



Von Dipl.-Ing. Klaus-Peter Nicolay

XYZ wird RGB und trifft CMYK

Farbräume und ihre Auswirkungen auf die Medienproduktion

BACKGROUND



»Und Gott sprach: Es werde Licht. Und es ward Licht.« So lapidar berichtet die Bibel über

das Schöpfungswerk. Die Erschaffung des Lichts wird also mit einem knappen Befehl samt seiner Umsetzung in zwei Sätzen zusammengefasst – und ist bis heute mit Unfassbarem und Geheimnisvollem behaftet. Jahrtausendlang wurde versucht, Klarheit in diese Geheimnisse zu bringen. Und auch heute noch öffnet sich jedem, der sich detaillierter mit dem Phänomen Farbe beschäftigt, ein schier endloses Labyrinth aus theoretischen Betrachtungen und praktischen Wundern. Insbesondere bei der Umsetzung in der Praxis steckt der Teufel im Detail.

Sehen wir einmal davon ab, dass das Licht Motor unseres Lebens, der Tier- und Pflanzenwelt ist, liegt der Nutzen des Lichtes aus medientechnischer Sicht vor allem darin, dass erst Licht Farben erzeugt, selbst aber auch aus Farben besteht. Ohne Licht sind Farben nicht als solche erkennbar. Farbe ist damit letzten Endes nichts weiter als eine Sinneswahrnehmung, die dem Menschen durch das Auge vermittelt wird. Vielleicht liegt darin das Geheimnis, dass Farbe für uns etwas unfassbares, sehr abstraktes ist und bleiben wird.

Von Zapfchen und elektrischer Energie

Was aber ist so wesentlich an diesem Phänomen, dass wir ständig über Farbe, Farbräume und Color Management diskutieren? Es ist die multimediale Vielfalt, die uns die Technik beschert hat. Hätte heute nicht jedermann Computer, Monitore und die unterschiedlichsten Drucker, bliebe das Wissen um die Farbe wie früher einigen wenigen Spezialisten vorbehalten.

Definitionen um das sichtbare Spektrum des Lichts gehören zwar zum Grundwissen Physik, sind aber dennoch die größte Hürde, die im Zusammenhang mit Farbe genommen werden muss. Vor allem die abstrakte Logik, dass in additive Farben (Rot, Grün, Blau) und subtraktive Farben (Magenta, Gelb, Cyan) unterschieden wird, ist immer wieder erklärungsbedürftig und beginnt mit

Elektromagnetische Strahlung		
Frequenz	Wellenlänge	Nutzung (Näherungswerte)
3 Hz	100.000 km	
30 Hz	10.000 km	Bahnstrom, Haushaltsstrom
300 Hz	1.000 km	
3 KHz	100 km	
30 KHz	10 km	Walky Talky, Fernbedienungen
300 KHz	1 km	LW
3 MHz	100 m	MW
30 MHz	10 m	KW
300 MHz	1 m	UKW
3 GHz	100 mm	C-Netz, D-Netz, E-Netz
30 GHz	10 mm	Radar
300 GHz	1 mm	Mikrowelle
3 THz	100 µm	
30 THz	10 µm	Infrarot (Wärmestrahlung)
300 THz	1 µm	
3×10^{15} Hz	100 nm	Sichtbares Licht
3×10^{16} Hz	10 nm	UV-Licht
3×10^{17} Hz	1 nm	
3×10^{18} Hz	100 pm	Röntgenstrahlung
3×10^{19} Hz	10 pm	Gammastrahlung
3×10^{20} Hz	1 pm	

dem immer wieder gleichen Exkurs über das menschliche Auge.

