sind in Bildern im RAW-Format (Rohdatenformat) vorhanden; sie werden bei der anschließenden Bildbearbeitung am Computer „entwickelt“.

⁶ Auflösungsprobleme: http://www.hansbruemmer.de/tl_files/pdf-ordner/auf_l_prob1.pdf

Wie wird Farbe „digital“?

Die lichtempfindlichen Bildpunkte des Bayer-Sensors liefern der Helligkeit proportionale elektrische Spannungen, die nacheinander, Pixel für Pixel, digitalisiert werden. Digitalisierung bedeutet Umwandlung der einzelnen Helligkeitswerte in Zahlen. Computer verwenden dafür das duale (binäre) Zahlensystem, das nur die Werte „0“ und „1“ verwendet. Diesen entsprechen in der elektrischen Darstellung z.B. die Zustände „keine Spannung“ oder „Spannung vorhanden“, die durch einfache Schalter (Transistoren) realisiert werden. Die binäre Form der Darstellung physikalischer Größen ist für eine Verarbeitung und Speicherung besser geeignet, als die leicht durch Störungen verfälschbaren analogen Daten.

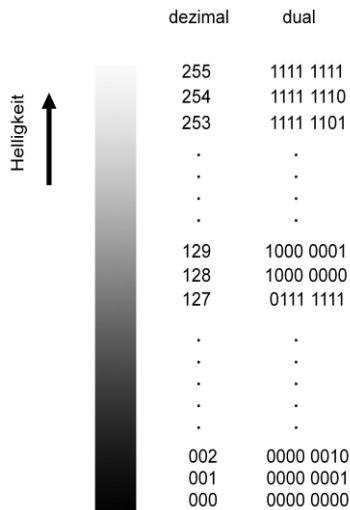


Bild 10: Digitalisierung eines Graukeils

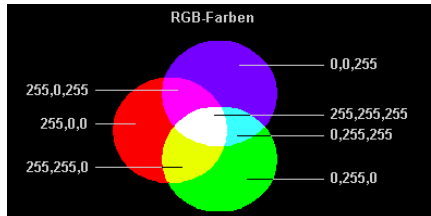


Bild 9: Definition von RGB-Farben

Die beiden Zustände „0“ und „1“ erlauben nur die Darstellung der Helligkeitswerte *schwarz* und *weiß* (z.B. bei Strichzeichnungen). Für weitere Helligkeitswerte muss die Stellenzahl der Dualzahl erweitert werden. Dabei ergibt sich die Frage, wie viele Stufen für eine gute Annäherung an das Original

erforderlich sind. Mit einer achtstelligen Dualzahl (1 Byte) können 256 verschiedene Helligkeitsstufen erfasst werden – für die meisten Bilder ausreichend (Bild 10)⁷. Da dieses jeweils für die roten, grünen und blauen Pixel erfolgt, ergeben sich daraus die häufig zitierten $256 \times 256 \times 256 = 65.536$ unterschiedlichen Farbwerte.

Die digitalisierten Werte werden in der Kamera auf Datenträgern gespeichert.

Welche Farben lassen sich darstellen?

Bereits im Jahre 1931 wurde von einer internationalen Kommission das in Bild 11 dargestellte Farbdreieck festgelegt, das wegen seiner Form auch *Schuhsohle* genannt wird. Dieses Normfarbsystem beruht auf der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges. Die zweidimensionale Fläche umfasst alle wahrnehmbaren Farben, wobei die gesättigten Spektralfarben entlang der äußeren Linie liegen. Jeder Farbe ist dabei ein bestimmter Punkt innerhalb des Koordinatensystems zugeordnet. Die nur in einer dreidimensionalen Ansicht darstellbare Y-Achse enthält die unterschiedlichen Helligkeiten; alle Farben mit gleicher Helligkeit liegen auf einer Ebene.

