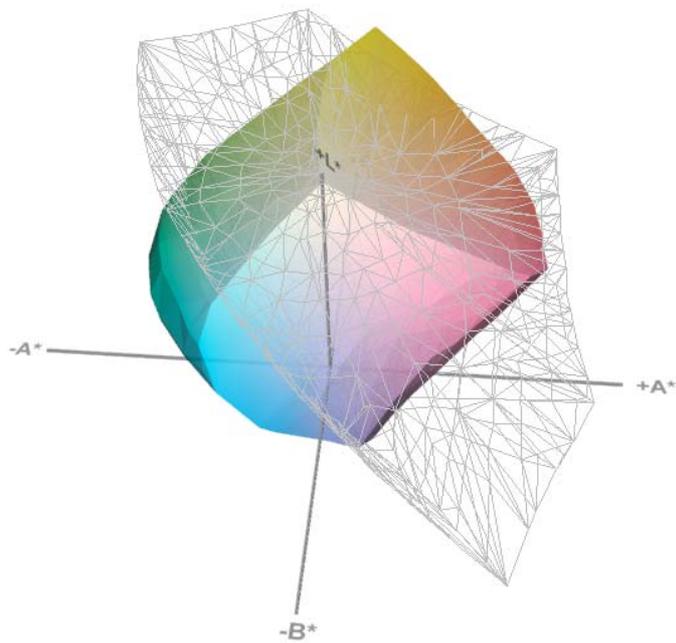




Internetseite zur Visualisierung von ICC-Profilen
mit Hilfe von 3D-Farbraummodellen
<http://www.iccview.de>

Auszüge aus der Diplomarbeit
im Fachbereich Photoingenieurwesen und Medientechnik
an der Fachhochschule Köln



von Tobias Huneke
tobias.huneke@iccview.de

Juli 2002

1	Einleitung	4
2	Grundlagen des Colormanagement	6
2.1	Probleme bei der heutigen Farbreproduktion	6
2.2	Anforderungen an Colormanagement-Systeme	8
3	Der ICC-Standard	11
3.1	Das International Color Consortium	11
3.2	Bestandteile eines ICC-Colormanagement Systems	13
3.2.1	<i>Farbprofile</i>	13
3.2.2	<i>Profile-Connection-Space (PCS)</i>	13
3.2.3	<i>Eingebettete Profile</i>	13
3.2.4	<i>Der Farbrechner (CMM)</i>	14
3.2.5	<i>Rendering Intent und Gamut Mapping</i>	15
3.2.6	<i>Drucksimulation, Proofdruck, Linkprofile</i>	18
3.3	Aufbau eines ICC-Profiles	20
3.3.1	<i>Der Header</i>	22
3.3.2	<i>Tag Table Definition und Tagged Element Data</i>	24
3.4	Methoden zur Farbtransformation in ICC-Profilen	26
3.4.1	<i>Matrix-Based-Profiles</i>	26
3.4.2	<i>Einschub über Monitor Gamma und Gammakorrektur</i>	28
3.4.3	<i>LUT-Based-Profiles</i>	32
3.5	Vorgeschriebene Tags für ICC-Farbprofil Typen	36
3.6	ICC und das Betriebssystem	38
3.6.1	<i>Apple ColorSync</i>	38
3.6.2	<i>Microsoft ICM 2.0</i>	39
3.6.3	<i>CMMs anderer Hersteller</i>	41
3.7	Bedeutung von CMM und Profilqualität	42

5 ICCView in der Anwendung	43
5.1 Die Internetseite http://www.iccview.de	43
5.2 Beispiele für den Vergleich von Farbräumen mit ICCView.de	45
5.2.1 Vergleich zwischen RGB-Farbraum und CMYK-Farbraum	45
5.2.2 Tintenstrahldrucker als Proofdrucker für den Offsetdruck	46
5.2.3 Vergleich der TV-Farbsysteme PAL/Secam und NTSC	47
5.2.4 Hersteller ICC-Profile für Tintenstrahldrucker auf dem PC	48
5.2.5 RGB-Arbeitsfarbräume im Vergleich	50
7 Abbildungsverzeichnis	52
8 Literaturverzeichnis	54

1 Einleitung

Der Einsatz von Colormangement-Systemen wird durch die weiter voranschreitende Digitalisierung bei der Bildaufnahme und Bildwiedergabe immer wichtiger. In der Druckvorstufe sind Colormangement-Systeme inzwischen unverzichtbar geworden. Auch im Konsumerbereich finden sich immer mehr Hard- und Softwareprodukte, die Colormangement anbieten. Neben hersteller-spezifischen Ansätzen zur Steuerung der Farbwiedergabe hat sich der vom International Color Consortium 1993 verabschiedet ICC-Standard als plattform-übergreifendes Colormangement-System etabliert. Alle großen Hard- und Softwareanbieter unterstützen heute Colormangement nach ICC-Standard.

Der ICC-Standard baut im Wesentlichen auf sogenannten Farbprofilen auf. Dabei handelt es sich um Dateien, welche die Farbwiedergabeeigenschaften eines Ein- oder Ausgabegeräts beschreiben. Die Farbwerte einer Bilddatei werden bei der Eingabe (Scanner) und bei der Ausgabe (Druck) mit Hilfe der Farbprofile so angepasst, dass sich eine neutrale Farbwiedergabe ergibt. Ein solches Farbprofil enthält einfach gesagt alle Farben, die ein Drucker oder Monitor wiedergeben kann. Alle Farben zusammen bezeichnet man als Farbraum oder Gamut des Geräts.

Farbprofile werden meist vom Gerätehersteller mitgeliefert und bei der Installation des Gerätetreibers mitinstalliert. Viele Softwarehersteller aus den Bereichen DTP und Bildbearbeitung stellen in ihren Anwendungen eigene ICC-Farbprofile von häufig verwendeten Geräten zur Verfügung. Die dritte Möglichkeit ein Farbprofil zu bekommen, ist der Einsatz von Profilierungssoftware. Dabei wird mit Hilfe von Farbmessgeräten ein Testchart mit Farbfeldern ausgemessen. Aus den gewonnenen Messwerten berechnet die Profilierungssoftware ein ICC-Farbprofil.

Ob die Farbanpassung mit Hilfe eines Farbprofils zu einem zufriedenstellenden Ergebnis beim Scan oder Ausdruck führt, hängt von zwei Faktoren ab. Zum einen von der Größe des Farbraums des Geräts selber, zum anderen von der Qualität des Farbprofils. In der Beurteilung dieser beiden Faktoren liegt aber eine Schwierigkeit. Es stehen keine Möglichkeiten zur Verfügung, die Größe des Farbraums und die Qualität des Farbprofils zu beurteilen, da Farbprofile von Colormangement-Systemen lediglich eingelesen und intern für Farbumrechnungen genutzt werden. Informationen über den Inhalt des Farbprofils bleiben dem Anwender verborgen. Dieser hat meist als einzige Information nur den Dateinamen des Farbprofils.

ICCView ist ein Tool zur Beurteilung eines ICC-Farbprofils. Dazu wird der im Farbprofil beschriebene Farbraum als 3D-Modell dargestellt. Eine dreidimensionale Darstellung ist notwendig, da alle technischen Farbsysteme auf mindestens drei Komponenten aufgebaut sind.

Die in der Literatur häufig anzutreffende zweidimensionale Darstellung eines Farbraums im CIE-xy Diagramm als Dreieck oder Sechseck lässt dagegen nur eine begrenzte Aussage über Größe und Aussehen eines Farbraums zu.

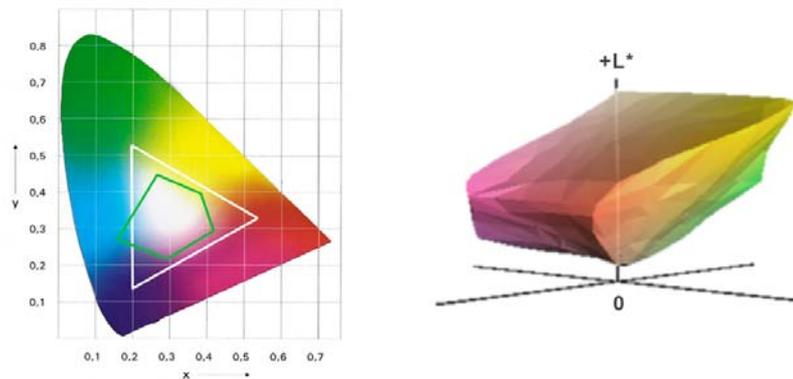


Abb. 1 CIE-xy Diagramm / 3D-Modell

ICCView ist im Internet unter <http://www.iccview.de> zu finden. Zwei ICC-Farbprofile werden eingelesen und ein 3D-Modell der in den Farbprofilen beschriebenen Farbräume wird angezeigt. Die beiden Farbprofile bzw. Farbräume können so visuell gut miteinander verglichen werden.