Farbsehen wird durch drei Arten von Zapfchen im Auge ermöglicht, die jedes für sich nur auf eine bestimmte Wellenlänge des eintreffenden Lichtes reagieren. Ein Zapfentyp ist sensibel für den Wellenlängenbereich von 630 nm (Rot-Orange), ein zweiter Zapfentyp reagiert auf Wellenlängen im Bereich von 530 nm (grüne Farbempfindung) und der dritte ist für Lichtwellen von 430 nm (Blau-Violett) empfindlich. Dabei

überlappen die Sensibilitätskurven, so dass jeder Lichteinfall praktisch alle Sinneszellen, wenn auch unterschiedlich stark, aktiviert. Die Zapfchen selbst nehmen jedoch nur die unterschiedliche Stärke der Energiemenge wahr und erzeugen noch kein Farbsehen. Sie setzen die aufgetroffene Energie in elektrische Impulse um und leiten sie an den Sehnerv im Gehirn weiter. Erst hier entsteht der Sinnesindruck »Farbe« und damit auch die Wahrnehmung der unterschiedlichen Farben.

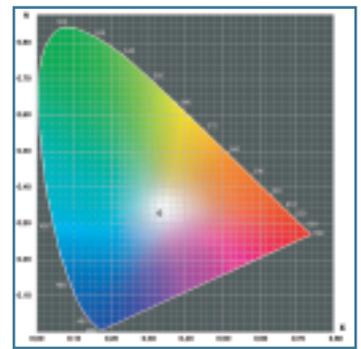
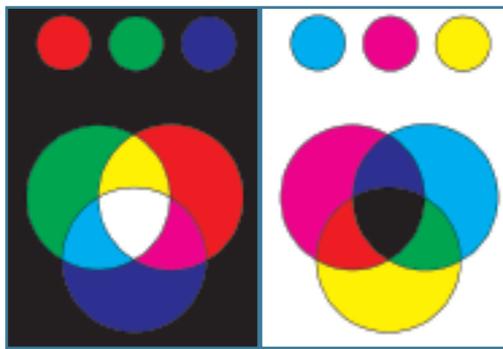
Empfindlichkeitsbereich der 3 Zapfentypen



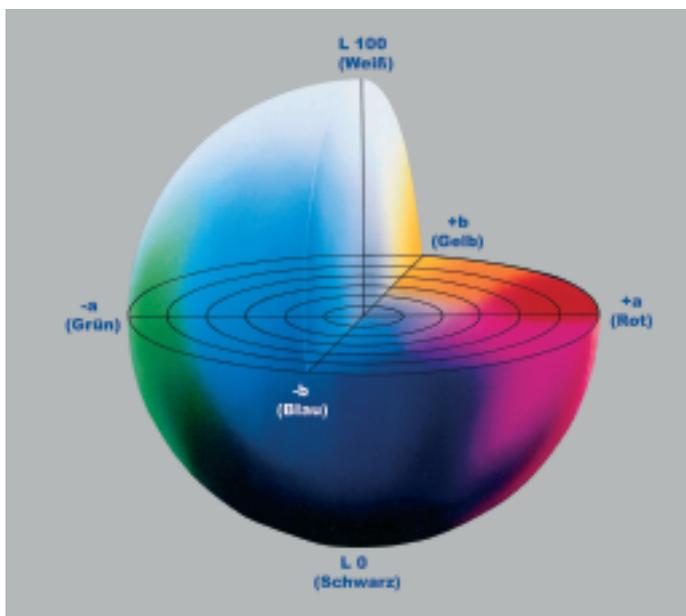
Die additive Farbmischung ist das Modell, das dem Sehen nachempfunden ist. Nach diesem Prinzip arbeiten Fernseher und Monitore. Auch das Einscannen eines Bildes erfolgt hinter den Filtern Rot, Grün, Blau.

Subtraktive Farbmischung, das Mischen von Körperfarben, beschreibt physikalisch gesehen das Absorptionsverhalten eines Körpers. Von der Gesamt-Strahlungsmenge werden bestimmte Wellenlängen subtrahiert, um den jeweiligen Farbeindruck entstehen zu lassen.

Das CIE-Modell (die Definition ist Ergebnis einer Untersuchung aus dem Jahre 1931) zeigt die reinen Farben des Spektrums auf einer Ebene.



CIE-Lab ist die Verfeinerung des CIE-Modells von 1931, bei dem die Abstände zwischen den Farben den wahrgenommenen Unterschieden entsprechen. Das kugelförmige Modell bezieht die Helligkeit und die Verschwärzlichkeit mit ein.

