

Hans Brümmer ¹

Einige Grundbegriffe der Farbenlehre, der Farbensysteme und des Farbmanagements

1	Vorbemerkung und Ziele	2
2	Probleme des Farbmanagements	2
3	Licht und Farbe	3
4	Farbmischung	4
4.1	Die additive Farbmischung	4
4.2	Die subtraktive Farbmischung	5
4.3	Die autotypische Farbmischung	7
5	Der sechsteilige Farbkreis	7
6	Die Farbdarstellung im Computer	8
7	Farbmodelle	9
7.1	Das HSB-Farbmodell	9
7.2	Das CIE-Yxy-Farbmodell	10
7.3	Das CIE-L*a*b*-Farbmodell	11
8	Monitor-, Druck- und Arbeitsfarbräume	12
9	Farbraumtransformationen (gamut mapping)	14
10	ICC-Profile	15
11	Literatur	17

Erweitertes Manuskript eines Vortrags, der am 16.05.2003 beim DGPh-Workshop
„Farbmanagement in der digitalen Fotografie“
in Hannover gehalten wurde.

Diese Ausarbeitung kann unter www.HansBruemmer.de als pdf-Datei abgerufen werden.

● _____

¹ Prof. Dr.-Ing. Hans Brümmer lehrte von 1975 bis 2001 an der Fachhochschule Hannover Grundlagen der Informationstechnik und Mikroprozessortechnik. Er ist Vorstandsmitglied der Sektion Wissenschaft und Technik der Deutschen Gesellschaft für Photographie (DGPh).

1 Vorbemerkung und Ziele

Bildbearbeitung und Grafikerstellung am Computer sind relativ einfach geworden, seit es entsprechende Computerprogramme gibt. In vielen Fällen erhält man schnell ein Ergebnis, das oft jedoch nicht befriedigt. Die Programme bieten tolle Effekte und unglaubliche Filter; man wird überwältigt von den vielen Möglichkeiten. In der Praxis werden diese Eigenschaften aber selten benutzt. Häufig möchte man nur eine Bildvorlage (Negativ oder Positiv) in den Kontrasten verbessern, Farbstiche entfernen oder einfach „farbrichtig“ drucken. Dazu bedarf es - neben der Kenntnis der entsprechenden Softwareprogramme - auch eines Grundwissens über Farben, Farbmodellen und des Farbmanagements.

Diese Darstellung wendet sich an Einsteiger, die ihre Bilder mit Tinten- oder Laserdruckern selbst ausdrucken möchten. Dazu sollten sie ausschließlich im RGB-Modus arbeiten, der die volle Bandbreite aller Werkzeuge des Bildbearbeitungsprogramms zur Verfügung stellt. Die Umwandlung in den CMYK-Modus erledigt im nicht-professionellen Bereich die Druckersoftware.

Wenn die Bilddaten an eine Druckerei abgegeben werden, sollte man den dortigen Profis die Umwandlung in den CMYK-Modus (Farbseparation) überlassen. Alle CMYK-Voreinstellungen des Bildverarbeitungsprogramms sollten nur dann verändert werden, wenn für die Druckvorstufe gearbeitet wird.

Einige wichtige Zusammenhänge des Farbmanagements sollen hier kurz dargestellt werden. Diese Einführung kann die Beschäftigung mit entsprechenden Fachbüchern nicht ersetzen. Nicht behandelt werden die Möglichkeiten der unterschiedlichen Softwareprogramme. Wenn in dieser Ausarbeitung ein Programm erwähnt wird, handelt es sich immer um Adobe Photoshop.

2 Probleme des Farbmanagements

Sowohl in der analogen als auch in der digitalen Farbfotografie haben wir es mit verschiedenen *Farbräumen* zu tun. Ein Farbraum beschreibt die Menge der darstellbaren Farben eines Mediums oder Gerätes – dafür hat sich auch die englische Bezeichnung (*color*) *gamut* eingebürgert. Ein Farbraum enthält nicht unbedingt alle wahrnehmbaren Farben. Die Farbräume können sich auf die verwendete Hardware beziehen oder benutzerorientiert sein. Bedingt durch den rasanten Fortschritt in der elektronischen Bildverarbeitung werden viele Begriffe nicht einheitlich verwendet und der Leser hat oftmals Orientierungsprobleme.

In der analogen Farbfotografie überlassen wir es der Fotochemie, die Farben mehr oder weniger natürlich wiederzugeben. Wegen der Kompliziertheit der fotochemischen Verfahren haben wir nur wenige Möglichkeiten, sie selbst auszuführen.

Die Schichten unserer Farbfilme sind für die drei additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau empfindlich (RGB-Farbraum). Bei der Entwicklung entstehen die dazu komplementären Grundfarben Cyan (Blaugrün), Magenta (Purpur = Blaurot) und Yellow (Gelb) – aus diesen baut das Farbbild oder Farbdia mittels subtraktiver Farbmischung das Bild auf (CMY-Farbraum). Daraus wird für den Vierfarbendruck der um Schwarz erweiterte Modus CMYK generiert.

Nach dem Scannen des Bildes erfolgt die interne Bearbeitung im Bildbearbeitungsprogramm im standardisierten und geräteunabhängigen CIE-Lab-Farbraum, wovon der Benutzer aber nicht unbedingt etwas bemerkt. Da die verschiedenen Farbräume unterschiedlich groß sind, führen die erforderlichen Umwandlungen von einem Farbraum in einen anderen dazu, dass Farbabweichungen auftreten können.

In der digitalen Fotografie können wir alle Prozess-Schritte von der Aufnahme oder dem Scan bis zum gedruckten Bild selbst erledigen und dabei in jeder Stufe optimierend eingreifen. Vor der Einführung des *Desk Top Publishing* (DTP) waren die Systeme der *Elektronischen Bildverarbeitung* (EBV) geschlossen und die einzelnen Komponenten (Scanner, Monitor, Drucker, Belichter) konnten daher noch relativ einfach aufeinander abgestimmt werden. Bei offenen DTP-Systemen ist dieses nicht mehr so einfach, da eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte von verschiedenen Herstellern eingesetzt wird, die alle aufeinander abgestimmt werden müssten.

In technischen Geräte treten bei der Umsetzung einer physikalischen Größe in eine andere immer Fehler auf – zum Beispiel weichen beim Scannen eines Bildes die in der Bilddatei gespeicherten Farben etwas von den Farben der Vorlage ab. Werden diese Farben auf dem Bildschirm des Computers angezeigt, entstehen aufgrund der Eigenschaften der Leuchtphosphore weitere Farbabweichungen. Die Farben des Monitors (und die gescannten Farben) stimmen wiederum nicht genau mit den durch den Drucker erzeugten Farben überein. Man erhält sogar in den meisten Fällen unterschiedliche Ergebnisse, wenn die gleiche Datei auf zwei unterschiedlichen Geräten ausgegeben wird. Wie diese Probleme gemeistert werden können, ist Gegenstand des Kapitels 10 - das Stichwort lautet ICC-Profile.

Die angedeuteten Probleme erfordern, dass Farbe in irgend einer Form mathematisch beschrieben werden muss und dadurch kommunizierbar wird. In den folgenden Abschnitten werden einige Farbmodelle erläutert, die für die Bildverarbeitung von Bedeutung sind.

3 Licht und Farbe

Fotografie bedeutet „Schreiben mit Licht“. Licht besteht aus elektromagnetischen Schwingungen mit Wellenlängen zwischen etwa 380 und 780 nm (Bild 1). Wenn alle Wellenlängen des sichtbaren Spektralbereichs mit ähnlichen Intensitäten auftreten, erscheint das Licht weiß, wobei die

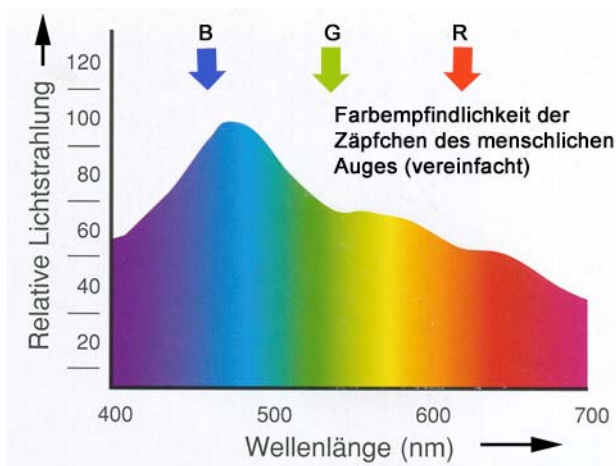


Bild 1: Relative spektrale Strahlungsverteilung von Tageslicht (Ausschnitt).

Helligkeit von der gesamten Intensität abhängt.