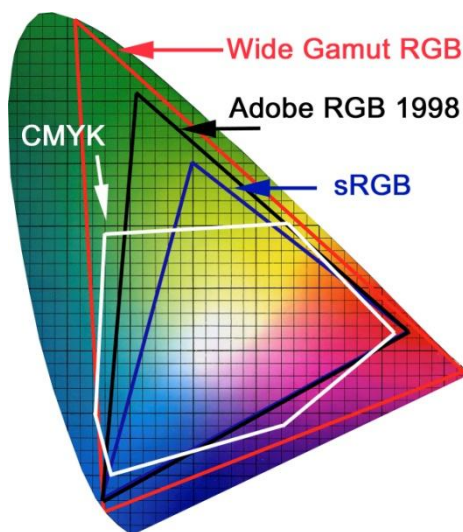


Bild 11: Das CIE-Yxy-Farbdreieck

Die reinen Spektralfarben liegen auf der gekrümmten Umrandung. Die untere gerade Kante enthält die Farben, die durch Mischung der roten und blauen Farben an beiden Enden des Spektrums entstehen (Purpurlinie).

Zwischen dem Unbuntpunkt (Weißpunkt) im mittleren Bereich und den gesättigten Spektralfarben am Rand liegen alle anderen Farben. Die vom Unbuntpunkt ausgehenden Strahlen enthalten jeweils die Farben gleichen Farbtons in zunehmender Sättigung. Die Farbart einer additiven Farbmischung aus zwei Komponenten liegt stets auf der geradlinigen Verbindung der Farborte dieser Komponenten. Die Komplementärfarben liegen sich gegenüber, d.h. jeweils auf der anderen Seite des Unbuntpunktes.

Dieses Modell wird genutzt, um das Farbspektrum von Kameras, Monitoren und den Druckfarben anschaulich darzustellen.

⁷ Farbmanagement: http://www.hansbruemmer.de/tl_files/pdf-ordner/farb_manag.pdf

Der in der Digitalfotografie wichtige sRGB-Farbraum⁸ wurde durch eine Kooperation von Hewlett-Packard und Microsoft Corporation geschaffen und durch viele Industrie-Teilnehmer bestätigt. sRGB wurde seinerzeit für die CRT-Monitore des Jahres 1996 entwickelt. Viele Programme beruhen auf der Annahme, dass sich fast jede Bilddatei mit 8 Bit pro Kanal in sRGB befindet. Auch andere Hardware wie LC-Bildschirme und Farbdrucker werden so ausgestattet, dass sie dem Standard folgen. Dieses gilt jedoch nicht immer für professionelle Hardware.

Der sRGB-Farbraum ergibt für das Gros der Computer-Anwender die wenigsten Probleme. Er beinhaltet alle Farben, die jeder Monitor darstellen kann. Außerdem sind Farbdrucker i.A. in der Lage, die von sRGB definierten Farben aufs Papier zu bringen.

Digitalkameras zeichnen deutlich mehr Farben auf als Monitore und Drucker darstellen können.

Größere Farbräume wie Adobe RGB von 1998 und Wide Gamut RGB sind für den Austausch zwischen Geräten mit unterschiedlichem Farbumfang gedacht. Diese sollte man nur benutzen, wenn man die nötige Softwareausstattung hat und über hinreichende Kenntnisse im Farbmanagement verfügt. Falsch angewendetes Adobe RGB ist nicht nur nutzlos, sondern es kann sogar zu sichtbar schlechteren Bildergebnissen führen.

Der CMYK-Farbraum ist ein subtraktiver Farbraum, der die technische Grundlage für den modernen Vierfarbdruck bildet. Die Abkürzung CMYK steht für die drei Farbbestandteile Cyan, Magenta, Yellow und den Schwarzanteil Key. Dieser dient zur Unterstützung der Zeichnung und zur Verbesserung der Farbtiefe. Größe und Form des CMYK-Farbraums hängen von den verwendeten Tinten und Papieren ab. Die in den Abbildungen beispielhaft dargestellten Druckfarbräume werden nur von hochwertigen Druckern, Tinten und Papieren erreicht. Sie sind größer als der sRGB-Farbraum.