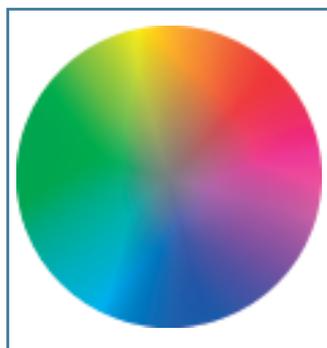


Additive und subtraktive Farbmischung

Die additive Farbmischung ist der Versuch, die Arbeitsweise des Sehorgans zu simulieren. Werden alle drei Zapfentypen gleichmäßig stark erregt, so vermitteln uns die Sehzentren des Gehirns den Farbeindruck Weiß. Die additive oder optische Farbmischung ist also die Mischung der so genannten körperlosen Lichtfarben, bei der durch Addition eine neue Farbe entsteht. Die additive Farbmischung ist gleichzusetzen mit dem menschlichen Sehen und findet Anwendung bei der Erzeugung von Fernsehbildern und bei der Darstellung auf Monitoren.

Die subtraktive Farbmischung ist somit das Gegenstück zur additiven

$L^*a^*b^*$ -Werte sind Farbmaßzahlen für die eindeutige Bestimmung des Farbortes im Farbraum. Dabei steht L für Helligkeit (100 = absolut Weiß, 0 = absolut Schwarz), a = Rot-Grün-Achse, b = Blau-Gelb Achse. Unten der Schnitt des Farbmodells in der Draufsicht.



Mischung und so zu verstehen, dass einer vorhandenen Strahlungsenergie durch Absorption etwas weggenommen wird (Subtraktion). Wenn

wir zum Beispiel Blau sehen, so werden die langwelligen orangefarbenen Lichtstrahlen absorbiert. Die grünen und blau-violett-farbenen Reststrahlen werden jedoch remittiert und erregen die dafür sensiblen Zapfentypen. Durch deren Überlapung kommt es zur Mischung, die das Gehirn als Blaureiz empfindet. Die Körperfarben sind also in Wahrheit nicht vorhanden, sondern lediglich Indikator für das individuelle Absorptionsverhalten des betreffenden Körpers.

Die subtraktive Farbmischung findet beim Malen, Zeichnen und vor allem beim Drucken Anwendung. Die Erkenntnis, dass es keine künstlich erzeugten Farbpigmente gibt, die so rein sind, dass der Zusammendruck von Cyan, Magenta und Gelb auch wirklich Schwarz ergibt, führte schließlich dazu, dass Schwarz (auch mit der Umschreibung K als kontraststeigernde Komponente) als vierte Druckfarbe eingeführt wurde. Dieses Erkenntnis, die der Frankfurter Christoph Le Blon (1667 - 1741) bereits 1725 hatte, führten später zur »Europa-Skala«, die 1967 als Standard eingeführt wurde.

CIE-Modell, Farbton, Sättigung und Helligkeit

Die Fähigkeit, Farben präzise zu messen und zu definieren spielt im Zusammenhang mit der Reproduktion und Wiedergabe von Bildern eine entscheidende Rolle. Dabei dienten über die letzten Jahrhunderte und

Jahrzehnte immer wieder neue und ausgeklügeltere Farbmodelle zunächst der Information über die entsprechende Philosophie und erst danach der Definition. Modelle haben üblicherweise den Charakter, etwas anschaulich zu machen, um die daraus folgenden wissenschaftlichen Definitionen zu verstehen. So kennen wir die meisten Farbmodelle als idealisierte Form und können damit die Problematik besser verstehen. Das Farbmodell, das derzeit am logischsten erscheint, ist das dreidimensionale CIE-Farbmodell.