Jeder hat das sichtbare Spektrum des Sonnenlichtes schon als Regenbogen bewundert. Diese atmosphärische Erscheinung entsteht durch Lichtbrechung und Reflexion an Wassertropfchen in der Luft. Jeder Wellenlänge des sichtbaren elektromagnetischen Spektrums entspricht ein ganz bestimmter Farbton, den das menschliche Auge wahrnimmt. Licht mit einer Wellenlänge von etwa 750 Nanometern erscheint rot; violett beginnt bei etwa 380 Nanometern. Dazwischen liegen vom Violetten zum Roten fortschreitend die Wellenlängen für blaues, grünes, gelbes und orangefarbenes Licht.

Besitzt das Licht nur einen sehr engen Spektralbereich, dann liegt eine reine Spektralfarbe vor. Solche Farben kommen in der Natur sehr selten vor. Ein Beispiel für ihre künstliche Erzeugung ist das gelbe Licht von Natriumdampflampen. Die meisten Farben umfassen mehrere Wellenlängen bzw. verschiedene Teilbereiche des sichtbaren Spektrums. Die wahrgenommene Farbe hängt vom Intensitätsverhältnis der auftretenden elektromagnetischen Wellen ab. Die Helligkeit wird durch die Gesamtintensität bestimmt.

Die Wahrnehmung von Farben ist ein äußerst komplexer neurophysiologischer Vorgang. Die menschliche Netzhaut enthält lichtempfindliche Rezeptoren, welche die Photonen (Lichtquanten) absorbieren und in elektrische Signale umwandeln, die danach zum Gehirn gesandt werden. Das Auge besitzt zwei unterschiedliche Typen von Rezeptoren: die farbsensitiven Zapfen und die farbenblinden, aber empfindlicheren Stäbchen. Im menschlichen Auge gibt es drei Zapfentypen, welche für die Grundfarben Rot, Grün und Blau sensibel sind (Bild 1). Nach der *trichromatischen Theorie des Farbsehens* von Young und Helmholtz sind aus diesen Grundfarben alle anderen Farben mischbar und somit für die Netzhaut mit diesen drei Rezeptortypen erkennbar.

Farbe ist ein durch das Auge vermittelter Sinneseindruck und daher eine subjektive Größe. Aus diesem Grunde bleibt die visuelle Farbestimmung immer ungenau und schlecht reproduzierbar. An dieser Stelle sei David. H. Hubel zitiert, der 1981 den Nobelpreis für seine Forschungen auf dem Gebiet des Farbsehens erhielt: „Das Problem der Farbe und des Farbsehens ist noch immer schlecht verstanden - selbst unter Künstlern, Physikern und Biologen.“

4 Farbmischung

Dieselbe Farbempfindung kann also sowohl durch Farben eines engen Spektralbereichs als auch durch unterschiedliche Mischungsverhältnisse verschiedener Farben entstehen. Beispielsweise enthält eine Mischung aus rotem und grünem Licht keinerlei Wellen mit der Wellenlänge des rein gelben Lichtes. Dennoch kann es dem menschlichen Auge bei geeignetem Intensitätsverhältnis der Wellen als ebenso gelb erscheinen wie die reine Spektralfarbe der Natriumdampflampe.

Bei der Farbmischung entsteht eine von den Ausgangsfarben verschiedene Mischfarbe. Eine *additive Farbmischung* ist eine Kombination mehrerer *Farbvalenzen*². Sie kommt zustande, wenn zwei oder mehr unterschiedliche Farbreize gleichzeitig (z.B. durch Übereinanderprojektion) oder in rascher periodischer Folge (z.B. durch eine rotierende Farbscheibe) die gleiche Netzhautstelle erregen, oder wenn sie unterhalb der Auflösungsgrenze des Auges³ dicht nebeneinander liegende Netzhautpunkte treffen (wie beim Farbfernsehen oder Farbrasterdruck). Die additive Farbmischung gehorcht einfachen Gesetzen, welche die Grundlage für die Farbenlehre bilden. Von *subtraktiver Farbmischung* spricht man, wenn Farbstoffe gemischt werden (Farbkasten) oder Strahlung durch hintereinander angeordnete Farbfilter spektral beeinflusst wird. Im Unterschied zur additiven ist die subtraktive Farbmischung ein physikalisch-optischer Vorgang, der z.B. beim Farbdruk verwendet wird.

4.1 Die additive Farbmischung

Mit den *Primärfarben Rot, Grün und Blau* kann durch Mischen entsprechender Anteile jede beliebige Farbempfindung hervorgerufen werden. Wird blaues, grünes und rotes Licht gleicher Intensität übereinander projiziert (addiert), entsteht weißes Licht (Bild 2). Rot, Grün und Blau werden auch als *additive Grundfarben* oder als *Lichtfarben* bezeichnet.

● _____

² Farbvalenz: Maß für die Farbempfindung; kennzeichnet diejenige Wirkung eines Farbreizes, die für sein Verhalten in der additiven Farbmischung maßgebend ist. Jede Farbvalenz kann aus drei Farbmaßzahlen, die nicht durch Mischung auseinander hervorgehen, charakterisiert werden.

³ Das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges beträgt in grober Näherung 1/1000 des Betrachtungsabstandes. Siehe auch: Brümmer: Auflösungsprobleme in der digitalen Fotografie (www.HansBruemmer.de).

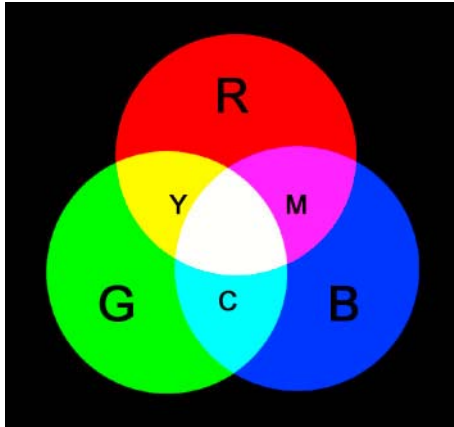


Bild 2: Additive Farbmischung

Mischt man nur zwei dieser Farben zu gleichen Teilen, entstehen hieraus wiederum neue Farben. Aus Blau und Grün wird ein leuchtendes Hellblau, genannt Cyan (C). Aus Rot und Blau entsteht ein leuchtendes Pink, genannt Magenta (M), und aus Rot und Grün wird Gelb (Yellow, Y). Die neue Lichtfarbe ist heller als die sich mischenden Farben, da sich die Strahlungsenergie *addiert*.

Der Bereich von Farben, der unter bestimmten Bedingungen oder durch ein bestimmtes Verfahren dargestellt werden kann, wird als *Farbraum* bezeichnet; in diesem Fall handelt es sich um den *RGB-Farbraum*.

Anwendungsbeispiele für die additive Farbenmischung sind Farbfernseher und Computermonitore. Bild 3a zeigt das magnetische Ablenssystem einer typischen Fernseh-

bzw. Monitorröhre. Die drei Elektronenstrahlen für die Anregung der roten, grünen und blauen Phosphorpunkte werden zeilenförmig über die Frontseite der Röhre geführt und dabei, dem Bildinhalt entsprechend, in der Intensität moduliert. Einem Bildpunkt (Pixel = picture element) sind je drei verschiedenfarbige Leuchtpunkte (Bild 3 c und d) zugeordnet. Die Leuchtpunkte liegen so dicht beieinander, dass das Auge sie nicht einzeln, sondern nur den Mischeffekt wahrnimmt. Durch eine präzise Lochmaske ist sichergestellt, dass jeder Elektronenstrahl nur Leuchtpunkte „seiner“ zugeordneten Farbe trifft. Werden alle drei Leuchtpunkte mit der gleichen Intensität angesteuert, wird im Auge die Farbwahrnehmung Weiß erzeugt.

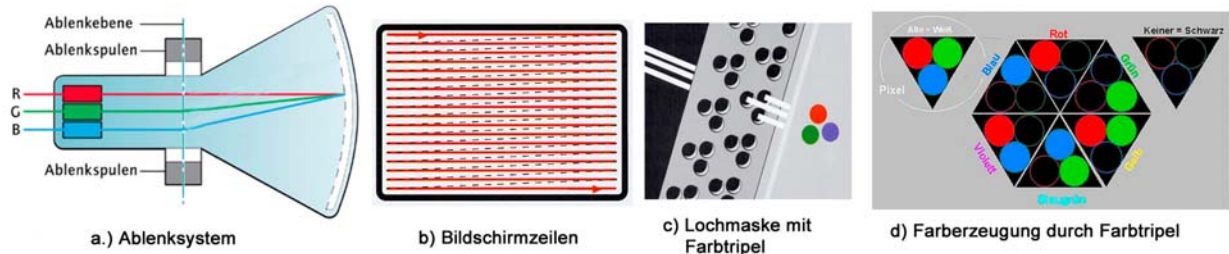


Bild 3: Ablenssystem und Farberzeugung bei Monitorröhren

4.2 Die subtraktive Farbmischung

Die meisten für das Auge wahrnehmbaren Farben entstehen dadurch, dass eine stoffliche Oberfläche aus dem auffallenden weißen Licht bestimmte Wellenlängenbereiche absorbiert und nur den Rest reflektiert (*Körperfarbe* oder *Oberflächenfarbe*). Die sichtbare Farbe resultiert aus dem Mischungsverhältnis der reflektierten Wellenlängen. Man spricht dabei von *subtraktiver Farbmischung*, da aus dem auftreffenden Licht bestimmte Farben entfernt werden. Die subtraktive Farbenmischung ergibt sich auch beim Durchgang von Licht durch farbige Filter.