2 Grundlagen des Colormanagement

2.1 Probleme bei der heutigen Farbproduktion

Die Möglichkeiten, ein Motiv aufzunehmen und zu Papier zu bringen, sind in den letzten Jahren wesentlich umfangreicher geworden. Die Zeiten, in denen vom Fotografen alles auf Film festgehalten wurde und lediglich auf Fotopapier belichtet oder in der Druckerei farbig gedruckt werden konnte, sind lange vorbei. In fast allen Farbproduktionsprozessen liegt das farbige Bild heute mehr oder weniger lange in digitaler Form, also auf einem Datenträger gespeichert, vor. Selbst einfache 10x15 Abzüge vom 35mm Farbnegativ werden heute schon häufig gescannt und digital auf Fotopapier belichtet.

Die Möglichkeiten, ein Bild in digitaler Form zu speichern, sind sehr vielfältig geworden: Angefangen bei digitalen Kameras, über Trommelscanner für Dias, High-End Flachbettscanner und einfachen 35mm Negativscannern bis hin zu billigsten Flachbettscannern. Alle Geräte gibt es von diversen Herstellern in verschiedenen Preiskategorien und mit fließenden Übergängen bezüglich der geeigneten Anwendung. So vielfältig die Möglichkeiten der Digitalisierung sind, so unterschiedlich sind leider auch die digitalen Daten der aufgenommenen Bilder. Leider ist ein bestimmtes Gelb bei zehn verschiedenen Geräten auch zehn mal als unterschiedlicher Farbwert in den digitalen Daten enthalten. Das liegt an den unterschiedlichen zur Digitalisierung benutzten Technologien. Aber auch Geräte gleicher Technologie zeigen häufig deutliche Unterschiede bei der Farbwiedergabe.

Die Situation bei der Ausgabe digitaler Daten ist entsprechend. Es gibt heute Tintenstrahldrucker, Farblaserdrucker, Thermosublimationsdrucker, Festtintendrucker, digitale Belichtung auf Fotopapier, Belichter für Dia- und Farbnegativmaterial und Computer-to-Plate für den Offsetdruck. Diese Liste ließe sich beliebig fortsetzen. Das selbe digitale Bild auf verschiedenen Systemen gedruckt zeigt noch größere Unterschiede in der Farbwiedergabe als bei der Eingabe. Die unterschiedlichen Technologien sind der Grund für die großen Farbunterschiede. Sowohl die Eingabe als auch die Ausgabe digitaler Bilddaten ist folglich großen Unterschieden in der Farbwiedergabe je nach Ein- und Ausgabegerät unterworfen.

Die verschiedenen Systeme, ob zur Ein- oder Ausgabe, haben ihre Existenzberechtigung am Markt, somit ist nicht zu erwarten, dass sich ein System durchsetzen wird. Die Vielfalt der Systeme zur Ausgabe farbiger Bilder wird erhalten bleiben oder sich noch erweitern.

Erschwerend kommt hinzu, dass der Weg digitaler Bilddaten von der Eingabe bis zur Druckausgabe alles andere als einheitlich ist. Es gibt diverse Dateiformate, um Bilddaten abzuspeichern, TIFF, JPEG, Postscript, EPS oder PSD stellen nur eine Auswahl dar. Entscheidender aber ist die Wahl des Farbsystems, in dem die digitalen Bilddaten abgespeichert werden. Es werden hauptsächlich das CMYK-Farbsystem und das RGB-Farbsystem benutzt. Im professionellen Druckbereich ist immer noch CMYK der Standard. RGB ist im Konsumerbereich weit verbreitet. Beide Systeme haben Vor- und Nachteile, auf die nicht näher eingegangen werden soll. Das eigentliche Problem bei der Farbproduktion beider Farbsysteme ist gleich. Es gibt weder ein einheitliches RGB-Farbsystem, noch ein geräteunabhängiges CMYK-Farbsystem.

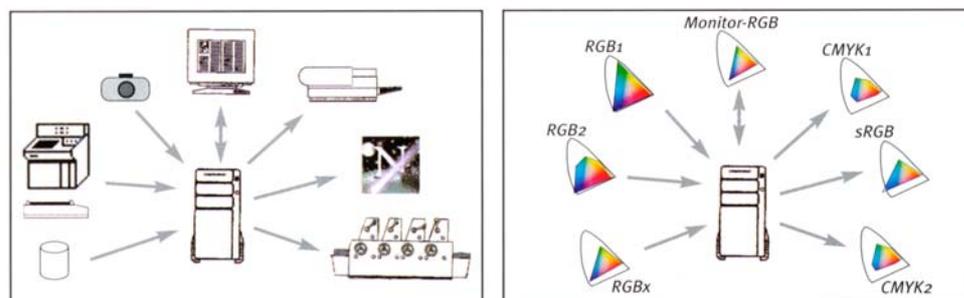


Abb. 2 Vielfalt der Farbräume

Das führt dazu, dass ein RGB-Bild auf dem Mac aus QuarkXPress anders gedruckt wird als auf dem PC aus Photoshop, auch wenn der gleiche Drucker verwendet wird. Beide Programme benutzen intern unterschiedliche RGB-Farbsysteme.

Die Ausgabe von Bildern im CMYK-Farbsystem ist zwar unabhängig von Betriebssystem und Anwendungsprogramm, der CMYK-Farbraum ist aber ein geräteabhängiger Farbraum. Jeder Drucker hat seinen eigenen CMYK-Farbraum, so dass die Reproduktion eines Farbtons mit festgelegten CMYK-Werten auf unterschiedlichen Drucksystemen zu unterschiedlichen Farbergebnissen führt.

2.2 Anforderungen an Colormanagement-Systeme

Alle beschriebenen Unwägbarkeiten von der Eingabe über die Verarbeitung bis zur Ausgabe digitaler Farbdaten führen zu unbefriedigenden bis schlechten Ergebnissen bei der Reproduktion. Um die Schwankungen an den verschiedenen Stellen der Reproduktionskette in den Griff zu bekommen, ist ein durchgängiges Colormanagement erforderlich.

Die Aufgabe des Colormanagements besteht darin, die Farbwiedergabe von der Eingabe über die Bearbeitung bis zum Druck konsistent zu halten. In der Praxis heißt das:

- die Bildeingabe sieht auf dem Monitor dem Original sehr ähnlich
- bearbeitete Bilder oder neu hinzugefügte Farben sehen auf dem Monitor dem späteren Ausdruck sehr ähnlich
- die Ausgabe auf unterschiedlichen Medien oder Drucktechnologien führt zu sehr ähnlichen Farbergebnissen

Bewusst wird nur der Begriff „sehr ähnlich“ benutzt, denn wie sich im weiteren herausstellen wird, ist eine exakte Farbproduktion aus physikalisch-technologischen Gründen manchmal nicht möglich. In diesen Fällen soll das Colormanagement aber die Kontrolle über die Farbveränderung haben, so dass der Anwender diese nach seinen Wünschen beeinflussen und steuern kann.

Ein gutes Colormanagement-System (CMS) soll die gesamte Reproduktionskette überwachen. Dazu muss das CMS mit einer Vielzahl von Ein- und Ausgabegeräten kompatibel sein, genannt seien hier nur Scanner, digitale Kameras, Tintenstrahldrucker, Farblaser, Druckmaschinen, digitaler Belichter, etc. Ein Einsatz auf verschiedenen Betriebssystemen (OS) sollte ebenfalls möglich sein. Derzeit sind im graphischen Gewerbe mindestens drei Betriebssysteme verbreitet: MacOS (Apple), Microsoft Windows (PC) und Unix (Sun Microsystems). Die Anforderungen zeigen, dass ein modernes CMS sowohl im Bezug auf die Hardware (zu unterstützende Geräte) als auch bei der Softwareunterstützung (Betriebssysteme) einen unabhängigen Standard benötigt.