So führte die Beschäftigung mit Farbe zu einem Modell, bei dem Farben exakt definiert sind. Numerische Werte, mit denen die Reaktion eines durchschnittlichen menschlichen Auges auf die unterschiedlichen Wellenlängen Rot, Grün und Blau von Licht quantifiziert werden, wurde 1931 von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) eingeführt. Auf Grundlage dieser Definition wurde der dreidimensionale CIE-Farbraum (XYZ-Farbraum) definiert. Später wurde daraus das CIE Yxy-Farbmodell entwickelt. ▶

Papierbohrer mit dem großen „F“

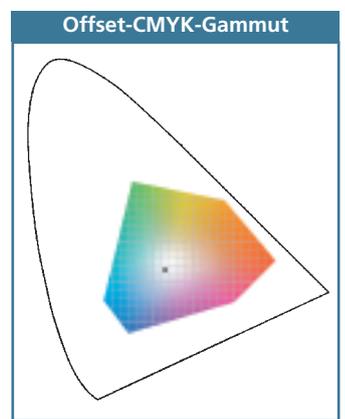
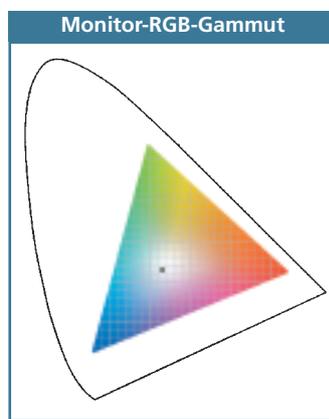
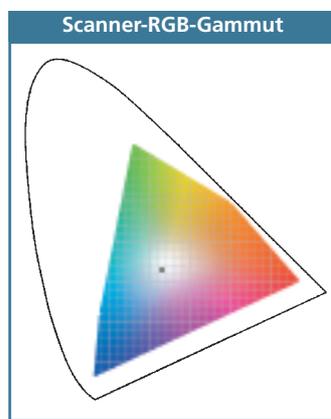
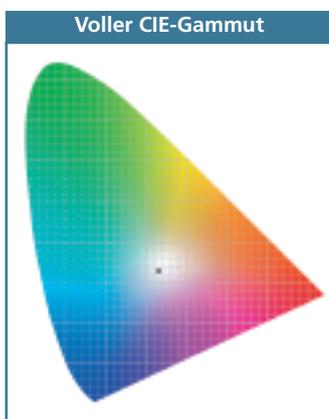
Fordern Sie unser „know-how“

Mit den von uns hergestellten Hochleistungs-Papierbohrern in allen Größen und Beschichtungen für alle Maschinen-Fabrikate beliefern wir prompt ab Lager die Weiterverarbeiter weltweit.

*** Neu: FOLIENBOHRER ***

Graph. Maschinen- und Apparatebau
JOSEF FOELLNER GmbH
 Klippeneckstr. 8 • D-78056 VS-Schwenningen
 Telefon (00 49) (0) 71 20 - 30 12-0 • Fax 30 12 50

• Katalog • e-mail: foellner@foellner.com
 • anfordern • http://www.foellner.com



Das volle Spektrum in der Definition des CIE-Modells kann von keinem Eingabe- oder Ausgabegerät erreicht werden. Scanner- und Monitor-RGB sowie der CMYK-Farbraum bilden jeweils nur einen Ausschnitt des Spektrums.

Nach diesem Modell liegen alle Farben der gleichen Helligkeit auf einer hufeisenförmigen flachen Ebene, auch Schuhsohle genannt. Die horizontale X-Achse zeigt die Zunahme des Rotanteils der Farben, während die Y-Achse den (von Blau ausgehend) zunehmenden Grünanteil angibt. Die Achse, die den Helligkeitswert der Farben repräsentiert, kann nur in einer dreidimensionalen Darstellung erfolgen. Dazu benutzt man die Definitionen Farbton, Sättigung und Helligkeit.

Der Farbton (Hue) ist die Eigenschaft einer Farbe, die durch die Wellenlänge des sichtbaren Spektrums definiert wird. Die Sättigung – auch als Saturation, Chroma oder Intensität bezeichnet – gibt den Grad der Reinheit einer Farbe an. Die Helligkeit – auch Value oder Luminance – gibt an, wie hell die Farbe ist beziehungsweise wie stark sie sich Schwarz oder Weiß nähert.