Die subtraktive Farbmischung ist eine Grundlage für den *Farbdruck* in allen Druckverfahren. Hierzu benutzt man beim *Dreifarbendruck* drei Teilfarbauszüge: je einen für Cyan, Magenta und Yellow. Durch Übereinanderdruck dieser drei Farben lassen sich zusammen mit dem Weiß des Bedruckstoffes alle Mischfarben erzielen; die Farben müssen lasierend (durchscheinend) sein.

Beim *Vierfarbendruck* (Bild 6) kommt Schwarz zur Unterstützung der Zeichnung und zur Verbesserung des Schwarzgehalts hinzu.

Bild 4 soll die Entstehung von Körperfarben veranschaulichen. Werden aus dem weißen Licht (bestehend aus R, G und B) zwei der drei Grundfarben entfernt, bleibt eine (additive) Grundfarbe übrig (Mitte in Bild 4).

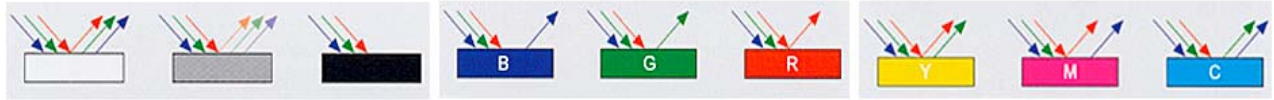


Bild 4: Entstehung der Körperfarben

Wird jedoch nur eine der Grundfarben absorbiert, entsteht eine neue Farbe: Beim Entfernen von Rot entsteht Cyan (= Blau + Grün; Bild 4, rechts). Bei der Absorption von Grün bleibt Magenta (= Blau + Rot) übrig und bei der Entfernung von Blau entsteht Gelb (Yellow = Grün + Rot). *Cyan, Magenta* und *Yellow* werden auch *subtraktive Grundfarben* genannt. Im Gegensatz zu den *Lichtfarben* werden sie auch als *stoffliche Farben* bezeichnet.

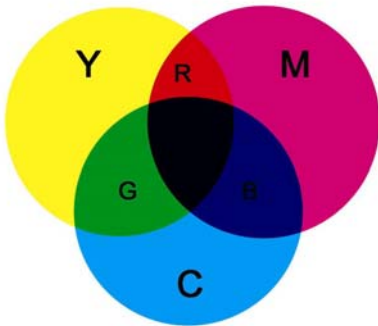


Bild 5: Subtraktive Farbmischung

Die *subtraktiven Grundfarben* entstehen also, wenn bei der Farbmischung nur zwei der drei additiven Grundfarben vorhanden sind (siehe auch Bild 2). Die dritte Farbe, die zur additiven Bildung von Weiß noch fehlt, nennt man *Ergänzungsfarbe* (zu Weiß) oder *Komplementärfarbe*. Die Komplementärfarbe wird bei der Entstehung der subtraktiven Farben dem weißen Licht entzogen. Zum Beispiel ist Blau komplementär zu Yellow, denn dieses entsteht aus Rot und Grün – zu Weiß fehlt daher noch Blau. Die additive Farbmischung mit der jeweiligen Komplementärfarben ergibt Weiß.

Beim Mischen gleicher Anteile von *Farbpigmenten* der Farben Cyan, Magenta und Yellow sollten alle Anteile des weißen Lichtes absorbiert werden und beim Druck Schwarz entstehen (Bild 5). Wegen der nicht idealen physikalischen Eigenschaften der Pigmente gelingt dieses jedoch nicht – es entsteht oft ein dunkles Braun. Daher wird beim Drucken Schwarz hinzugefügt, um eine ausreichende Tiefe zu erreichen. Der normale Vierfarbdruck erfolgt auf der Basis CMYK, wobei K für Black steht; manchmal wird auch der Ausdruck Keycolor (= Schlüsselfarbe) verwendet.

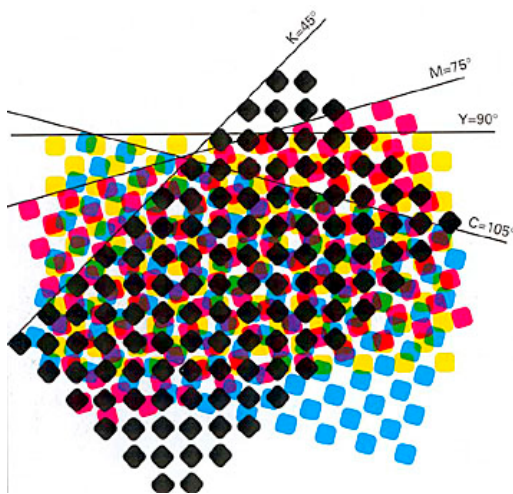


Bild 6: Druckraster beim Vierfarbendruck

Bild 6 zeigt die farbigen Druckraster beim Vierfarbendruck. Die vier Druckraster sind um die Rasterwinkel gegeneinander verdreht, um das Entstehen von Moiré-Mustern bei regelmäßigen Bildstrukturen zu minimieren. An den Stellen, an denen sich alle vier Raster schneiden, entstehen Rosettenmuster. Bei Tintendruckern werden die Druckerpunkte der vier Farben unregelmäßig verteilt, was die Tonwertübergänge gegenüber dem Rasterdruck erheblich verbessert.

Ein weiterer Grund für den Zusatz von Schwarz liegt in dem Umstand, dass ein Grauton sowohl durch den Druck von gleichen Anteilen der drei subtraktiven Grundfarben als auch durch den Druck mit schwarzer

Farbe erzielt werden kann. Die beiden dafür verwendeten Techniken heißen *Unterfarbenreduktion* (UCR, *Under Color Removal*) und *Unbuntaufbau* (GCR, *Grey Component Removal*). Beim *Under Color Removal* werden an dunklen und neutralen Bildstellen die Anteile von Cyan, Magenta und Gelb zugunsten einer entsprechenden Menge Schwarz reduziert.

Gray Component Replacement ist ein Verfahren, bei dem genau berechnete Anteile von Cyan, Magenta und Yellow, welche zusammen Grau ergeben, durch einen entsprechenden Anteil schwarzer Druckfarbe ersetzt werden. Dies geschieht vor allem in den neutralen Farbtönen und in den Graukomponenten von ungesättigten Farben. Durch diese Verfahren können die benötigte Farbmenge reduziert und Farbverschiebungen vermieden werden. Für Benutzer von Tinten- und Farb-Laserdruckern sind diese Techniken ohne Bedeutung.

4.3 Die autotypische Farbmischung⁴

Die Farbmischung beim *Farbdruck* wird im allgemeinen als subtraktive Mischung erklärt. Da die sich die Farbpunkte des Druckrasters jedoch nur zum Teil überdecken (Bild 6), tritt neben der subtraktiven Farbmischung auch eine additive Farbmischung auf. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Größe der einzelnen Punkte so klein ist, dass das Auge sie nicht mehr unterscheiden kann – so entsteht der Eindruck einer gleichmäßigen Mischfarbe.

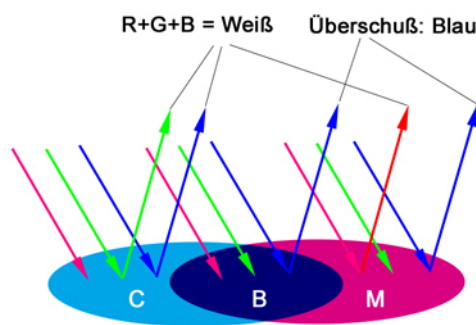


Bild 7: Die autotypische Farbmischung

In Bild 7 sind in der Mitte die Farben Cyan und Magenta übereinander gedruckt. Bei *lasierenden* Druckfarben (bei denen der Untergrund durchscheint) entsteht dabei die subtraktive Mischfarbe Blau. Im benachbarten Cyan wird der grüne und blaue Anteil und vom Magenta der rote und blaue Teil des weißen Lichts zurückgestrahlt. Rot, Grün und Blau addieren sich wieder zu Weiß und aus dem blauen Überschuss entsteht der entsprechende Farbeindruck.