Um Farbe von Geräten und Software unabhängig zu beschreiben, ist ein Farbsystem notwendig, das eindeutig definiert ist. Es gibt schon sehr lange Beispiele für eindeutig definierte Farbsysteme. Die RGB-Farbsysteme der Fernsehnormen PAL/SECAM in Europa und NTSC in den USA sind seit ihrer Einführung fest definiert. Nur so erscheint auf jedem Fernseher ein annähernd gleiches Bild. Auch

die Druckindustrie hat Standards für den Offsetdruck eingeführt, lange bevor von Colormanagement die Rede war. In Europa ist das der Euroskala-Standard, in den USA der SWOP-Standard. Diese Standards haben nur einen entscheidenden Makel, sie sind nicht geräteübergreifend einsetzbar. Der Euroskala-Standard ist für einen Tintenstrahldrucker ungeeignet. Ein geräteunabhängiges Farbsystem wird benötigt, um Farben eindeutig zu beschreiben und sie auf unterschiedlichen Systemen gleich auszugeben [1].

Ein geeignetes Farbsystem wurde von der CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) beschrieben. Das CIE-XYZ-System ist ein additives Farbsystem mit nicht real existierenden Grundfarben Rot(X), Grün(Y) und Blau(Z). Durch die virtuellen Farbwerte der Grundfarben umfasst das CIE-XYZ Farbsystem alle Farben, die vom menschlichen Auge wahrgenommen werden können. Aus diesem Grund ist CIE-XYZ sehr gut geeignet, um als geräteunabhängige Farbsystem im Colormanagement eingesetzt zu werden.

Eine Weiterentwicklung des CIE-XYZ-Systems ist das 1976 verabschiedete CIELab-System. Das CIELab-Farbsystem stellt eine Transformation des CIE-XYZ dar. Durch die Transformation ist CIELab empfindungsgemäß gleichabständig. Beide CIE-Farbsysteme lassen sich verlustfrei ineinander umrechnen und werden beide in heutigen Color-Management-Systemen als geräteunabhängige Farbräume eingesetzt [2].

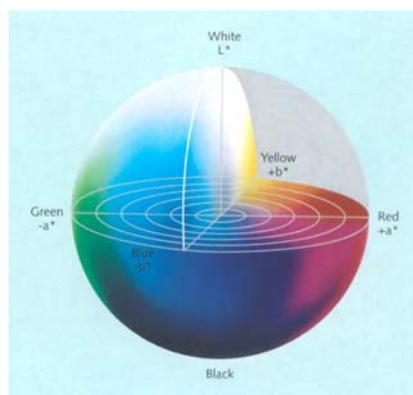


Abb. 3 CIELab-Farbraum von 1976

Der prinzipielle Ablauf eines Colormanagement-Systems ist relativ einfach. Mit Hilfe von Farbprofilen werden die Farbwiedergabeeigenschaften eines Eingabegeräts, Druckers oder Monitors beschrieben. Ein Farbprofil enthält Umrechnungsmechanismen, um die gerätespezifischen Farbwerte in RGB oder

CMYK in Farbwerte der geräteunabhängigen Farbräume CIE Lab oder CIE-XYZ umzurechnen.

Die RGB-Farbwerte eines Monitors werden mit Hilfe seines Farbprofils in geräteunabhängige Farbwerte im CIE-XYZ-Farbraum konvertiert. Diese unabhängigen Farbwerte werden für einen Drucker mit Hilfe seines Farbprofils in CMYK-Farbwerte umgerechnet.

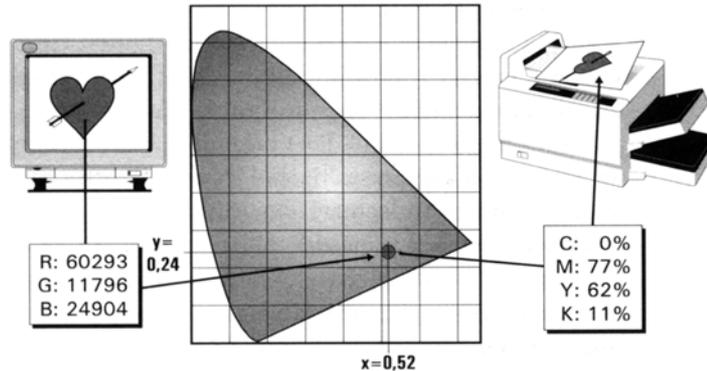


Abb. 4 Umrechnung von RGB über CIE-XYZ nach CMYK

Die Umrechnung der Farbwerte mit Hilfe der Farbprofile übernimmt ein Farbrechner (CMM: Color Management Module). Der Farbrechner kann ein separates Programm oder Bestandteil des Betriebssystems sein [3].

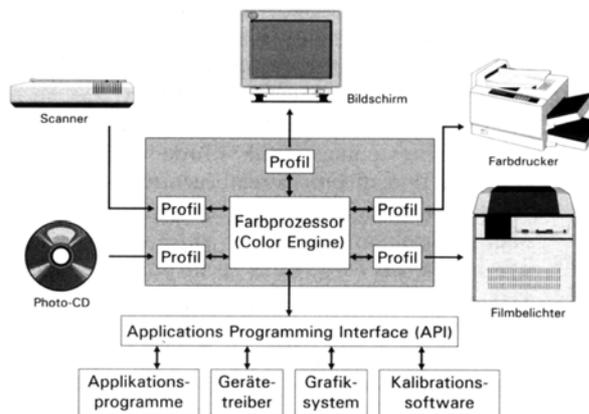


Abb. 5 Struktur eines Colormanagement-Systems

3 Der ICC-Standard

3.1 Das International Color Consortium

Unter Federführung der FOGRA (Deutsche Forschungsgesellschaft für Druck) wird 1992 das International Color Consortium (ICC) gegründet. Die Gründungsmitglieder sind die Betriebssystemhersteller Apple, Sun Microsystems und SiliconGraphics, die Fotohersteller Agfa und Kodak und Postscript-Erfinder Adobe. Unter dem Druck der Konkurrenz tritt auch Microsoft dem ICC bei. 1993 wird der ICC-Standard verabschiedet, welcher die Spezifikation für Farbprofile enthält. Für die Umsetzung der Farbrechner (CMM; Color Management Module) werden nur grobe Vorgaben gemacht. Die Entwicklung von Farbrechnern wird den Betriebssystemherstellern und Softwareentwicklern überlassen. Der ICC-Standard soll einen einheitlichen Profilstandard schaffen, um Farbprofile auf allen Betriebssystemen mit gleichen Ergebnissen einsetzen zu können [1].

Die vier großen Reprofirmen Linotype-Hell (heute Heidelberger AG), Crossfield, Scitex und Screen zeigen zu diesem Zeitpunkt noch kein Interesse am ICC. Sie wollten ihr jahrzehntelanges Know-how im Bereich der Farbtransformationen nicht mit jedem kleinen Softwarehersteller teilen. Die Betriebssystemhersteller Microsoft, Sun und Silicon Graphics lizenzieren kurze Zeit später einen ICC-kompatiblen Farbrechner (CMM) von Kodak zur Implementierung in ihre Betriebssysteme. Apple arbeitet an einer eigenen CMM, die als ColorSync 1.0 in Apples MacOS zur Verfügung gestellt wird. Sie ist allerdings noch nicht ICC-kompatibel. 1995 gibt Apple überraschend die Zusammenarbeit mit Linotype-Hell bekannt. Ein ICC-kompatibles CMM von Linotype wird als ColorSync 2.0 in Apples Betriebssystem MacOS implementiert. Damit hat Linotype-Hell als erste Reprofirma die Öffnung für den Desktop-Markt vollzogen [1].

