

che die Farbumrechnungen von einem gerätespezifischen **Farbraum** in einen anderen unter Verwendung von **ICC-Profilen** und eventuell eines **Umrechnungsziels** vornimmt.

Jedes Farbmanagementsystem hat ein Standard-Farbmanagementmodul, unterstützt jedoch meist auch weitere Farbmanagementmodule. Beispielsweise wird von Apple ColorSync 2.0, einem Farbmanagementsystem für Mac OS, standardmäßig das Farbmanagementmodul von Linotype-Hell verwendet, andere Farbmanagementmodule wie Kodak CMS und Agfa FotoTune werden jedoch ebenfalls unterstützt.

Farbmanagementsystem (CMS)

Ein System, das die Farbgleichheit zwischen Eingabe- und Ausgabegeräten gewährleistet. Farbmanagement ist erforderlich, weil Eingabegeräte wie Scanner und Ausgabegeräte wie Monitore und Drucker unterschiedliche **Farbräume** haben. So verwenden die meisten Eingabegeräte das RGB-Modell, in dem mehr Farben darstellbar sind als im CMYK-Farbmodell, das von Druckern verwendet wird. Auch Geräte, die das gleiche Farbmodell verwenden, können sich im Umfang der darstellbaren Farben drastisch unterscheiden. Bei Druckern hängt das Farbverhalten beispielsweise schon von der Papiersorte ab.

1993 begann man in der Computer- und Farbdruckindustrie mit der Entwicklung eines gemeinsamen Ansatzes für das Farbmanagement. Das nach dem International Color Consortium benannte ICC-Farbmanagementmodell hat drei Hauptkomponenten:

1. Einen geräteunabhängigen **Referenzfarbraum**.
2. **Geräteprofile**, die die Farbmerkmale eines bestimmten Geräts definieren.
3. Ein **Farbmanagementmodul** (Color Management Module, CMM), das anhand der Geräteprofile die Umrechnungen vom Ursprungs- in den Zielfarbraum vornimmt.

Laut ICC-Empfehlung sollen Farbraumtransformationen auf der Betriebssystemebene ausgeführt werden, damit das Farbmanagement allen Anwendungen zur Verfügung steht. Dies wurde mit dem Farbmanagementsystem ColorSync von Apple zuerst für Mac OS realisiert. Unter Windows

95 und Windows NT 4.0 erfolgt das Farbmanagement auf Anwendungsebene, beispielsweise mit Farbmanagementsystemen wie Kodak CMS und Agfa FotoTune. Unter Windows 98 und zukünftig unter Windows NT 5.0 wird das Microsoft-Farbmanagementsystem ICM 2.0 verwendet, das auf Betriebssystemebene arbeitet und das gleiche Linotype-Hell-Farbmanagementmodul einsetzt wie ColorSync 2.0.

Als geräteunabhängigen Referenzfarbraum schreibt das ICC das CIE-Lab- oder CIE-XYZ-Farbmodell vor, die beide exakt definiert und reproduzierbar sind.

Ein weiteres, das PostScript-Farbmanagementmodell, erreicht geräteunabhängiges Farbmanagement durch die Konvertierung von RGB in CMYK während des Druckens, und nicht an einer früheren Stelle des Prozesses. Als Referenzfarbraum wird CIE-XYZ verwendet. Die Funktionen von ICC-Quellprofil und Ausgabeprofil werden von einer Farbraummatrix (Color Space Array, CSA) und einem Farbumrechnungswörterbuch (Color Rendering Dictionary, CRD) erfüllt. Die grundlegende PostScript-Architektur kann auch zusätzliche Profile und Farbmanagementmodule anderer Hersteller verwenden.

Farbmodell

Das Koordinatensystem, mit dem Farben numerisch beschrieben werden. Es gibt zahlreiche solcher Modelle. Die gebräuchlichsten sind das additive Farbmodell RGB und das subtraktive Farbmodell CMY bzw. CMYK. Dazu kommen die zyklischen, auf dem Farbwinkel basierenden Modelle HSV (auch HSB) und HSL und im professionellen Bereich Lab und YCC.

Man unterscheidet *geräteabhängige* Farbmodelle (wie RGB und CMYK) und *geräteunabhängige* Farbmodelle (z.B. Lab). Darüber hinaus haben die Farbmodelle unterschiedliche **Farbräume**, was die Umrechnung von Farben problematisch macht.