5 Der sechsteilige Farbkreis

Lichtfarben (R, G, B) und stoffliche Farben (C, M, Y) stehen in einem sehr engen Verhältnis zueinander. Aus zwei beliebigen Farben der einen Art entsteht immer eine Farbe der anderen Art. Darüber hinaus gibt es zu jeder Farbe das Gegenstück im anderen Modell – die Komplementärfarbe. Diese Zusammenhänge kann man sich einfach am sechsteiligen Farbkreis verdeutlichen (Bild 8).

Jede Farbe lässt sich aus den beiden Nachbarfarben bilden. Gelb wird aus Rot und Grün additiv gebildet, Rot besteht aus Magenta und Gelb. Auf der gegenüberliegenden Seite des Kreises

- _____

⁴ Mit *Autotypie* werden Druckverfahren bezeichnet, bei denen unterschiedliche Tonwerte durch Rasterung entstehen.

Rasterung: Verfahren zum Erzeugen von Mischtönen und Graustufen. Die Bildpunkte werden zu größeren Einheiten (Zellen) zusammengefasst, die aus größerem Abstand wie einzelne Punkte wirken, z.B. drei schwarze und ein weißer, die zusammen den Eindruck eines dunkelgrauen Mischtons erzeugen. Das Rastern verbessert zwar die Farbqualität, verringert aber faktisch die Auflösung.

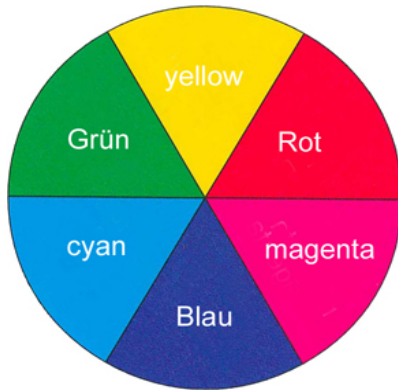


Bild 8: Sechsteiliger Farbkreis

befindet sich die jeweilige Komplementärfarbe. Für Gelb ist es Blau, für Rot ist es Cyan. Je stärker auch die Komplementärfarbe in einem Farbton vertreten ist, desto ungesättigter ist der Farbeindruck.

Die Komplementärfarbe ist in der Bildbearbeitung sehr wichtig. Farben treten in Bildern selten völlig rein auf – zum Beispiel besteht Rot nicht nur aus Magenta und Yellow. In den meisten Fällen ist auch etwas Cyan vorhanden. Bei der Veränderung von Rot ist es oft wirksamer, die Komplementärfarbe zu verändern als die Anteile von Magenta und Yellow zu beeinflussen.

Ist keine Komplementärfarbe vorhanden, ist die Farbe gesättigt. Bei Rot entspräche dieses 0% Cyan, 100% Magenta und 100% Yellow.

Bilder, die mit einem Scanner oder einer Digitalkamera eingelesen und anschließend gedruckt werden sollen, müssen vor dem Drucken vom RGB- in den CMYK-Farbraum umgewandelt werden (*Farbseparation*). Im nicht-professionellen Bereich erfolgt dieses – vom Anwender unbemerkt – direkt im Druckertreiber des Tintenstrahl-Druckers. Soll das Bild als Vorlage für den Offsetdruck dienen, sollte die Farbseparation in enger Abstimmung mit der Druckerei erfolgen.

6 Die Farbdarstellung im Computer

R G B	dezimal	dual
	255	1111 1111
	254	1111 1110
	253	1111 1101
	.	.
	.	.
	.	.
	129	1000 0001
	128	1000 0000
	127	0111 1111
	.	.
	.	.
	.	.
	002	0000 0010
	001	0000 0001
	000	0000 0000

Bild 9: 8-Bit-Digitalisierung der RGB-Farben

Bildschirmfarben entstehen durch additive Farbmischung; die meisten Bearbeitungsvorgänge bei der Bildbearbeitung erfolgen ebenfalls in diesem Farbraum. Jede Farbe hat also einen Rotwert, einen Grünwert und einen Blauwert. Jeder der drei Werte wird durch eine Zahl zwischen 0 und 255 definiert.

Diese Werte basieren auf der Arbeitsweise der Computer mit einer 8-stelligen Dualzahl als Basiseinheit, die *Byte* genannt wird (Bild 9). Durch ein Byte können 256 verschiedene Werte dargestellt werden, die den Dezimalzahlen 0 bis 255 entsprechen⁵. 256 Stufen je Farbwert sind ausreichend, wenn diese wirklich zur Verfügung stehen. Da bei der Bildbearbeitung bei allen Arbeitsschritten Rundungsfehler auftreten, stehen oft nur 7 oder 6 Bit als Farbinformation zur Verfügung, was nur 128 oder 64 Stufen je Farbe entspricht; dieses führt dann zu deutlich sichtbaren Farbtonabrissen.

Wenn die Randbedingungen (Scanner, Kamera, Bildbearbeitungssoftware) dieses zulassen, sollte im 16-Bit-Mode gearbeitet werden.

⁵ Siehe auch: Brümmer: Auflösungsprobleme in der digitalen Fotografie, Abschnitt 4. www.HansBruemmer.de

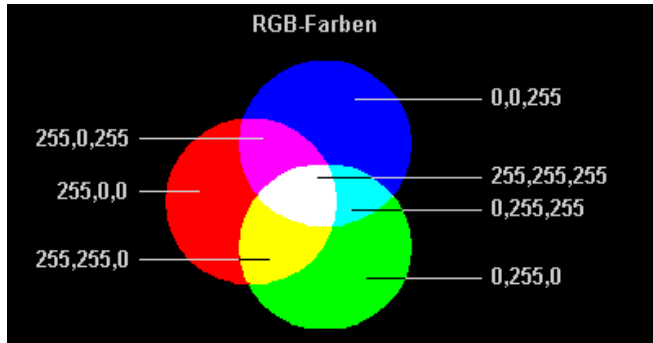


Bild 10: Definition von RGB-Farben

Das Prinzip der 8-Bit-Darstellung wird in Bild 9 und Bild 10 vereinfacht dargestellt. Der Wert 0 bedeutet, dass kein Anteil an der betreffenden Grundfarbe vorhanden ist. Der Wert 255 bedeutet maximalen Anteil an der betreffenden Grundfarbe. Reines Rot hat somit die Werte RGB 255,0,0. Die Rot-, Grün-, und Blauwerte in reinem Schwarz betragen jeweils 0, während eine Farbkombination von 100 % Rot, 100% Grün und 100% Blau (also RGB 255, 255, 255) reines Weiß ergibt, woraus auch das Prinzip der

additiven Farbmischung deutlich wird. Bild 10 stellt eine Erweiterung von Bild 2 dar: Mit diesem Schema können bis zu $256 \times 256 \times 256 \approx 16,7$ Mio. unterschiedliche Farben definiert werden. Diese Zahl ist zwar sehr beeindruckend; sie ist jedoch irreführend und eignet sich mehr für Werbezwecke.

Da es beispielsweise sehr viele verschiedene Rottöne gibt, muss also definiert werden, welche Farbe mit der Angabe „Rot“ gemeint ist. Dieses erfolgt durch die Festlegung eines bestimmten *Arbeitsfarbraumes* in Adobe Photoshop (Kapitel 8).

7 Farbmodelle

Farbmodelle sind 3D-Koordinatensysteme, die alle sichtbaren Farben eines bestimmten *Farbraums* (color gamut) enthalten. Farbraum ist die Bezeichnung für einen Bereich von Farben, der unter bestimmten Bedingungen oder durch ein bestimmtes Verfahren dargestellt werden kann, z.B. RGB oder CMYK. Im folgenden sollen drei für die Bildbearbeitung wichtige Farbmodelle kurz dargestellt werden.

7.1 Das HSB-Farbmodell

Diese vom RGB-Farbmodell abgeleitete Darstellung basiert auf der menschlichen Farbwahrnehmung und beschreibt eine Farbe mit den Begriffen *Hue* (Farbton), *Saturation* (Sättigung) und *Brightness* (Helligkeit). Das Modell stellt sich als tonnenförmiges Gebilde dar, welches die

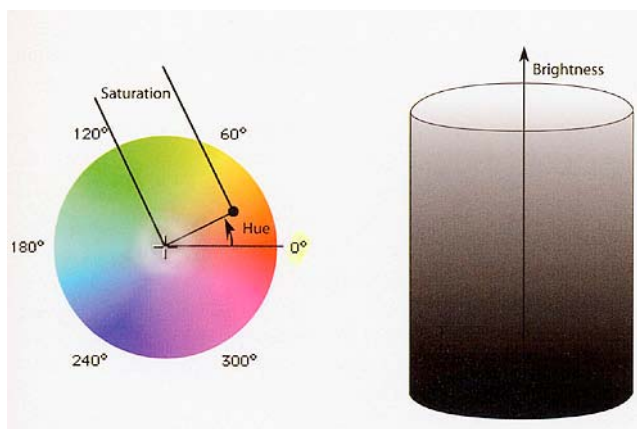


Bild 11: Das HSB-Farbmodell

Farbebenen enthält – von unten nach oben mit stetig steigender Helligkeit.