Microsoft stellt mit ICM 1.0 (Image Color Matching) erstmals im Betriebssystem Windows 95 einen ICC-konformen Farbrechner zur Verfügung. Es handelt sich dabei um den von Kodak lizenzierten Farbrechner (CMM). Allerdings nutzt die CMM von Kodak sogenannte Private Tags in ICC-Profilen [4] [5]. Das sind erlaubte, aber nicht standardisierte Bestandteile eines ICC-Profiles. Nur mit Farbprofilen von Kodak, die diese Private Tags enthalten, werden zufriedenstellende Farbtransformationen erzielt. Bei allen anderen ICC-Farbprofilen ohne entsprechende Private Tags sind die Farbergebnisse deutlich schlechter. Microsoft

war mit dieser Einschränkung so unzufrieden, dass für den Nachfolger ICM 2.0 die Zusammenarbeit mit Kodak beendet wurde. Für ICM 2.0, verfügbar in Windows 98/ME und Windows 2000/XP, wurde der schon von Apple eingesetzte Farbrechner von Linotype-Hell lizenziert.

Bis heute hat sich der ICC-Standard als Grundlage für systemübergreifendes Colormanagement etabliert. Diverse Hersteller und Entwickler sind dem International Color Consortium beigetreten.

Folgende Liste enthält alle Mitglieder des ICC (Stand Juni 2002) [6]:

Founding Members:		
Adobe Systems Incorporated	Eastman Kodak Company	Sun Microsystems, Inc.
Agfa-Gevaert N.V.	Microsoft Corporation	Taligent, Inc. (resigned)
Apple Computer, Inc.	Silicon Graphics, Inc.	
Regular Members:		
Acer Peripherals, Inc.	Imaging, S.A	Quatographic AG
ALWAN COLOR Expertise	Imaging Technologies Corp. (ITEC)	Que-Net Media
BARCO NV	Industrial Technology Research Inst.	Ricoh Corporation
Binuscan	Integrated Color Solutions, Inc.	Ratio Entwicklungen GmbH
B&R, groupe ODESSA	Intel Corporation	Royal Information Electronics Co., Ltd.
Canon Development Americas, Inc.	Just Normlicht	R. R. Donnelley & Sons Company
Color Savvy Systems, Inc.	Kodak Polychrome Graphics	R.T.Image
Computer & Software Research, ETRI	Konica Corporation	SCP Software GmbH
Corbis Corporation	Korea C4 Co., Ltd.	Seiko Epson Corporation
CreoScitex	Kyocera Corporation	SELECTA SPA
Dainippon Screen	Lexmark International	Sharp Laboratories of America, Inc.
DuPont Color Proofing	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.	Shira Computers Ltd.
E-Color	Minolta Co. LTD	Sony Corporation
Fuji Photo Film U.S.A., Inc	Miro Displays	Toppan Printing Co., Ltd.
Fuji Xerox Co., LTD	NEC Corporation	Toyo Ink Mfg. Co., Ltd.
Fujitsu Laboratories Ltd.	Nikon Corporation	Vidar Systems Corporation
Global Graphics	Oak Technology, Inc.	WaveMark Technologies, Inc.
Gretag-Macbeth AG	Okidata	WayTech Development, Inc.
Heidelberger Druckmaschinen AG	Onyx Graphics Corporation	Xerox Corporation
Hewlett Packard Company	Polaroid Corporation	X-Rite
Imaging Business Machines, LLC	Quark	
Honorary Members:		
EPFL	FOGRA	London College of Printing

3.2 Bestandteile eines ICC-Colormangement Systems

Ein Colormangement System nach ICC-Standard besteht aus Farbprofilen und einem Farbrechner (CMM), welcher die Farbtransformationen übernimmt. Die Farbprofile müssen den ICC-Spezifikationen entsprechen und der Farbrechner muss alle ICC-konformen Farbprofile interpretieren können.

3.2.1 Farbprofile

In Farbprofilen sind Matrizen oder Tabellen (LookUpTable, LUT) zur Umrechnung der gerätespezifischen Farbräume, RGB bei Monitoren und Scannern oder CMYK bei Druckern, in einem geräteunabhängigen Farbraum enthalten. Auf den genauen Aufbau und die verschiedenen Elemente eines Farbprofils wird unter 3.3 eingegangen. ICC-Farbprofile stehen als einzelne Dateien zur Verfügung. Auf dem PC sind sie an den Endungen *.icc oder *.icm zu erkennen. Diese werden Ein- oder Ausgabegeräten zugeordnet, um deren Farbwiedergabe zu steuern und zu optimieren [7].

3.2.2 Profile-Connection-Space (PCS)

Der unabhängige Farbraum wird von der ICC als Profile-Connection-Space (PCS) bezeichnet. Als Profile-Connection-Space hat die ICC den CIE-XYZ und CIELab von 1976 verbindlich festgelegt. Die Matrizen oder Tabellen (Look Up Table, LUT) zur Umrechnung in einem ICC-Farbprofil können sich nur auf einen dieser Farbräume beziehen, entweder CIELab oder CIE-XYZ. Beide Farbräume können aber verlustfrei ineinander umgerechnet werden, wodurch keiner Vorteile gegenüber dem anderen hat. Das sowohl CIE-XYZ als auch CIELab verwendet werden, hat mathematische Gründe. Bei RGB-Farbprofilen, die Matrizen zur Farbtransformation einsetzen, ist eine Umrechnung nach CIE-XYZ wesentlich schneller. Farbprofile mit Tabellen (Look Up Table, LUT) zur Farbtransformation lassen sich effektiver nach CIELab umrechnen.

3.2.3 Eingebettete Profile

Die Speicherung digitaler Farbdaten erfolgt nur selten im geräteunabhängigen CIELab-Farbraum, sondern in der Regel im RGB- oder CMYK-Farbraum. Um diese RGB oder CMYK-Farbdaten eindeutig zu bestimmen, muss jeder RGB- oder CMYK-Datei ein Farbprofil zugeordnet werden. Bei der Übertragung der Daten muss das

zugeordnete Profil mit übertragen werden, für den Fall, dass dies auf dem Zielcomputer nicht vorhanden ist. Das ist mühsam und unpraktisch.

Da die Farbprofildateien (200kB – 1,4MB) im Vergleich zu den eigentlichen Bilddaten (2-100 MB) klein sind, ist in den ICC-Spezifikationen die Einbettung von ICC-Farbprofilen in Bilddateien definiert. Die Bilddatei enthält vor den eigentlichen Bildinformationen die Daten des zugehörigen ICC-Farbprofils. Derzeit unterstützen folgende Dateiformate die Einbettung von ICC-Farbprofilen: TIFF, EPS, JPEG, PICT, GIF, PSD.

3.2.4 Der Farbrechner (CMM)

„Der Farbrechner (CMM: Color-Management-Module) hat die Aufgabe, Farbdaten einer Bilddatei (RGB oder CMYK) oder eines Eingabegeräts anhand der Informationen der Farbprofile von einem Quellfarbraum in einen Zielfarbraum zu übertragen. Eine CMM ist zunächst nichts anderes als ein schnelles Rechenprogramm, das die notwendigen mathematischen Algorithmen enthält, um eine Farbtransformation durchzuführen.“ [8]

Der Farbrechner wird immer dann eingesetzt, wenn eingehende Farbdaten anhand eines Farbprofils in den PCS umgerechnet werden müssen bzw. Farbdaten aus dem PCS anhand eines Farbprofils in den Ausgabefarbraum umgerechnet werden müssen.

Ein Farbrechner nach ICC-Spezifikation muss außerdem die Umrechnung der beiden erlaubten Profile-Connection-Spaces CIE-XYZ und CIELab bei Bedarf vornehmen können.

Alle Umrechnungen werden vollautomatisch vom CMM durchgeführt. Der PCS existiert nur innerhalb des Farbrechners als Verbindungsfarbraum und ist für den User nicht zugänglich. Die CMM liefert immer die transformierten Farbdaten direkt zum Ausgabegerät oder zur Speicherung in eine Datei.