Farbraumtransformation (gamut mapping)

Die RGB-Arbeitsfarbräume und die CMYK-Druckfarbräume sind also unterschiedlich groß. Bei der Umrechnung RGB → CMYK ist es wichtig, die Originalfarben so ähnlich wie möglich wiederzugeben. Die unterschiedlichen Umrechnungsverfahren werden *Rendering Intents* genannt.

Bei der Farbraumtransformation *perzeptiv/wahrnehmungsorientiert* wird der größere RGB-Farbraum in den kleineren CMYK-Farbraum komprimiert (Bild 12 links). Dieses lässt sich anschaulich mit einem T-Shirt vergleichen, das zu heiß gewaschen wurde; dabei werden sowohl die Bereiche am Rand als auch in der Mitte des Farbraums verändert. Ziel des perzeptiven Rendering Intents ist es, den Gesamteindruck der Originalfarben in der Bildwiedergabe beizubehalten.

Bei der *relativ farbmetrischen Transformation* werden alle Farben außerhalb des Zielfarbraums auf einen Punkt am Rande gesetzt – beim T-Shirt würden die Ränder abgeschnitten. Ziel des relativ farbmetrischen Rendering ist es, den Teil der Originalfarben, der innerhalb des Zielfarbraums liegt, in der Bildwiedergabe beizubehalten.

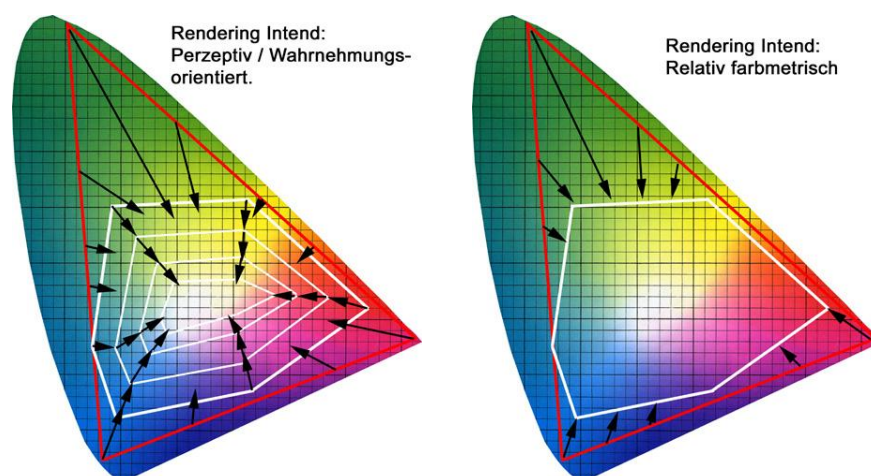


Bild 12: Farbraumtransformationen

⁸ Farbraum: Mathematische Beschreibung von Farben in einem mehrdimensionalen Raum, in dem sich alle darstellbaren Farben abbilden lassen.

Wie sieht nun die Praxis aus?

Die eingangs erwähnte Möglichkeit, die Farben möglichst genau durch alle Verarbeitungsstufen zu transportieren, setzt ein richtiges *Farbmanagement* voraus. Dadurch wird erreicht, dass eine Vorlage, die mit einem beliebigen Eingabegerät erfasst wurde, an einem beliebigen Ausgabegerät möglichst ähnlich wiedergegeben wird.

Einfache Kameras bieten nur den sRGB-Farbraum. Dieser ist geeignet, wenn man sich nicht um Farbmanagement bis zur Druckausgabe kümmern möchte. Dieser Farbraum ist sozusagen die gemeinsame Übereinkunft für eine möglichst gleiche Farbdarstellung auf verschiedenen Geräten wie Monitor und Drucker. Er ist allerdings auch ein kleinerer Farbraum als Adobe RGB.