Der Farbton wird als Gradzahl zwischen 0 und 360 Grad auf dem Standard-Farbkreis angegeben, mit Rot als Bezugsfarbe (0°).

Die Sättigung ist die Stärke oder Reinheit der Farbe. Sie beschreibt den Grauanteil im Verhältnis zum Farbton und wird als Prozentwert zwischen 0 % (grau) und 100 % (gesättigt) gemessen. Auf dem Standard-Farbkreis nimmt die Sättigung von der Mitte zum Rand hin zu.

Die Helligkeit ist die relative Helligkeit oder Dunkelheit der Farbe, die meistens als

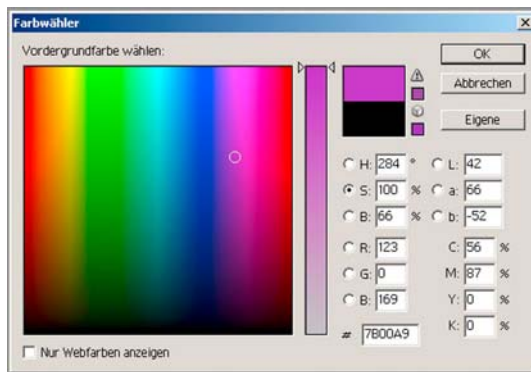


Bild 12: Farbwähler in Photoshop

Prozentwert zwischen 0 % (Schwarz) und 100 % (Weiß) gemessen wird. Die Farbfolge des Farbkreises in Bild 11 ist ähnlich aufgebaut wie der sechsteilige Farbkreis nach Bild 8, erweitert um die Zwischentöne und die stetig steigende Farbsättigung von innen nach außen (hier drucktechnisch nicht darstellbar).

Das HSB-Modell wird z.B. zur Definition einer Farbe im Dialogfeld „Farbwähler“ in Adobe-Photoshop (Bild 12) verwendet.

Im Farbwähler lassen sich die Werte der durch den kleinen Kreis im Farbfeld definierten Farbe auf der rechten Seite in vier verschiedenen Farbmodellen ablesen und auch einstellen: Im HSB-, RGB-, Lab- und im CMYK-Farbmodell.

7.2 Das CIE-Yxy-Farbmodell

Bereits im Jahre 1931 wurde von einer internationalen Kommission das in Bild 13 dargestellte Farbdreieck festgelegt, das wegen seiner Form auch *Schuhsohle* genannt wird⁶. Dieses Norm-

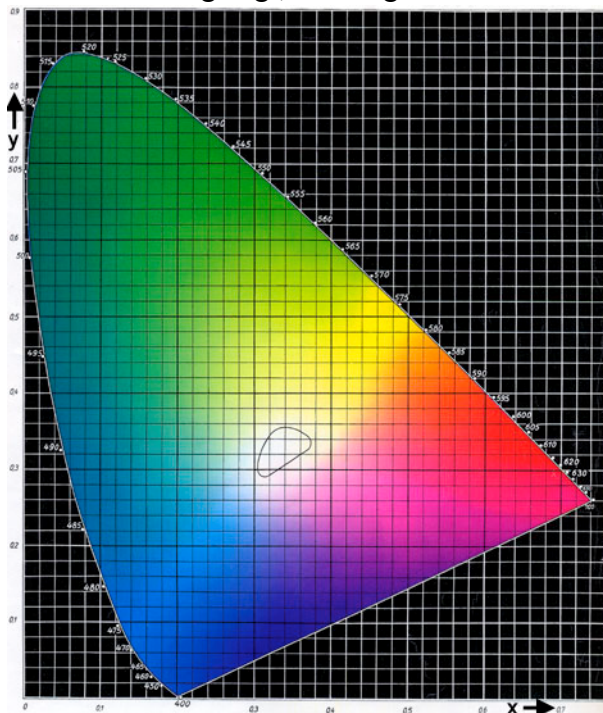


Bild 13: Das CIE-Yxy-Farbdreieck („Schuhsohle“)

farbsystem beruht nicht auf einem technischen Gerät, sondern 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.

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

Bei $x = 0,333$ und $y = 0,333$ liegt *Unbunt* (Weiß bis Schwarz, je nach Helligkeit). Zwischen dem Unbuntpunkt und den gesättigten Spektralfarben 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.

- _____

⁶ Informationen über Farbmodelle siehe auch www.colors-system.com.

Mit diesem Modell ist es möglich, das Farbspektrum von Monitoren und den verschiedenen Druckfarben anschaulich darzustellen (siehe Kapitel 8).

7.3 Das CIE-L*a*b*-Farbmodell

Das CIE-Yxy-Farbdreieck (Bild 13) beruht auf der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges. Bei diesem System tritt das Problem auf, dass die Abstände zwischen den Farben nicht den empfundenen Farbunterschieden entsprechen (sie sind nicht *gleichabständig*). Die grünen Farben nehmen im Farbdreieck einen sehr weiten Raum ein.

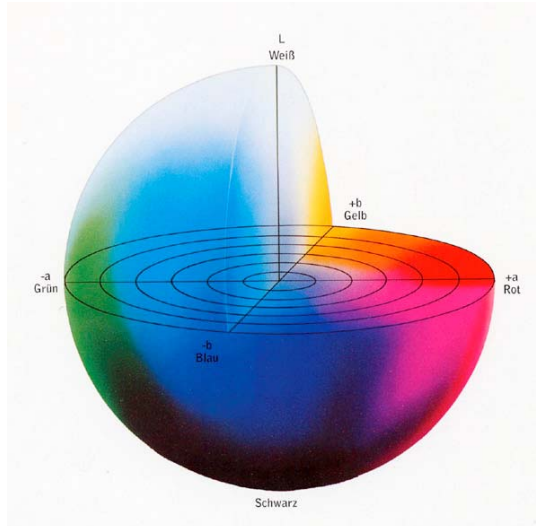


Bild 14: Das CIE-L*a*b*-Farbmodell

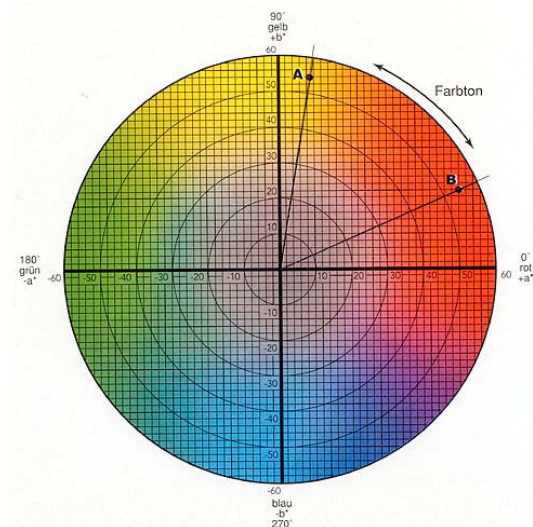


Bild 15: Farbdefinition im Lab-Farbmodell

Um diese Unzulänglichkeiten zu überwinden, wurde von der CIE 1976 das L*a*b*-Farbmodell entwickelt (Kurzform: CIE-Lab-Modell oder auch Lab-Modell. Die Sterne haben eine historische Bedeutung). Das Modell dient der geräteunabhängigen Farbbeschreibung und umfasst die Farbräume des RGB- und des CMYK-Modells.

Das Lab-Farbmodell hat die Form einer Kugel (Bild 14). Die vertikale L-Achse beschreibt die Helligkeit (Lightness). 0% entspricht Schwarz und 100% Weiß, das vom Menschen empfundene mittlere Grau liegt in der Mitte bei $L = 50$.

Im CIE-Lab-Modell liegen alle Farbtöne gleicher Helligkeit auf einer kreisförmigen, flachen Ebene, auf der sich die a- und b-Achsen befinden (Bild 15). Positive a-Werte sind rötlich, negative a-Werte grünlich, positive b-Werte gelblich und negative b-Werte bläulich. Am Umfang der Farbscheibe liegen die reinen Farbtöne mit hoher Sättigung. Nach innen nimmt die Sättigung bis zur Achse ab, dort ist sie Null (unbunt, grau). Komplementärfarben liegen einander gegenüber. Die Helligkeit ändert sich in vertikaler Richtung von 0 (Schwarz) bis 100 (Weiß).