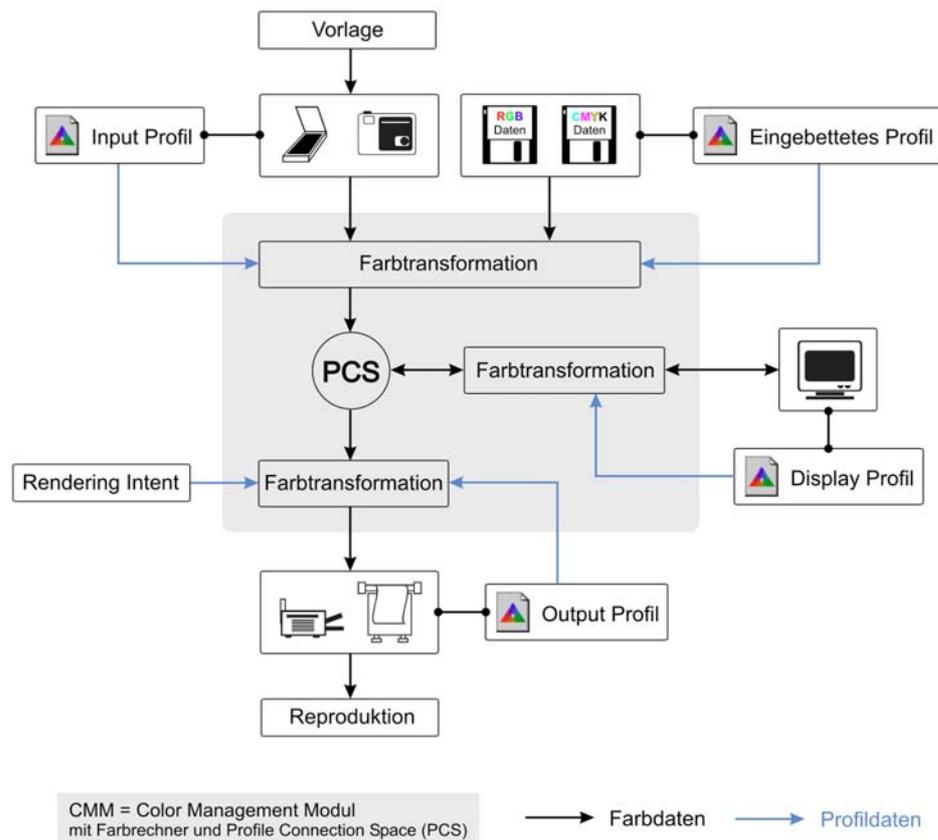


Abb. 6 Colormangement-Ablauf nach ICC-Standard

3.2.5 Rendering Intent und Gamut Mapping

Bei der Umwandlung von Farbdaten aus dem PCS in einen Gerätefarbraum kommt es häufig vor, dass der Farbwert im PCS gar nicht vom Ausgabegerät wiedergegeben werden kann. Der Farbwert im PCS stammt zum Beispiel von einer gescannten Vorlage. Da der Farbraum des Scanners wesentlich größer als der des Druckers ist, können viele Farbwerte des Scans gar nicht exakt auf dem Drucker reproduziert werden.

Der Farbwert muss also durch einen möglichst ähnlichen Farbwert ersetzt werden, der vom Drucker noch wiedergegeben werden kann. Diese Ersetzung wird als Gamut Mapping bezeichnet. Das Problem beim Gamut Mapping besteht darin, zu einem möglichst ähnlichen Farbwert zu kommen. Bei einem einzigen Farbton wäre dies einfach zu erreichen, da eine Vorlage jedoch aus einer Vielzahl von Farbtönen besteht, muss auch die Wirkung der unterschiedlichen Farbtöne zueinander berücksichtigt werden.

Für die Ersetzung von Farbwerten sieht die ICC-Spezifikation vier verschiedene Gamut-Mapping-Strategien vor. Diese Strategien werden als Rendering Intent bezeichnet.

Die vier ICC-Rendering Intents:

- Absolut farbmétrisch (*ICC-Absolute Colorimetric*)
- Relativ farbmétrisch (*Media-Relative Colorimetric*)
- Wahrnehmung, Photographisch, Perzeptiv (*Perceptual*)
- Sättigung (*Saturation*)

(Bezeichnung nach ICC-Spezifikation 4.0.0)

Für jeden Rendering Intent muss im ICC-Farbprofil eine eigene Umrechnungstabelle zur Verfügung stehen. Dadurch wird die Farbersetzung je nach gewähltem Rendering Intent anders durchgeführt.

3.2.5.1 Rendering Intent Colorimetric

Bei den farbmétrischen Rendering Intents absolut und relativ werden alle Farbtöne, die innerhalb des Ausgabefarbraums liegen, ohne Veränderung wiedergegeben. Alle Farbtöne, die außerhalb des Ausgabefarbraums liegen, werden mit geringerer Sättigung auf den Rand des Ausgabefarbraums gelegt. Dadurch geht in den meisten Fällen viel Zeichnung in diesen Bereichen verloren. Vorher unterschiedliche Farbtöne werden nun mit sehr viel geringeren Unterschieden bis hin zu identischen Farbtönen wiedergegeben.

Kann eine große Anzahl an Farbtönen im Ausgabefarbraum nicht wiedergegeben werden, so ändert sich der Gesamteindruck des Bildes, weil zuviel Farbinformation verloren geht.

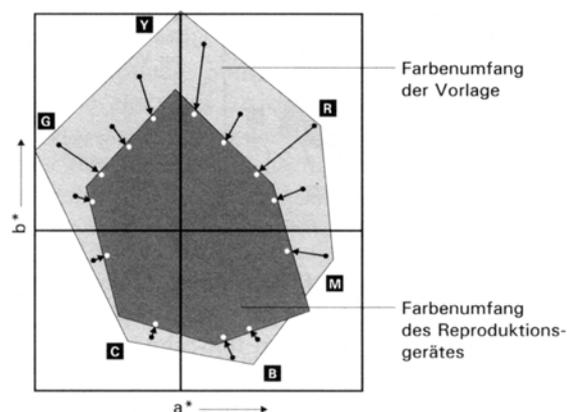


Abb. 7 Rendering Intent Colorimetric

Die farbmetrischen Rendering Intents werden deshalb hauptsächlich eingesetzt, wenn der Ausgabefarbraum größer ist als der Eingabefarbraum. Das ist zum Beispiel beim Proofdruck der Fall, wenn ein kleiner Offset CMYK-Farbumfang auf einem Proofdrucker simuliert wird.

Der Unterschied zwischen dem „Absolut farbmetrischen“ Rendering Intent und dem „Relativ farbmetrischen“ Rendering Intent besteht nur in der Behandlung des Weißpunkts. Sind die Weißpunkte in Ein- und Ausgabefarbraum unterschiedlich, so werden sie beim relativ farbmetrischen Rendering Intent angeglichen. Bei absolut farbmetrischem Rendering Intent bleiben die Weißpunkte unangetastet. Dies ist beim Proofdruck wichtig.

3.2.5.2 Rendering Intent Perceptual

Der photographische Rendering Intent wird auch als wahrnehmungsorientiert, perzeptiv oder perceptual bezeichnet. Gemeint ist jeweils die gleiche Art der Farbtransformation. Ziel des photographischen Rendering Intents ist es, den Gesamteindruck der Vorlage im Ausgabefarbraum zu erhalten. Dies hat zur Folge, dass nicht jeder einzelne Farbton bestmöglich erhalten wird, sondern Farbtonveränderungen zu Gunsten des Gesamteindrucks des Bildes in Kauf genommen werden. Der Farbumfang der Vorlage wird im Prinzip komprimiert, so dass er in den Farbraum des Ausgabegeräts passt. Der Nachteil dieser Methode wird sichtbar, wenn zum Beispiel der Farbton eines Logos innerhalb eines Photos exakt wiedergegeben werden soll. Der photographische Rendering Intent ändert dann zu Gunsten des Gesamteindrucks des Photos auch den Farbton des Logos.

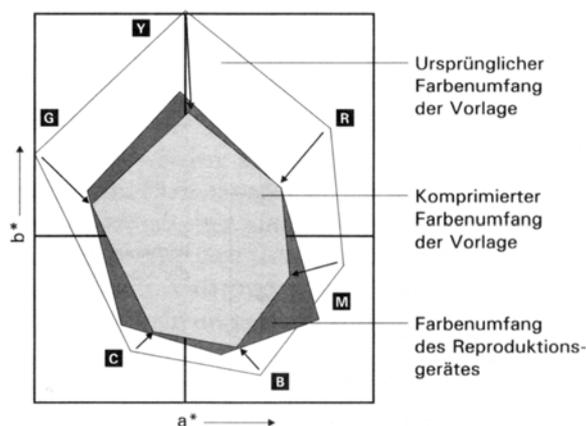


Abb. 8 Rendering Intent Perceptual

Das Beispiel zeigt, dass dadurch der Farbraum des Ausgabegeräts nicht mehr vollständig ausgeschöpft wird. Farbprofil und CMM versuchen den Ausgabefarbraum bestmöglich auszunutzen.