Die allseits bekannte »Schuhsohle« ist also ein zweidimensionaler Ausschnitt dieses Modells, bei dem die reinen Farben auf einer Ebene angeordnet sind. Obwohl die Abstände zwischen den einzelnen Farbnuancen nicht den wahrgenommenen Unterschieden entsprechen, kann mit Hilfe dieses Modells dennoch der relative Umfang von Monitoren und Druckfarben abgeschätzt werden.

Das nichtlineare CIE Xyy-Modell wurde 1976 um den $L^*a^*b^*$ - (einfacher als CIE Lab bezeichnet) und Luv-Farbraum ergänzt, Farbräume,

bei denen die Abstände zwischen den Farben genauer den wahrgenommenen Unterschieden entsprechen. Die Farben gleicher Helligkeit liegen hierbei auf einer kreisrunden Fläche, auf der sich die a^* - und b^* -Achse befinden. Die Helligkeit variiert in vertikaler Ausrichtung. CIE Lab ist somit imstande, alle realen Körperfarben darzustellen.

Farbmodelle und Farbräume

Reproleute wissen schon seit Jahrzehnten, dass jede Reproduktion nur ein Kompromiss sein kann. Ein Kompromiss zwischen der Farbvielfalt der Natur, der Farbigkeit der Originalfotos und den Farben des Reproduktions- beziehungsweise Druckprozesses (wobei der Druck differenziert werden muss in Bezug auf Hochqualitätsdrucke auf Kunstdruckpapier oder grob gerasterte Bilder im Zeitungsdruck). Denn bei jeder Transformation (vom Original zum Foto, vom Foto zur Reproduktion, vom Monitor zum gedruckten Bild) gehen Farbinformationen verloren, die physikalisch durch den jeweiligen Prozess bestimmt sind. Man spricht davon, dass Farbräume unterschiedlich groß sind.

Inwieweit Zahlenbeispiele bei dieser Problematik weiterhelfen, ist eher fraglich. Noch gibt es keine gesicherten Erkenntnisse darüber, wie viele Farben das menschliche Auge überhaupt erkennen und unterscheiden kann. In der Literatur ist von zehn Millionen Nuancen die Rede, andere

Quellen sprechen von höchstens einer Million. Was die rechnerischen Beispiele zum RGB-Farbraum absurdum führt, der nach mathematischen Regeln (256 Graustufen je Farbe entsprechend 2.563) gleich über 16 Millionen Farben anbietet. Wie bemerkt: fraglich ist in der Tat, ob der Mensch diese Vielfalt erkennt.

Zudem lässt sich das volle Spektrum ohnehin durch kein Ein- oder Ausgabe-System erreichen. Zwar wird versucht, mit Mehrfarben-Reproduktionen (zum Beispiel mit dem Hexachrome-Verfahren) oder durch hochpigmentierte Farben einen erweiterten Farbraum zu erzielen, doch auch dieser erreicht nicht die Umfänge des Spektrums, sondern erweitert die Farbpalette um Grün- und Orange-Töne. Ob dieser Aufwand allerdings in einem sinnvollen Verhältnis zum Ergebnis steht, darf gerne weiterhin diskutiert werden.

Die Farbumfänge (auch Gammut genannt), in der der Teil der darstellbaren Farben sichtbar wird, der für einen Monitor oder den CMYK-Farbraum vom Spektrum des sichtbaren Lichtes übrigbleibt, zeigt die Unterschiede. Wobei der im Druck verwendete CMYK-Farbraum derjenige ist, der den geringsten Anteil am Gesamtspektrum einnimmt.

Nur der Druck verlangt CMYK

Isoliert betrachtet, reicht der CMYK-Farbraum aus, um die vielfältigen Farbnuancen darzustellen. Im

Vergleich zu anderen Farbräumen wird jedoch deutlich, dass der CMYK-Farbraum nur ein Kompromiss ist, der die Trägheit und das Auflösungsvermögen des Auges ausnutzt. Beweis ist die Tatsache, dass das bloße Auge einen 3%-igen Punkt nicht von einem 4%-igen unterscheiden kann.