Die Farbmodelle im einzelnen:

CIE-Yxy, CIE-XYZ, CIE-Lab

CIE steht für «Commission Internationale de l'Eclairage», eine internationale Normenkommission, die eine Reihe von Standards für die Farbdefinition ent-

wickelt hat. 1931 definierte die CIE genau drei Primärfarben bzw. Tristimulus-Werte: X (rot), Y (grün) und Z (blau), mit denen alle anderen, für den durchschnittlichen Betrachter sichtbaren Farben erstellt werden konnten. Das CIE-XYZ-Modell ähnelt damit dem RGB-Farbmodell. Allerdings handelt es sich bei den Primärfarben X, Y und Z um so genannte supergesättigte Farben, die in der Realität nicht vorkommen.

Im später eingeführten CIE-Yxy-Farbmodell befinden sich alle Farben mit der gleichen Helligkeit auf einer in etwa dreieckigen, flachen Ebene. Die x-Achse definiert wiederum den Rotanteil von Farben, die y-Achse den Grünanteil. Der Ursprung ($x = y = 0$) liegt jedoch nun im blauen Bereich. Die Y-Achse definiert den Wert bzw. die Helligkeit von Farben. Leider entspricht der Abstand zwischen Farben im Yxy-Modell nicht den wahrgenommenen Abständen. Es ermöglicht aber dennoch eine Einschätzung der relativen Farbräume von RGB-Monitoren und verschiedenen Sätzen von Druckfarben. Die bekannte «Hufeisendarstellung» von Farbräumen basiert auf dem Yxy-Modell.

Das nichtlineare CIE-Yxy-Modell wurde 1976 mathematisch in das einheitliche CIE- $L^*a^*b^*$ -Modell umgewandelt, kurz CIE-Lab oder Lab genannt. Dieser Farbraum wird aus der Helligkeitsachse L^* , der Rot/Grün-Achse a^* und der Gelb/Blau-Achse b^* gebildet. Er entspricht annähernd der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges, auch die Abstände zwischen den Farben stimmen gut mit der menschlichen Farbwahrnehmung überein. Photoshop arbeitet intern mit dem Lab-Modus, ebenso wie der Druckstandard PostScript Level II.

Da sie exakt definiert und geräteunabhängig sind und die RGB- und CMYK-Farbräume komplett einschließen, eignen sich alle CIE-Farbmodelle als **Referenzfarbräume** in **Farbmanagementsystemen**.

RGB

Das RGB-Farbmodell ist nach seinen Komponenten Rot, Grün und Blau benannt. Aus diesen Primärfarben lassen sich durch **additive Farbmischung**,

wie sie Monitore technisch bedingt vornehmen, fast alle sichtbaren Farben reproduzieren. Im Modell bilden die Primärfarben die positiven Achsen eines kartesischen Koordinatensystems. Die Hauptdiagonale des von den Achsen vom Ursprung bis zum Wert 1 (vollgesättigte Farbe) aufgespannten Einheitswürfels repräsentiert die Grauwerte. Schwarz liegt im Ursprung, Weiß im Punkt (1,1,1). Statt in normierten Werten von 0 bis 1 bzw. in Prozentwerten werden die Farbkoordinaten oft als Grauwerte bzw. Tonstufen einer 8-Bit-Skala (mit 256 Stufen) angegeben. 1 oder 100% entspricht dann dem Wert 255. Das RGB-Modell ist im Blau-Grün-Bereich großzügig, im Grün-Rot-Bereich, in dem man Orange- und Gelbtöne findet, jedoch eingeschränkt. Da die Primärfarben selbst nicht eindeutig definiert sind, ist es geräteabhängig. Das hat seiner großen Verbreitung jedoch nicht geschadet – viele Ein- und Ausgabegeräte arbeiten nach dem RGB-Modell, Bilddateien werden meist in diesem Modus gespeichert. Um auf unterschiedlichen Geräten reproduzierbare Farben zu gewährleisten, ist ein **Farbmanagementsystem** notwendig.

CMY

Das CMY-Modell (Cyan, Magenta, Yellow) ist ein subtraktives Farbmodell und sozusagen die Umkehrung von RGB. Der Ursprung des Koordinatensystems repräsentiert Weiß, die Mischung der voll gesättigten Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb ergibt Schwarz. Das entspricht dem physikalischen Vorgang der Reflexion weißen Lichts. Die Umrechnung zwischen RGB- und CMY-Modell erfolgt nach folgenden Formeln:

$$[C, M, Y] = [1, 1, 1] - [R, G, B] \quad \text{bzw.} \\ [R, G, B] = [1, 1, 1] - [C, M, Y]$$

Das CMY-Modell wird zur Farbausgabe auf Thermosublimationsdruckern verwendet. Andere Farbdruckverfahren setzen jedoch meist zusätzlich schwarze Tinte ein, da die realen Druckfarben selten so rein sind, wie es das CMY-Modell fordert.