Will man die Bilder in einem farbmanagementfähigen Programm (wie z. B. *Adobe Photoshop*) bearbeiten und selber ausdrucken, ist *Adobe RGB* die bessere Option. Damit werden die Farben, die der Kamerachip ermittelt hat, weniger beschnitten. Als Anwender muss man sich dann aber auch um die richtige Profilierung des Monitors und Druckers kümmern. Profilierung bedeutet die Erfassung von Farbeigenschaften der einzelnen Geräte. Der dabei erzeugten Datensätze werden von einem Farbmanagementsystem genutzt, um die Farbtreue über die gesamte Verarbeitungskette hinweg zu gewährleisten.

Fotografiert man im *RAW-Modus*⁹, ist die Wahl des Farbraums an der Digitalkamera unerheblich. RAW-Aufnahmen werden in der Digitalkamera nicht mit einem Farbraum ausgezeichnet. Sie bekommen erst im RAW-Konverter einen Arbeitsfarbraum zugewiesen.

Der Adobe RGB-Farbraum sowie der RAW-Modus stehen nur in Kameras der gehobenen Preisklasse zur Verfügung.

ICC-Profile

Wird eine Bilddatei auf zwei unterschiedlichen Geräten ausgegeben, erhält man in den meisten Fällen zwei farblich unterschiedliche Ergebnisse. Die Farbwiedergabe ist geräteabhängig. Sogar bei zwei Ausgabegeräten des gleichen Modells können leichte Unterschiede auftreten. Dieses gilt für sämtliche Geräte der Verarbeitungskette. Zur Beseitigung dieser Probleme gründeten eine Reihe von Industrieunternehmen 1993 das „International Color Consortium“ (ICC) mit dem Ziel, einen offenen, hersteller- und plattformunabhängigen Standard für den Austausch von Farbdaten zu schaffen. Voraussetzung dabei ist, dass sämtliche in den Verarbeitungsprozess eingebundene Geräte „*profiliert*“ werden. Das bedeutet, dass die Geräteeigenschaften messtechnisch erfasst werden.

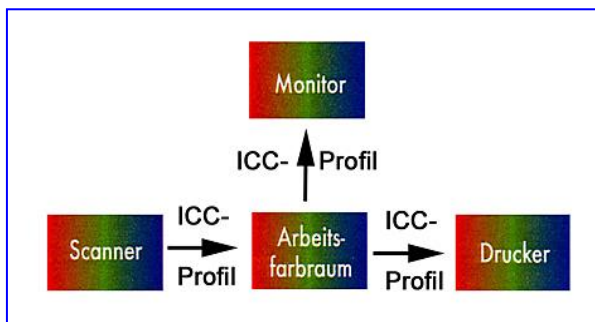


Bild 13: Workflow beim Farbmanagement

Ein „*ICC-Profil*“ beschreibt den gerätespezifischen Farbraum und die Farbfehler eines Gerätes. ICC-Profile können über Betriebsgrenzen hinweg ausgetauscht werden und sie sollten prinzipiell in jedem verwendeten Farbmanagement-System zu gleichen Ergebnissen führen. Voraussetzung ist dabei, dass sich alle Teilnehmer an bestimmte Standards halten und diese auch technisch beherrschen. ICC-Profile sind Abweichungsbeschreibungen vom standardisierten *CIE Lab-Farbraum*¹⁰. Ein ICC-Profil entsteht,

Ein „*ICC-Profil*“ beschreibt den gerätespezifischen Farbraum und die Farbfehler eines Gerätes. ICC-Profile können über Betriebsgrenzen hinweg ausgetauscht werden und sie sollten prinzipiell in jedem

verwendeten Farbmanagement-System zu gleichen Ergebnissen führen. Voraussetzung ist dabei, dass sich alle Teilnehmer an bestimmte Standards halten und diese auch technisch beherrschen. ICC-Profile sind Abweichungsbeschreibungen vom standardisierten *CIE Lab-Farbraum*¹⁰. Ein ICC-Profil entsteht,

⁹ Als Rohdatenformat (RAW) (engl. *raw* „roh“) bezeichnet man ein Dateiformat, bei dem die Kamera die Daten nach der Digitalisierung ohne Bearbeitung auf das Speichermedium schreibt. Die Rohdaten werden auch als „digitales Negativ“ bezeichnet, da sie für die Weiterverarbeitung bestimmt sind und noch nicht das eigentliche Endprodukt darstellen. Obwohl sich die grundlegenden Funktionsweisen der digitalen Bildsensoren verschiedener Hersteller und Modelle nicht wesentlich voneinander unterscheiden, hat sich bisher kein Standard ausgebildet, vielmehr existieren zahlreiche unterschiedliche Varianten (Wikipedia).