Zudem wird dem Offsetdruck nachgesagt, dass er lediglich 700.000 Farben simulieren könne. Ob diese Zahl wirklich korrekt ist, soll hier nicht nachvollzogen werden. Tatsache ist jedoch, dass der im Offsetdruck erzielbare Farbraum gegenüber einem Foto um Potenzen kleiner ist: Ein Dia oder Digitalbild besitzt einen Dichteumfang von leicht 3.0, der Offsetdruck kommt selbst mit starker Farbführung auf höchstens 1.6 Dichte.

Solange wir also zielgerichtet auf ein Printprodukt hinarbeiten, müssen wir uns im Bereich der subtraktiven Farbmischung bewegen: Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz. Traditionelle Scanner und angeschlossene EBV-Systeme waren ganz auf den Druck und den Reproduktionsprozess ausgerichtet, in dem schon die Scanner die Bilddaten so ausgaben, wie sie für den Druck benötigt werden: eben in CMYK.

In Arbeitsabläufen des modernen Color Publishing sieht die Sache jedoch völlig anders aus. Durch die Entkoppelung von Eingabe (Scanner, digitale Bilddaten von Digitalkameras) und Verarbeitung (Workstation) sowie durch die Trennung der Verar-

beitung von der Ausgabe (Belichter, CtP-System, Digitaldrucker, Druckmaschine) ist eine völlig offene Systemwelt entstanden, die vom Anwender beliebig kombiniert werden kann. Damit wird aber auch die Verantwortung für die Farben und die Verantwortung für die richtige Wiedergabe im Druck verlagert und muss neuen Prüfkriterien unterzogen werden.

Wenn Bilddaten im multimedialen Prozess nicht nur für den Druck, sondern auch für das Internet oder eine andere Bildschirmpräsentation benötigt werden, sind CMYK-Daten als Basis nicht zu gebrauchen. Statt dessen werden Daten im RGB-Farbraum (der selbst wiederum unterschiedliche Qualitäten haben kann) benötigt. Im RGB-Farbraum werden Bilder aus der Digitalfotografie, aus Bildarchiven aus dem Internet und ähnlichem mehr geliefert.

Hier gibt es für die Farbbildverarbeitung eine Reihe von Problemen. Denn der RGB-Farbraum ist zwar definiert, was Scanner oder Digitalkameras aber liefern, entspricht nicht dem vollen RGB-Farbraum. Denn die verwendeten Filter oder auf Chips aufgedampfte RGB-Filter können nicht alle die gleichen Separationswerte aufweisen. Genauso unterscheiden sich die Ausgabeeigenschaften der Bildschirmmonitore je nach eingesetzten Phosphoren und damit je nach Fabrikat.

Noch schwieriger wird es, wenn in den Gesamtprozess unterschiedliche Ausgabegeräte vom Proofdrucker über den Plattenbelichter als Lieferant der Offset-Druckformen

bis hin zu Digitaldruck-Verfahren oder Computer-to-Press-Alternativen mit einbezogen werden.

Ist CMYK eine Sackgasse?

Nur der klassische Druck und CMYK-Inkjetdrucker verlangen nach entsprechend separierten Dateien. Da sowohl Inkjet- als auch Offset-CMYK den kleinsten aller Farbräume anbieten, ist geradezu ausgeschlossen, bereits separierte CMYK-Daten wieder in RGB zurückzuwandeln – selbst wenn es Bildverarbeitungsprogramme wie Photoshop per Tastendruck anbieten.

Denn wo nichts mehr ist, kann auch mit den besten Algorithmen nichts mehr dazugerechnet werden. Beim Separieren für den CMYK-Prozess wird den Farben Cyan, Magenta und Yellow als kontraststeigerndes Mittel Schwarz hinzugegeben. Rechnet man diese Datei zurück, bleiben die Schwarzwerte erhalten, die reinen RGB-Farben werden verschwärzlicht und verlieren ihre Reinheit. Damit ist der Datensatz für RGB-Anwendungen unbrauchbar (zumindest qualitativ nicht mehr optimal).