3.2.5.3 Rendering Intent Saturation

Der Rendering Intent Sättigung oder Saturation wird in der Reproduktion praktisch nie eingesetzt. Ziel ist es dabei nicht den Farbton, sondern die Sättigung einer Farbe zu erhalten, auch wenn dies einen deutlich abweichenden Farbton in der Ausgabe zur Folge hat. Gedacht ist diese Methode für Präsentationsgrafiken und farbige Charts, bei denen Wert auf gesättigte Farben gelegt wird, die auffälliger sind und schneller ins Auge fallen.

3.2.6 Drucksimulation, Proofdruck, Linkprofile

Eine wichtige Funktion im Colormanagement ist die Drucksimulation, auch Proofdruck genannt. Hier wird die Ausgabe einer Offsetdruckmaschine auf einem geeigneten Drucker, dem Proofdrucker, simuliert. Der Farbraum des Proofdruckers muss größer sein als der der Druckmaschine. Nur dann können alle Farben des Offsetdrucks auf dem Proofdrucker simuliert werden.

Bei der Simulation einer Druckmaschine müssen sowohl das ICC-Profil der Druckmaschine als auch das ICC-Profil des Proofdruckers in die Umrechnung der Farbwerte der digitalen Bilddaten für die Ausgabe mit eingehen.

Die ICC-Spezifikation überlässt die Realisierung der Drucksimulation komplett den Entwicklern der CMMs bzw. den Betriebssystem- und Anwendungsentwicklern. Heute sind zwei unterschiedliche Wege üblich.

Im ersten Fall übernimmt die CMM alle Berechnungen selbstständig. Dabei werden die ICC-Profile der einzelnen Ausgabegeräte von der CMM eingelesen und zur Verrechnung der Farbwerte genutzt. Leider unterstützen vor allem ältere CMMs bzw. Anwendungsprogramme diese Art der Drucksimulation mit ICC-Profilen nicht.

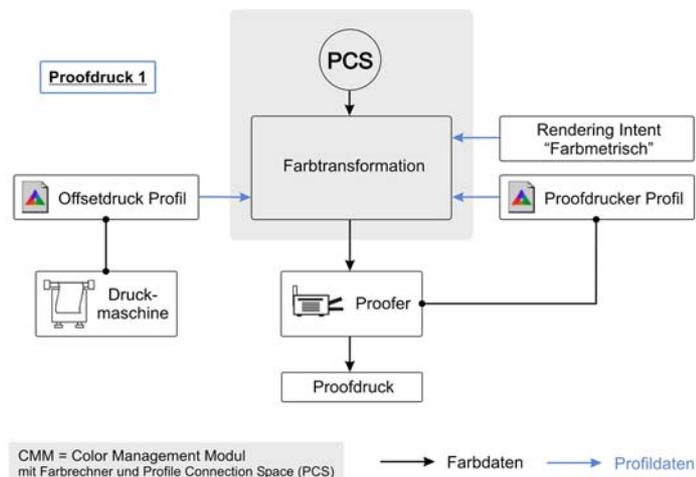


Abb. 9 Proofdruck mit zwei ICC-Profilen

Daher hat sich ein zweiter Weg zur Drucksimulation mit ICC-Profilen etabliert. Aus zwei Farbprofilen wird ein sogenanntes Device-Link-Profil berechnet. In diesem einen Profil sind Umrechnungstabellen enthalten, die Farbdaten aus dem PCS direkt so umrechnen, dass die Ausgabe auf dem Proofdrucker dem zu simulierenden Druck entspricht.

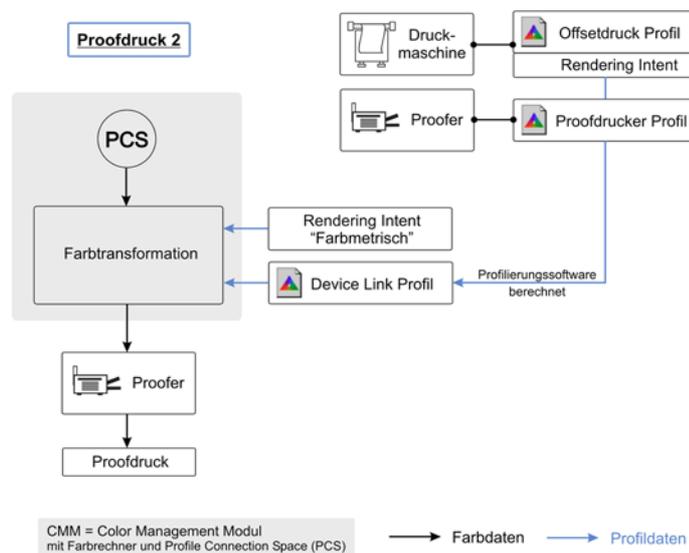


Abb. 10 Proofdruck mit Device-Link Profil

Zur Erzeugung von Device-Link-Profilen ist allerdings eine geeignete Profilerungssoftware notwendig. Die Device-Link-Profile haben den Vorteil, auf jedem Colormangement-System einsetzbar zu sein. Allerdings sind sie recht unflexibel. So muss für jeden gewünschten Rendering Intent ein eigenes Device-Link-Profile erstellt werden. Bei Änderung in einem der beiden Ursprungprofile müssen alle Device-Link-Profile neu berechnet werden [9].

3.3 Aufbau eines ICC-Profiles

Bei einem ICC-Profil handelt es sich um eine binäre Datei und nicht um eine einfache Ansammlung von Messwerten, wie sie bei der Messung eines IT8-Testcharts mit einem Farbmessgerät entstehen. Diese Messwerte werden normalerweise in Textdateien abgelegt und sind mit jedem normalen Editor les- und editierbar.

Um binäre Dateien wie ICC-Profile zu lesen, ist ein Programm notwendig, welches das binäre Format interpretieren kann. Alle ICC-kompatiblen Softwareprodukte können das ICC-Format lesen.

Die ICC-Spezifikation sieht sieben Arten von Profilen vor [10]. Die drei am weitesten verbreiteten sind Geräteprofile:

- Input (scnr), für Scanner und digitale Kameras
- Display (mnr), für CRT und LCD Monitore und Projektoren
- Output (prtr), für Drucker, Druckmaschinen und digitale Belichter

Vier weitere Profilklassen sind:

- Device Link (link), Link-Profile für den Proofdruck
- ColorSpace Conversion (spac), für die Umrechnung von Arbeitsfarbräumen
- Named Color (nmcl), für Sonderfarben, z.B. Pantone
- Abstract (abst), für abstrakte benutzerdefinierte Farbräume

Ein ICC-Farbprofil besteht aus drei Teilen: Header Description, Tag Table Definition, Tagged Element Data.

Der Header enthält allgemeine Informationen über das Profil in Textform.
Die Tag-Table-Definition ist im Prinzip das Inhaltsverzeichnis des Profils. Alle im Profil verwendeten Elemente, auch Tags genannt, müssen in der Tag-Table-Definition enthalten sein. Die eigentlichen Umrechnungstabellen, Matrizen, Tone-Reproduction-Curves, Primärfarben, usw. sind in den Tagged-Element-Data enthalten.