CMYK

CMYK ist das Farbmodell der Druckstufe. Aus dem eben erwähnten Grund

wird als vierte Druckfarbe Schwarz (Black) verwendet. Diese auch Skelettfarbe genannte Farbe verstärkt den Tiefeneindruck, spart Druckfarbe und macht den Druckprozeß stabiler. Eine eindeutige Beziehung zwischen dem RGB- und dem CMYK-Modell lässt sich nicht angeben, da sie von der Technik des **Unbuntauftausch** abhängt. Der CMYK-Farbraum ist kleiner als der RGB-Farbraum, jedoch gibt es auch Farben (vor allem im Gelb- und Orangebereich), die sich mit CMYK besser als mit RGB darstellen lassen.

HSV, HSB

Farbmodell mit den Parametern Hue (Farbton), Saturation (Sättigung) und Value bzw. Brightness (Helligkeit). Die Skala für H ist zyklisch, so dass H meist in Grad angegeben wird. Per Konvention liegt Rot bei 0°, Grün bei 120° und Blau bei 240°. Die Sättigung variiert zwischen 0 (Grau) und 1 (voll gesättigte Farbe). Die Helligkeit läuft von Schwarz (V = 0) bis zu den Farben mit maximaler Helligkeit inklusive Weiß (V = 1).

Der HSV-Farbraum hat die Form eines Kegels, mit der Spitze bei Schwarz. In diesem Punkt sind die Werte für den Farbton H und die Sättigung S nicht definiert und werden per Konvention als Null festgelegt. Zudem ist auf der Kegelachse, d.h. für Grauwerte, H nicht definiert. Zwischen dem RGB- und dem HSV-Farbmodell gelten die folgenden Zusammenhänge:

$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)}$$

$$R = \max: \quad H = 60 \times \frac{G - B}{R - \min}$$

$$G = \max: \quad H = 60 \times \left(2 + \frac{B - R}{G - \min} \right)$$

$$B = \max: \quad H = 60 \times \left(4 + \frac{R - G}{B - \min} \right)$$

$$H < 0: \quad H = H + 360$$

Spezialfälle:

$$V = 0: \quad S = 0, H = 0$$

$$S = 0: \quad H = 0$$

HSL

Farbmodell mit den Parametern Hue (Farbton), Saturation (Sättigung) und Lightness (Leuchstärke). Das HSL-Modell stellt eine Modifikation des HSV-Modells dar. Der Farbraum hat die Form eines Doppelkegels, mit den Spitzen bei Schwarz (L = 0) und Weiss (L = 1). Im Gegensatz zum HSV-Modell, in dem reine Farben wie Rot die höchste Helligkeit 1 haben, liegen diese hier auf dem mittleren Kegelrand, also bei L = 0,5. Zwischen dem RGB- und dem HSL-Farbmodell gelten die folgenden Zusammenhänge:

$$L = 0,5 (\max(R, G, B) + \min(R, G, B))$$

$$L < 0,5: \quad S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B) + \min(R, G, B)}$$

$$L > 0,5: \quad S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{2 - \max(R, G, B) - \min(R, G, B)}$$

$$R = \max: \quad H = \frac{G - B}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}$$

$$G = \max: \quad H = 2 + \frac{B - R}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}$$

$$B = \max: \quad H = 4 + \frac{R - G}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}$$

Spezialfälle:

$$L = 0: \quad S = 0, H = 0$$

$$S = 0: \quad H = 0$$

LCH

Wenig gebräuchliches Farbmodell mit den Komponenten Lightness (Leuchstärke), Chroma (Buntgrad, entspricht der Sättigung) und Hue (Farbton). Der LCH-Farbraum ähnelt den beiden eben genannten Farbmodellen, hat jedoch keine Kegelform, sondern ist zylindrisch. Die L-Komponente entspricht der Lab-Helligkeit. LCH wird z.B. vom Scan-Programm Nikon Scan verwendet.

YCC

Farbmodell mit einer Luminanz-Komponente (Y) und zwei Chrominanz-Komponenten (C1 und C2). YCC ist das für Kodak-Photo-CD-Bilder verwendete Dateiformat, es ist ähnlich aufgebaut wie das Lab-Farbmodell. Die Luminanz dieses Farbmodells ist jedoch mit der Lab-Helligkeit nicht identisch, ebenso nicht mit der Luminanz des folgenden YIQ-Farb-