¹⁰ Der *L*a*b**-Farbraum ist ein Messraum, in dem alle wahrnehmbaren Farben enthalten sind. Der Farbraum ist auf Grundlage der Gegenfarbentheorie konstruiert. Eine der wichtigsten Eigenschaften des *L*a*b**-Farbmodells ist seine Geräteunabhängigkeit, das heißt, die Farben werden unabhängig von der Art ihrer Erzeugung und Wiedergabetechnik definiert (Quelle: Wikipedia. Siehe auch ⁷).

indem man die Ergebnisse eines realen Gerätes mit den idealen Werten des Lab-Farbraumes vergleicht und die Differenzen in einer Tabelle speichert.

Zur Erstellung eines Scannerprofils vermisst man eine Vorlage mit vielen unterschiedlichen, definierten Farbfeldern mit einem Spektralphotometer, um die Lab-Werte zu bestimmen. Anschließend lässt man den Scanner diese Vorlage einlesen und vergleicht Soll- und Ist-Werte. Diese Differenz ist das Profil des Scanners. Beim nächsten Scan kann man das Profil anwählen und mit den Rohdaten verrechnen lassen.

Für ein Monitorprofil befestigt man ein Farbmeßgerät an der Scheibe und sendet definierte Lab-Werte auf den Monitor. Aus der Differenz zwischen den gesendeten und gemessenen Daten ergibt sich das Monitorprofil.

Für ein Ausgabeprofil druckt man definierte CMYK-Werte und ermittelt mit einem Spektralphotometer die entstandenen Lab-Werte. Dabei darf nicht vergessen werden, dass der gesamte Druckprozeß Einfluss auf das Ergebnis hat. Neben dem Drucker sind auch Papier und Druckfarbe von entscheidender Bedeutung – ändert man nur einen Parameter, erfordert dieses auch ein neues Profil. Viele Hersteller von Druckfarben und hochwertigen Papieren stellen für bestimmte Kombinationen ICC-Profile zur Verfügung, die jedoch oft nur eine grobe Näherung darstellen.

Die ICC-Profile werden in den Workflow eingebunden, wie Bild 13 schematisch zeigt. An dieser Stelle kann nur das grundsätzliche Prinzip der ICC-Profile angesprochen werden. Für weitergehende Fragen wird auf spezielle Literatur verwiesen (siehe auch ¹¹). Es gibt eine ganze Branche, die sich damit befasst, den wesentlich größeren Farbraum der additiven Lichtfarben im kleineren Farbraum der subtraktiven Grundfarben darzustellen.

Wie lange hält nun diese Farbenpracht?¹²

Wir haben die Erfahrung gemacht, dass sich fotografische Abzüge, Negative und Diapositive im Laufe der Zeit, abhängig von den Lagerungsbedingungen, verändern. Wenn richtig verarbeitete Fotomaterialien jedoch kühl, trocken und im Dunkeln gelagert und selten wieder angeschaut werden, sind Lebensdauern zu erwarten, die von digitalen Trägern heute nicht annähernd erreicht werden. Die Vorteile der digitalen Arbeitsweise sind unbestritten und die Technik hat einen sehr hohen Stand erreicht. Das für die Photographie wichtige Problem der Langzeitspeicherung digitaler Bilddaten ist aber bisher ungelöst.

Ein besonderes Problem ist die Lebensdauer der zur Verfügung stehenden digitalen Datenträger.