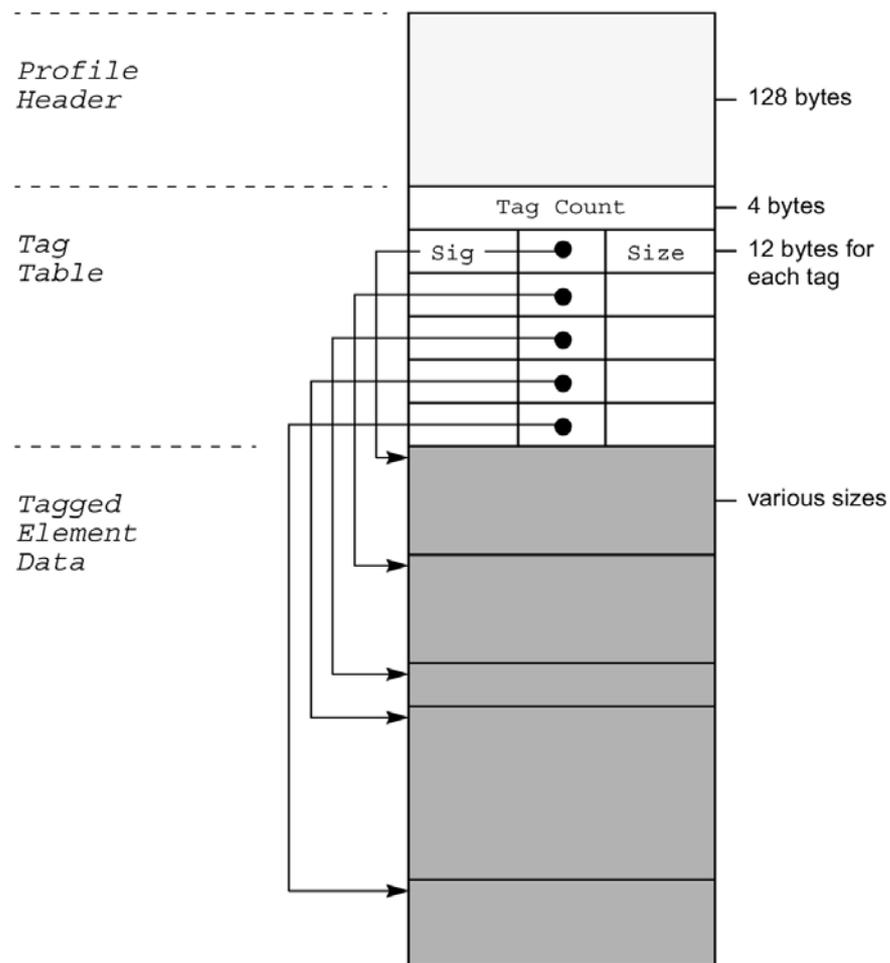


Abb. 11 Aufbau eines ICC-Profiles

3.3.1 Der Header

Im Header sind genaue Informationen über das Profil enthalten. Diese können vom Anwender ausgelesen werden, um zum Beispiel Infos über den Drucker und das Printmedium zu erhalten, für welches das Profil gilt. Es werden von den Profilerzeugern nicht immer alle Header-Informationen bereitgestellt.

Der Header enthält folgende Informationen [11]:

Size:	Volle Größe des Profils in Byte
CMM:	Bevorzugte CMM
Version:	Versionsnummer der verwendeten ICC-Spezifikation, aktuell ist 4.0.0
Device Class:	Beschreibung der Profilkategorie Display (Monitor), Input (Scanner, Kamera) oder Output (Druck) DeviceLink (Proofprofil), Colorspace (Arbeitsfarbraum), Abstract
Color Space:	Beschreibung des Herkunftsfarbraums, normalerweise RGB oder CMYK (RGB, CMYK, Gray, XYZ, Lab, Luv, HLS, HSV, Yxy, CMY, 2colorData, ...)
Conn. Space:	Der im Profil verwendeten PCS (Profile Connection Space) LAB oder XYZ
Date, Time:	Erstellungsdatum des Farbprofils
Platform:	Bevorzugtes Betriebssystem (Microsoft, Apple, Sun, Silicon Graphics)
Flags:	Beschreibung ob das Profil in eine Datei eingebettet ist, oder unabhängig von Farbdaten benutzt werden kann
Dev. Mnfctr.:	Hersteller des Gerätes, für welches das Profil gilt
Dev. Model:	Modell des Gerätes, für welches das Profil gilt
Dev. Attrbts:	Informationen über zusätzliche Geräteeigenschaften, z.B. verwendete Papiersorten (wird selten benutzt)
Rndrng Intnt:	Empfehlung, mit welchem Rendering Intent das Profil genutzt werden sollte MancheCMMs verwenden diesen Eintrag bei der Einstellung <i>Profile Default</i>
Illuminant:	Beschreibung der XYZ/Lab-Werte der Lichtquelle des PCS (Profile Connection Space)
Creator:	Angabe über den Erzeuger oder die Erzeugersoftware des Profils

ICC-Profilen von Hardwareherstellern haben leider häufig nicht besonders aussagekräftige Dateinamen. Das Auslesen der Header-Informationen gibt dem Anwender die Möglichkeit, Herkunft und Inhalt des ICC-Profiles zu bestimmen. Die meisten Betriebssysteme und Anwendungsprogramme für DTP und Bildbearbeitung bieten allerdings keine Möglichkeit an, die vorhandenen Header-Informationen anzuzeigen.

Beispiel für die Header-Informationen in einem ICC-Profil:

```
size = 583445 bytes
CMM = 'appl'
Version = 2.0.0
Device Class = Output
Color Space = CMYK
Conn. Space = Lab
Date, Time = 14 Oct 1996, 21:56:04
Platform = Macintosh
Flags = Not Embedded Profile, Use anywhere
Dev. Mnfctr. = 'CMBx'
Dev. Model = oxo
Dev. Attribts = Reflective, Glossy
Rndrng Intnt = Perceptual
Illuminant = 0.964188, 1.000000, 0.824890 [Lab 100.000000, -0.002140,
0.000797]
Creator = oxo
```

3.3.2 Tag Table Definition und Tagged Element Data

Die verschiedenen Daten, die im ICC-Profil enthalten sind, werden als Tags bezeichnet. In der ICC-Spezifikation sind 43 verschiedene Tags beschrieben. Je nach Art des Profils sind fünf bis zwölf Tags in einem Profil enthalten.

Jeder verwendete Tag und seine Größe werden in der Tag Table Definition eingetragen. Die zugehörigen Daten zu jedem Tag finden sich unter Tagged Element Data. Beide Teile sind also unmittelbar miteinander verbunden.

Die Tags eines Profils lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Required Tags
- Optional Tags
- Private Tags

3.3.2.1 Required Tags

Für ein funktionierendes Farbprofil sind lediglich die Required Tags erforderlich. Jedes ICC-konforme Color Management Modul (CMM) kann damit eine Farbraumumrechnung durchführen. Je nach Profil-Typ, Monitor-, Scanner- oder Drucker-Profil, sind verschiedene Tags in der ICC-Spezifikation vorgeschrieben. Welche das im einzelnen sind entnehmen Sie Kapitel 3.5.

3.3.2.2 Optional Tags

Optional Tags enthalten zusätzliche Informationen, welche in der ICC-Spezifikation definiert sind. Diese können zu einer besseren Qualität bei Farbtransformationen beitragen.

3.3.2.3 Private Tags

Private Tags sind erlaubte zusätzliche Informationen, die der Hersteller in sein Profil aufnehmen darf. Allerdings können sie nur von der CMM desselben Herstellers gelesen werden. Einige Hersteller missbrauchen dies, um nur bei der Kombination ihrer CMM und Profilen mit ihren Private Tags Qualitätsverbesserungen für den Kunden zu ermöglichen. Dies unterläuft den offenen ICC-Standard und schafft Inkompatibilitäten.

Wenn Private Tags die Farbtransformationen in keiner Weise beeinflussen, entstehen durch sie keine Nachteile.