Wird eine Farbe in CIE-Lab definiert, so beschreibt L die Helligkeit, a den Rot/Grünwert und b den Gelb/Blauwert.

Im fotografischen Bereich und in der Druckvorstufe nimmt die Bedeutung des Lab-Farbmodells ständig zu. Photoshop arbeitet intern im Lab-Modus und der Benutzer kann dieses Farbmodell auch verwenden - Anfängern wird davon aber unbedingt abgeraten. Bei der Umwandlung von Farb- in Graustufenbilder

kann der Lab-Farbraum interessant sein, da nach dem Löschen der Farbkanäle a und b nur die Helligkeitsinformation L übrig bleibt.

8 Monitor-, Druck- und Arbeitsfarbräume

Bisher wurden die additive und die subtraktive Farbmischung erläutert sowie die Möglichkeit, Farben durch Angabe von Koordinaten im CIE-Farbdreieck oder im Lab-Farbmodell zu beschreiben. Außerdem wurde gezeigt, wie auf dem Monitor Farben durch additive Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugt werden; die Sättigung der jeweiligen Anteile wird durch eine Zahl zwischen 0 und 255 beschrieben. Der Monitor ist bei der Bildbearbeitung die „Bearbeitungszentrale“. Es interessiert daher, welche Farben von Monitor dargestellt werden können.

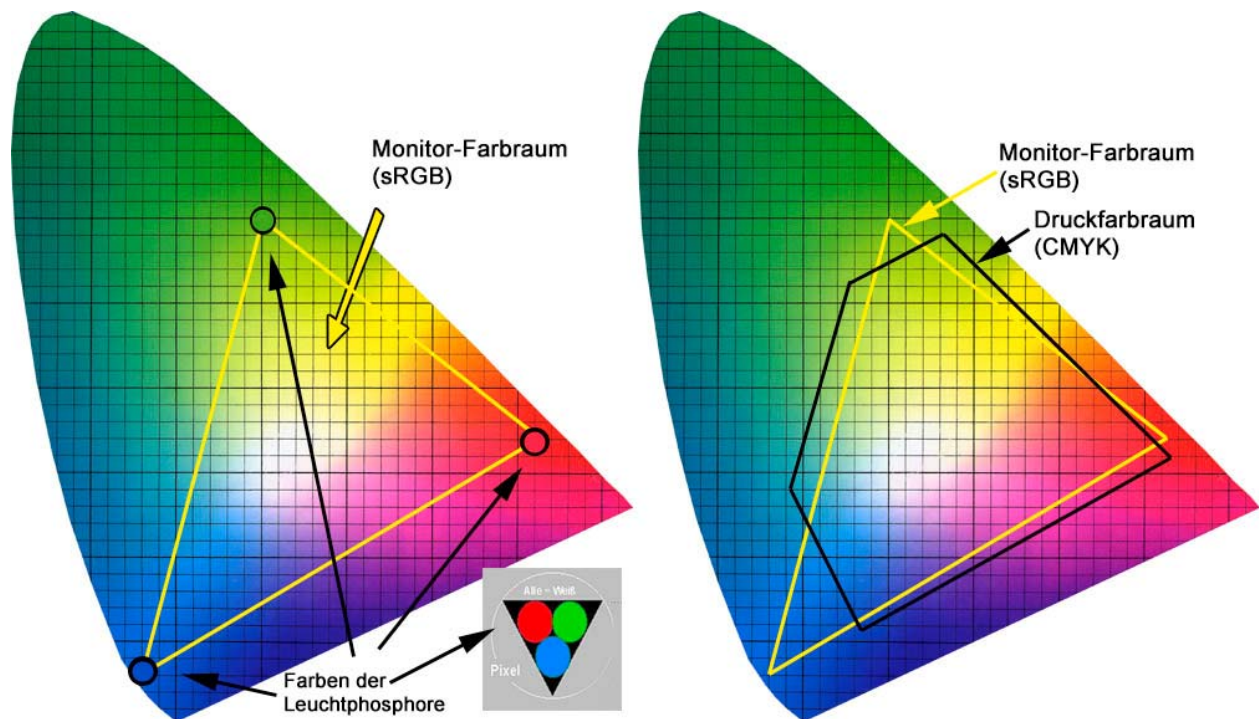


Bild 16: Monitor- und Druckfarbraum

Bild 3 c und c veranschaulichen, dass die Farbe eines Bildpunktes (pixel) durch drei Phosphorpunkte (Farbtripel) bestimmt wird, die durch drei Elektronenstrahlen zum Leuchten angeregt werden. Trägt man die Leuchtfarben der Phosphore in das CIE-Farbdreieck (Bild 16, links) ein, so spannen diese Punkte ein Dreieck auf, in welchem sich alle vom Monitor darstellbaren Farben befinden. Die einzelnen CRT-Monitore unterscheiden sich nicht sehr voneinander, da die Bildröhrenhersteller ähnliche Phosphore verwenden. Diese Aussage bezieht sich nicht auf TFT-Flachbildschirme.

Die auf dem Monitor darstellbaren Farben sind (additive) RGB-Lichtfarben. Vergleicht man diesen Farbraum mit dem (subtraktiven) CMYK-Druckfarbraum, so ergeben sich Bereiche, die entweder nicht vom Monitor oder nicht durch den Druck dargestellt werden können (Bild 16, rechts). Hier sei noch angemerkt, dass es „den“ Druckfarbraum nicht gibt; die Farbwiedergabe hängt immer von der Kombination Druckfarbe/Papier (Druckmedium) ab.

Man erkennt, dass bestimmte auf dem Monitor dargestellte Farben nicht gedruckt werden können und umgekehrt. Diese Tatsache muss man als Bildbearbeiter zuerst einmal verinnerlicht haben. Es gibt eine ganze Branche, die sich damit befaßt, den größeren Farbraum der in der

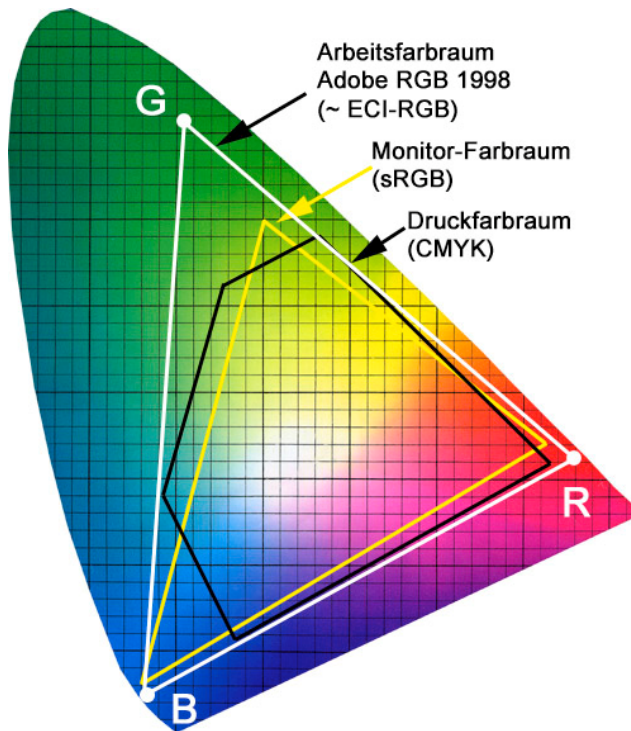


Bild 17: Arbeitsfarbraum

Natur vorhandenen additiven Lichtfarben in dem kleinen Farbraum der subtraktiven Stoff-Farben darzustellen.

Es gibt jedoch noch ein weiteres Problem. In Kapitel 6 (Bild 10) wurde gezeigt, dass der Computer die Farben in einem roten, grünen und blauen Kanal darstellt. Doch welcher gesättigte rote Farbton ist der Angabe RGB 255,0,0 zugeordnet? Ist es Karmin-Rot oder Bordeaux-Rot? Es muß festgelegt werden, welche Farbe bei der Angabe (reines) Rot, Grün oder Blau gemeint ist.

Dieses erfolgt durch Festlegung der RGB-Werte im CIE-Farbdreieck - dadurch wird der so genannte *Arbeitsfarbraum* (auch *Interner Farbraum*) in Adobe Photoshop definiert. Dieser ist so festzulegen, dass er alle Farben einschließt, welche Eingabegeräte (Scanner, Kameras) erfassen und Ausgabegeräte ausgeben können. Er darf auch nicht zu groß sein, da sonst bei 8 Bit Farbtiefe (256 verschiedene Tonwerte pro Farbkanal) Abrisse in feinen Tonwert-

verläufen auftreten können. Wenn es in Farbverläufen zu Abstufungen kommt, ist möglicherweise der Arbeitsfarbraum sehr viel größer als der Scannerfarbraum.