- Magnetbänder: Bis zu 30 Jahre (Magnetbänder sind noch immer die wichtigsten Datenträger für die Langzeitarchivierung).
- Disketten: 5 bis 10 Jahre.
- Festplatten im Arbeitsplatzrechner (PC): Mehrere Jahre.
- Selbst gebrannte optische Speichermedien - CD-ROM/DVD: 5 bis 10 Jahre.
- USB-Stick: Bis zu 10 Jahre.

Wenn Garantien für die Lebensdauer von Datenträgern gegeben werden, gelten diese immer nur für den Datenträger, niemals für die Daten! Das Problem bei elektronischen Speichern ist nicht ob sie ausfallen, sondern wann. Man kann fast sagen: *Je neuer das Medium, desto kürzer die Lebensdauer.*

Als Ausweg aus diesem Dilemma bietet sich zurzeit nur die *Migration* an. Darunter versteht man den Transfer von Daten aus einer Umgebung in eine andere, sowie das Umstellen von Hardware einer alten Technologie in neue Technologien.

Also: *Umkopieren, Umkopieren . . .*

Eine weitere wichtige Frage lautet: *Welche digitalen Formate sind für die Langzeitarchivierung geeignet?*

Es ist nur möglich Daten zu lesen, wenn ein Programm und ein Betriebssystem vorliegen, welche den Inhalt einer Datei "*verstehen*". Da viele Betriebssysteme und Programme eigene (proprietäre) Verfahren zur Codierung der Daten einsetzen, ist die Lesbarkeit nicht mehr gesichert,

¹¹ Digitale Fotografie: <http://www.hansbruemmer.de/index.php/digifoto.html>

¹² Weitere Hinweise siehe: <http://www.hansbruemmer.de/index.php/langzeitarchivierung.html>

wenn ein Betriebssystem oder ein Programm nicht weiterentwickelt wird (z.B. DOS → Windows).

Die einfachsten Formate werden die langlebigsten sein. Ungeeignet sind Dateiformate, die im Besitz eines einzelnen Herstellers sind, der sie nach Belieben verändern oder ihre Benutzung einschränken kann, z.B. DOC für Textdateien (Microsoft).

Empfehlungen für die Praxis des Photographen

- Speichern Sie nur die „wichtigen“ Bilder (sonst finden Sie in der Masse gar nichts wieder).
- Bei hohen Ansprüchen an die Qualität speichern Sie Ihre Bilddateien im TIFF-Format. Bei diesem ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass auch in absehbarer Zukunft Programme zur Verfügung stehen, mit denen die Informationen aus den Dateien zurückgewonnen werden können. Völlig ungeeignet sind – trotz der sonstigen Vorzüge – die proprietären RAW-Formate. Bei geringeren Ansprüchen ist auch das JPEG-Format geeignet.
- Sichern Sie Ihre Daten mindestens doppelt, zum Beispiel:
 1. auf mobilen Festplatten.
 2. auf DVD-Typen, die für langfristige Archivierung empfohlen werden.
- Kopieren Sie Ihre Daten alle fünf Jahre auf neue Datenträger um.
- Drucken Sie Ihre wichtigsten Bilder aus. Bei optimalen Tinten/Papier-Kombinationen erhalten Sie gute Ergebnisse. Heutige Inkjet-Drucke (insbesondere Drucke mit Pigmenttinten auf säurefreiem Papier ohne optische Aufheller) sind haltbarer als C-Prints,.

Weitere Literatur:

Geschichtlicher Überblick:

http://www.abmt.unibas.ch/SKRIPTE/ScriptColor/01_kap_1_Geschichtl_Entw.pdf

Polaroid: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-42622333.html>

FAZ: 100 Jahre Autochrome-Verfahren:

<http://www.faz.net/s/Rub8F4CC12BA50B48E9A076651F417117FE/Doc~E9CA12ED21B8A477C963CCDE5CA1787A3~ATpl~Ecommon~Scontent.html>

Photo-Lexikon CH: <http://photobibliothek.ch/seite006b.html>

Bayer-Sensor: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>

Demosaiicing: <http://de.wikipedia.org/wiki/Demosaiicing>

RAW-Format: http://de.wikipedia.org/wiki/Rohdatenformat_%28Fotografie%29