Die Frage stellt sich also, ob es sinnvoll ist, bereits in Photoshop separierte CMYK-Daten bei der Druckerei abzugeben (dabei sei außer Acht gelassen, dass es üblich und praktikabel ist). Die Farbabstimmung im Druck und bei den vorgelagerten Prozessschritten ist deshalb so außerordentlich schwierig, weil Eingabescanner unterschiedliche Ergebnisse liefern, weil die Darstellung an den Monitoren aufgrund un-

terschiedlicher Pigmente oder Bauarten von Bildschirm zu Bildschirm abweicht, weil Farbdrucker auf völlig unterschiedlichen Verfahren basieren und unterschiedliche Toner sowie Farbpigmente einsetzen, weil beispielsweise bei Druckmaschinen Tonwertzuwachs, Dichteschwankungen, höhere Wasserführung und so weiter zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und weil auch die Papiersorte erheblichen Einfluss auf die Wiedergabe einer Bildinformation hat. Und dies nicht nur im Offsetdruck, sondern ebenso beim Proof oder Large Format Printing.

Diese unterschiedlichen Parameter lassen es (theoretisch) sinnvoll erscheinen, Daten im Original RGB-Farbraum zum Dienstleister zu geben. Denn der sollte die Arbeitsweise seiner Monitore, RIPs, Drucker oder Belichter kennen und den Arbeitsablauf genau auf deren Eigenschaften abgestimmt haben. Viele Reproduktioner und Drucker schwören auf ihre eigenen Separationskurven und holen dabei auch mehr Qualität heraus als dies bei Standardprogrammen der Fall sein kann. Insbesondere bei der Separation von Schwarz (Unbunt-Aufbau, Skelett-Schwarz oder langes Schwarz mit hohem Kontrastanteil) sind sehr unterschiedliche Arbeitsweisen üblich.

Warum also die ganze Theorie?

Ohne einen definierten Farbraum würde jeder nach seinem subjektiven Farbsehen produzieren. Ergebnis wären beliebig viele unterschiedliche Reproduktionen einer einzigen

Vorlage. Man stelle sich das Chaos vor (und es ist ja nach wie vor tägliche Praxis), wenn Prospekte, Plakate, Poster oder Internet-Präsentationen eines identischen Motivs beispielsweise eines rot lackierten Autos von verschiedenen Repro- und Druckhäusern für die verschiedenen Medien hergestellt werden. Das Rot wird sicherlich Schwankungen von Bordeaux-Rot über Feuerrot bis Orange aufweisen.

Ein endloses Gefummle

Notwendig ist also, basierend auf einem standardisierten Farbraum, Transformationen von Gerät zu Gerät durchzuführen. Statt die Differenzen durch wiederholtes Probieren zu kompensieren, was zu einem endlosen Gefummle führen würde, bieten sich hier Color Management-Systeme an, die diese Kompensationen ermöglichen.

Dabei müssen Digitalkameras, Scanner, Monitor, Drucker, Belichter, CtP-Systeme und Druckmaschinen innerhalb einer »Gesamt-Druckerei-Konfiguration« auf die jeweils anderen Komponenten kalibriert werden.

Aus diesem Grunde hat man sich darauf geeignet, den Farbraum CIE Lab als Referenzfarbraum zu definieren und die entsprechenden Farbraumtransformationen nur anhand dieses Standards durchzuführen, der die Anforderungen nach einem geräteunabhängigen Farbraum erfüllt und darüber hinaus von der International Standard Organisation in den Rang einer international gültigen Norm erhoben wurde. 

Eine neue Generation. Eine neue Leistungsklasse.

Nagel Foldnak 100 und Trimmer 100

Erleben Sie die neue Generation: Nagel Foldnak 100 Bookletmaker und Trimmer 100. Schnell und flexibel: mit Drahtheftköpfen, automatischer Anschlageneinstellung, großer Formatbandbreite und exaktem Frontbeschnitt – für das perfekte Finishing. Lassen Sie sich begeistern!



Ernst Nagel GmbH
Breitwiesenstraße 21 · 70565 Stuttgart/Germany
Telefon (07 11) 7 80 78-0 · Telefax (07 11) 7 80 78-10
E-Mail sales@ernstnagel.com · www.ernstnagel.de