Bei der Installation von Geräten und Bildbearbeitungsprogrammen wird häufig als Vorgabe der *sRGB-Farbraum* verwendet. Dieser besitzt den Vorteil, dass er dem Monitorfarbraum entspricht. Für die ausschließliche Bilddarstellung auf dem Monitor (z.B. Internet) ist dieses der optimale Farbraum. Da jedoch in diesem Arbeitsfarbraum die im CMYK-Farbraum druckbaren Blau- und Grüntöne beschnitten werden, muss für Druckzwecke der Arbeitsfarbraum erweitert werden.

Wenn man den Arbeitsfarbraum *Adobe RGB (1998)* verwendet, liegt man für Druckzwecke recht gut. Bild 17 zeigt, dass dieser Farbraum sowohl den Monitor- als auch den dargestellten Druckfarbraum umfasst. Zur Zeit wird häufig der ECI-RGB-Farbraum (www.eci.org) empfohlen, dessen Farbkoordinaten etwa Adobe RGB entsprechen (nicht zu verwechseln mit CIE-RGB!). Die beiden Farbräume unterscheiden sich im Gamma-Wert⁷ und in der Definition des Weißpunktes⁸. Auf Details kann in dieser Übersichtsdarstellung nicht eingegangen werden.

Der Arbeitsfarbraum wird bei Photoshop unter *Bearbeiten/Farbeinstellungen* gewählt. Die Information über den gewählten Arbeitsfarbraum lässt sich zusammen mit dem Bild abspeichern (einbetten). Dadurch sieht das Bild auf anderen Computern so aus wie auf dem eignen Rechner – vorausgesetzt, dass dort entsprechende *Profile* installiert sind. Wenn der ECI-RGB-Farbraum nicht zur Verfügung steht, kann er unter der oben angegebenen Web-Adresse bezogen werden.

•

⁷ Die von einem Monitor produzierten Werte von Schwarz bis Weiß sind nicht linear. Auf einem Diagramm bilden sie keine gerade Linie, sondern eine Kurve. Mit dem Gamma-Wert wird der Verlauf dieser Kurve auf halbem Weg zwischen Schwarz und Weiß definiert. Die Gamma-Anpassung gleicht die nicht lineare Tonreproduktion von Ausgabegeräten wie Monitorröhren aus.

⁸ Die Koordinaten, an denen die roten, grünen und blauen Phosphor-Farben bei voller Intensität Weiß ergeben.

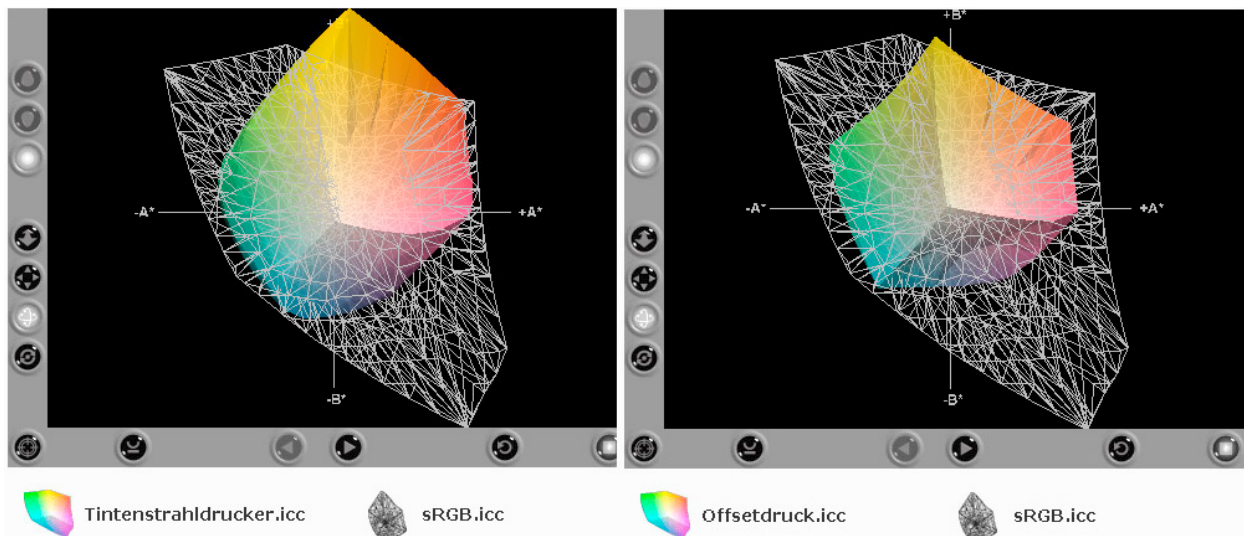


Bild 18: Vergleich der Farbräume des Tinten- und des Offsetdrucks mit dem sRGB-Farbraum im Lab-Farbmodell

Welche Folgen ein zu kleiner Arbeitsfarbraum haben kann, zeigt Bild 18⁹. Die zweidimensionale Darstellung der „Schuhsohle“ ergibt leicht einen falschen Eindruck von der Größe eines Farbraums, da die Wiedergabe der Farben auch von der Helligkeit (L-Achse) abhängig ist. Erst die Darstellung im dreidimensionalen Lab-Farbraum zeigt die Verhältnisse richtig und anschaulich. Bild 18 rechts läßt erkennen, dass bei der Verwendung des sRGB-Farbraums die Farben des Offsetdrucks noch einigermaßen in den Arbeitsfarbraum „passen“, während der größere Farbraum eines Tintenstrahldruckers sehr stark beschnitten wird. Die Farbräume Adobe-RGB und ECI-RGB umfassen beide Druckfarbräume weitgehend. Es wird darauf hingewiesen, dass Druckfarbräume immer von der Drucktechnik sowie der Kombination Druckfarbe/Papier abhängig sind; Bild 18 stellt also nur ein Beispiel dar.

9 Farbraumtransformationen (gamut mapping)

Arbeitsfarbräume und CMYK-Farbräume sind also unterschiedlich groß. Wenn man den größeren RGB-Farbraum in den kleineren CMYK-Farbraum umrechnen will, muss man sich entscheiden, wie dieses geschehen soll. Für die Farbraumtransformation (engl. *gamut mapping*) stehen vier Methoden zur Wahl: *Perzeptiv/wahrnehmungsorientiert*, *relativ farbmetrisch*, *absolut farbmetrisch* und *Sättigung*. Die unterschiedlichen Umrechnungsverfahren werden auch *Rendering Intents* genannt.

Eine der wichtigsten Regeln der Bildbearbeitung ist, die Zeichnung des Originalbildes zu erhalten – dieses erfolgt bei Fotos durch die Einstellung *perzeptiv/wahrnehmungsorientiert*. Diese komprimiert alle Originalfarben so stark, dass sie mit den Druckfarben darstellbar sind. Dabei können unter Umständen auch Farben geändert werden, die eigentlich im Zielfarbraum vorhanden wären. Dieses nimmt man i.a. in Kauf, weil auf der anderen Seite *Farbunterschiede*, die außerhalb des CMYK-Farbraums liegen, erhalten bleiben. Das menschliche Auge ist empfindlicher für *Farbbeziehungen* als für spezielle Farben.

- _____

⁹ Die Darstellung stammt von der Website www.iccview.de, auf der die unterschiedlichsten Farbräume dreidimensional veranschaulicht werden.

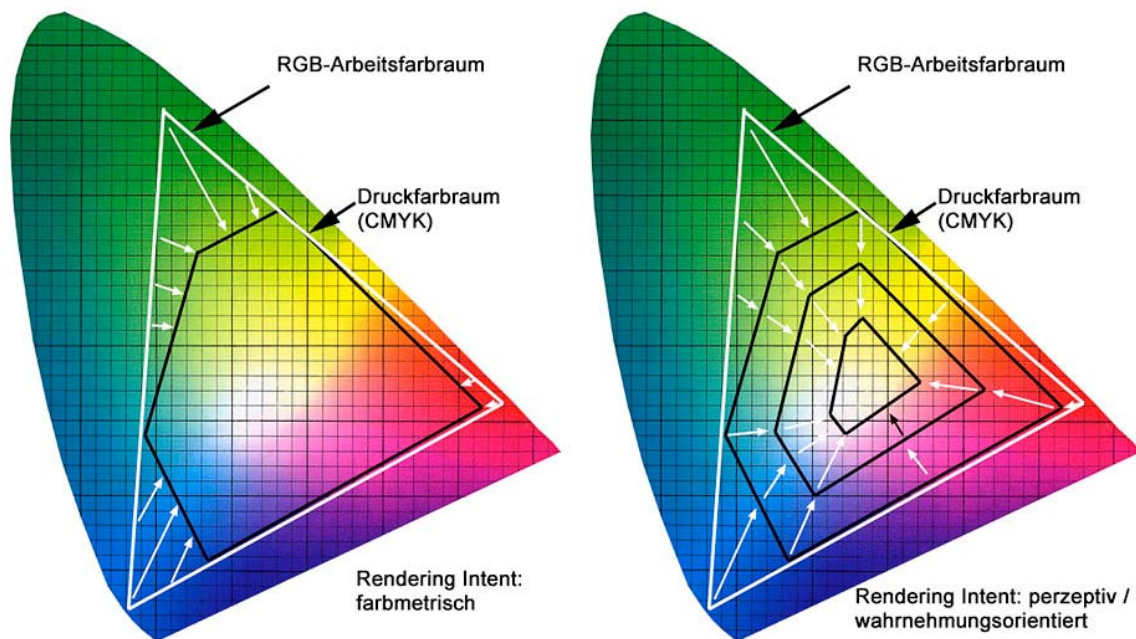


Bild 19: Rendering Intents "farbmétrisch" und "perzeptiv/wahrnehmungsorientiert"

Bei der Farbraumtransformation *perzeptiv/wahrnehmungsorientiert* wird der größere RGB-Farbraum in den kleineren CMYK-Farbraum komprimiert (Bild 19, rechts). 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 Shirts/Farbraums verändert. Farbunterschiede bleiben erhalten, auch wenn ihnen eine neue Position im Farbraum zugewiesen wird. Bei den beiden farbmétrischen Varianten werden alle Farben außerhalb des Zielfarbraums auf einen Punkt am Rande gesetzt – beim T-Shirt würden die Ränder abgeschnitten.

Die Option *Sättigung* versucht, kräftige Farben (auf Kosten der Farbtreue) zu erstellen. Der Quellfarbumfang wird in den Zielfarbumfang skaliert, aber anstelle des Farbtöns wird die relative Sättigung erhalten, so dass sich Farbtöne bei der Skalierung in einen kleineren Farbumfang verschieben können. Diese Priorität eignet sich für Geschäftsgrafiken, bei denen das Verhältnis zwischen den Farben weniger wichtig ist als leuchtende und satte Farben.

Die Einstellungen zur Farbraumtransformation erfolgen bei Photoshop 6 im Menü *Bearbeiten/Farbeinstellungen/Konvertierungsoptionen*.

10 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 (Bild 20).

Zur Beseitigung dieser Probleme gründeten eine Reihe von Industrieunternehmen, darunter Adobe, Agfa, Apple, Kodak und Microsoft, 1993 das „International Color Consortium“ (ICC)

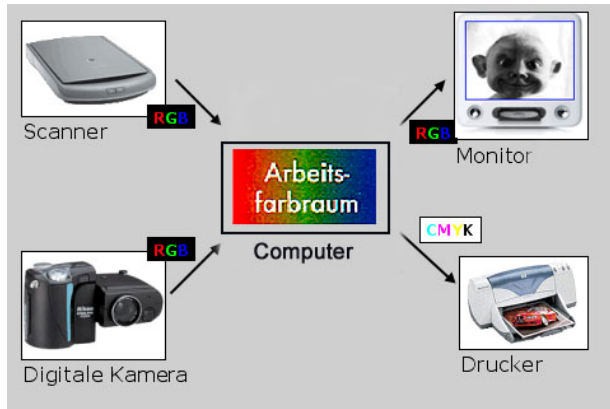


Bild 20: Verarbeitungskette der digitalen Fotografie

nissen führen. Voraussetzung ist dabei, dass sich alle Teilnehmer an bestimmte Standards halten und diese auch technisch beherrschen.

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.

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.

ICC-Profile sind Abweichungsbeschreibungen vom standardisierten CIE Lab-Farbraum.



Bild 21: IT8-Vorlage zur Scanner-Profilierung

Ein ICC-Profil entsteht, indem man die Ergebnisse eines realen Gerätes mit den idealen Werten des Lab-Farbraumes vergleicht. Zur Erstellung eines Scannerprofils nimmt man eine Vorlage mit vielen kleinen unterschiedlichen Farbfeldern (IT8-Vorlage, Bild 21) und vermisst diese mit einem Spektralphotometer, um die Lab-Werte zu bekommen. Nun lässt man den Scanner die selbe 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. In der Praxis oft ausreichende ICC-Profile für Monitore liefern auch spezielle Profilierungsprogramme, z.B. Adobe Gamma.



Bild 22: Farbmeßgerät zur Monitor-Profilierung

Für ein Ausgabeprofil druckt man bekannte 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

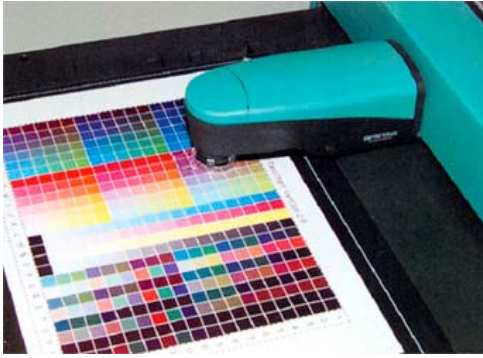


Bild23: Ermittlung eines Ausgabeprofils

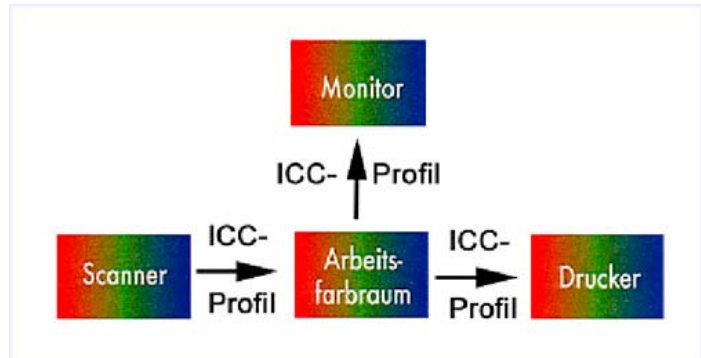


Bild 24: Einbindung der ICC-Profile in den Workflow

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 24 schematisch zeigt. An dieser Stelle konnte nur das grundsätzliche Prinzip der ICC-Profile angesprochen werden. Für weitergehende Fragen wird auf spezielle Literatur verwiesen.

11 Literatur

Agfa-Gevaert-Schriftenreihe: Einführung in die digitale Bildverarbeitung / Eine Einführung in die digitale Farbe.

Daly, Tim: Handbuch digitale Photographie. Evergreen Verlag Köln, 2000.

Dilling, Manfred: Der Übergabestandard. digit! 6-02, S. 18.

ECI-Guidelines for device-independent color data processing in accordance with the ICCStandard, www.eci.org

Fiebrand, Detlef: Farbsehen am Monitor. digit! 6-02, S. 22.

Gierling, R.: Farbmanagement. mitp-Verlag 2001.

Kopp, H.: Grundlagen der Farbmeßtechnik. Skript zum Lichttechnik-Labor. Fachhochschule Hannover, 2001.

Linotype-Hell, Eschborn: Die kreative Welt der digitalen Daten. Firmeninformation.

Marchesi, J.J.: Lehrbuch der digitalen Fotografie. Lektionen 1-20, veröffentlicht in PHOTOGRAPHIE 1998-2000.

Microsoft Windows Platform Design Notes: sRGB64 and Windows Operating Systems. Designing Hardware for the Microsoft Windows Family of Operating Systems. Stand 27.03.2000.

Rubbert, Jens und Fuchs, Dietmar: Von der Aufnahme zum Print (Colormanagement) digit! 1-03, S. 12.

Rubbert, Jens: Vom Scanner zum Belichter. digit! 4-03, S.32 .

Schurr, Ulrich: Digitale Bildverarbeitung. Vom Scannen bis zum Colormanagement. dpunkt.verlag Heidelberg, 2000.

Süsstrunk, S., Buckley, R., Swen S.: Standard RGB Color Spaces. The Seventh Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications (Jahr unbekannt, ermittelt über www.google.com)

Wargalla, Henning: Farbkorrektur mit Photoshop und Scan-Programmen. MITP-Verlag Bonn, 2001.

Wüller, Dietmar: Farbechte Bilder vom Scanner bis zum Drucker. c't 2001, Heft 19, S. 124.

X-Rite, Köln: Die Sprache der Farben. Firmeninformation, 2000.

Die große Microsoft Encarta 1999 Enzyklopädie.

Alle Rechte vorbehalten. Ein Nachdruck (auch auszugsweise) ist vom Autor schriftlich zu genehmigen.

© Prof. Dr.-Ing. Hans Brümmer, Steinberg 12, D-31832 Springe, Tel. 05041.5773