Tabelle der wichtigsten Tags nach ICC-Spezifikation [12]:

Info Tags	ProfileDescriptionTag	Profile name for display
	DeviceMfgDescTag	Displayable description of device manufacturer
	DeviceModelDescTag	Displayable description of device model
	CopyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
	CalibrationDateTimeTag	Profile calibration date and time
	CharTargetTag	Characterization target such as IT8/7.2
	technologyTag	Device technology information such as LCD, CRT, Dye Sublimation, etc.
	ucrbgTag	Under color removal and black generation description
Matrix Tags	redMatrixColumnTag	Relative XYZ values of red phosphor or colorant (The first column used in TRC/matrix transforms)
	GreenMatrixColumnTag	Relative XYZ values of green phosphor or colorant (The second column used in TRC/matrix transforms)
	BlueMatrixColumnTag	Relative XYZ values of blue phosphor or colorant (The third column used in TRC/matrix transforms)
	redTRCTag	Red channel tone reproduction curve
	GreenTRCTag	Green channel tone reproduction curve
	BlueTRCTag	Blue channel tone reproduction curve
	GrayTRCTag	Gray tone reproduction curve
LUT Tags	AToB0 / A2B0 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent perceptual
	AToB1 / A2B1 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent colorimetric
	AToB2 / A2B2 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent saturation
	BToA0 / B2A0 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent perceptual
	BToA1 / B2A1 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent colorimetric
	BToA2 / B2A2 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent saturation
Whitepoint Tags	ChromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if illumination source is not D50)
	MediaWhitePointTag	Media XYZ white point
	MediaBlackPointTag	Media XYZ black point
Post script Tags	ps2CRD0Tag	PostScript Level 2 color rendering dictionary: perceptual
	ps2CRD1Tag	PostScript Level 2 color rendering dictionary: colorimetric
	ps2CRD2Tag	PostScript Level 2 color rendering dictionary: saturation
	ps2CRD3Tag	PostScript Level 2 color rendering dictionary: ICC-absolute
	ps2CSATag	PostScript Level 2 color space array
	ps2RenderingIntentTag	PostScript Level 2 Rendering Intent

3.4 Methoden zur Farbtransformation in ICC-Profilen

Die Informationen für die Farbtransformationen sind in verschiedenen Tags enthalten. Die Übersicht auf der vorhergehenden Seite zeigt die verschiedenen Tags nach Gruppen sortiert. Je nach Art der im Profil benutzten Farbtransformation müssen verschiedene Tags im Profil enthalten sein.

Die ICC-Spezifikation sieht zwei grundsätzliche Methoden zur Farbtransformation in ICC-Profilen vor:

- Matrix-basierte-Profiles mit 3x3-Matrix und Tone Reproduction Curve (TRC)
- LUT-basierte-Profiles mit mehrdimensionalem Look-Up-Table (CLUT), Input- und Output-Curves

Matrix-basierte-Profile sind in erster Linie Monitor- und Farbraumprofile. Sie sind sehr klein (20-100 kByte) im Vergleich zu LUT-basierten Profilen, da nur wenige Werte im Profil hinterlegt werden müssen.

LUT-basierte-Profile werden vor allem für Ausgabegeräten, die im CMYK-Farbsystem arbeiten, genutzt. Bei RGB-Geräte werden sie für Farbprofile von Scannern, digitalen Kameras und RGB-Belichtern eingesetzt. Durch die mehrdimensionalen Look-Up-Tables haben diese Profile eine Größe zwischen 400 kByte und 1,5 Mbyte.

3.4.1 Matrix-Based-Profiles

Matrix basierte Profile enthalten eine 3x3-Matrix zur Umrechnung eines geräte-abhängigen RGB-Farbraums in den PCS (Profile-Connection-Space). Die Farbwerte werden außerdem über sogenannte Tone Reproduction Curves angepasst.

Sie sind nur auf Geräte anwendbar, die im RGB-Farbsystem arbeiten, sprich zur Beschreibung der Farbeigenschaften von Monitoren, Scannern oder digitalen Kameras. Als PCS muss CIE-XYZ verwendet werden. Mit einer 3x3-Matrix kann nicht von RGB nach CIELab umgerechnet werden, sondern nur von RGB nach CIE-XYZ [13].

$$\begin{bmatrix} R_{\text{Device}} \\ G_{\text{Device}} \\ B_{\text{Device}} \end{bmatrix} \cdot \text{TRC}_{\text{Rot}} = \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} X_{\text{Rot}} & X_{\text{Grün}} & X_{\text{Blau}} \\ Y_{\text{Rot}} & Y_{\text{Grün}} & Y_{\text{Blau}} \\ Z_{\text{Rot}} & Z_{\text{Grün}} & Z_{\text{Blau}} \end{bmatrix}}_{\text{Matrix}} = \begin{bmatrix} X_{\text{PCS}} \\ Y_{\text{PCS}} \\ Z_{\text{PCS}} \end{bmatrix}$$

Zunächst werden die einzelnen RGB-Werte, die das Gerät liefert, mit Hilfe der Tone Reproduction Curves (TRC) angepasst. Dieser Vorgang wird als Linearisierung bezeichnet.

Für jeden Eingabekanal, normalerweise Rot, Grün und Blau, ist eine eigene TRC im Profil hinterlegt. Die TRC ist eine Kurve, die durch eine Anzahl von Stützstellen bestimmt ist. Je höher die Anzahl der Stützstellen ist, umso höher ist die Genauigkeit.

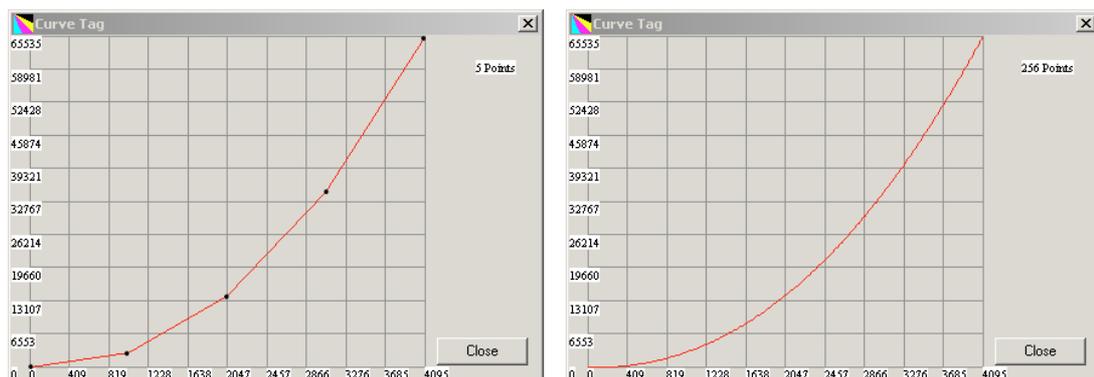


Abb. 12 Tone Reproduction Curve (TRC) mit 5 und 256 Stützstellen

Die linearisierten RGB-Werte werden über die 3×3 -Matrix in XYZ-Werte des PCS umgerechnet. Die Werte innerhalb der Matrix geben die XYZ-Primärvalenzen der roten, grünen und blauen Primärfarben des Eingabegeräts an. Bei Monitoren sind das die XYZ-Werte der Bildschirm-Phosphore.

In einem Profil kann nur eine Matrix und eine TRC pro Kanal vorhanden sein. Matrix basierte Profile unterstützen daher nur einen Rendering Intent: *ICC-Absolute Colorimetric*.

Bei Monitoren entspricht die TRC der Gamma-Kurve des Monitors. Die TRC wird dann nicht mit Hilfe von Stützstellen beschrieben, sondern als mathematische Funktion unter Angabe des Gamma-Wertes.



Abb. 13 Tone Reproduction Curve (TRC) mit Gammawert

3.4.2 Einschub über Monitor Gamma und Gammakorrektur

Der Begriff des Monitorgammas geht bis in das Jahr 1890 zurück und bezieht sich auf das Verhältnis von Elektronenfluss zu Steuerspannung in Elektronenröhren. Die Stärke des fließenden Stromes I_k hängt über eine Potenzfunktion von der Steuerspannung U_d ab. Der Exponent dieser Potenzfunktion (1) wird als Gamma bezeichnet:

$$I_k \approx U_d^\gamma \quad \gamma = 2,5 \quad (\text{Formel 1})$$

Bei Bildröhren weist die Sättigungscharakteristik der Phosphorleuchtdichte L_v bezüglich der Stromstärke I_k ebenfalls eine Potenzfunktion (2) mit einem Exponenten von 0,9 auf.

$$L_v = I_k^{0,9} \approx (U_d^{2,5})^{0,9} \Rightarrow \gamma = 2,2 \quad (\text{Formel 2})$$

Insgesamt ergibt sich für Bildröhren ein Gamma von etwa 2,2.

Die Gammakurve beeinflusst in erster Linie die Mitteltöne; Lichter und Schatten sind nicht so stark betroffen. Je höher der Gammawert gewählt wird, umso dunkler wird ein mittlerer Grauwert dargestellt.

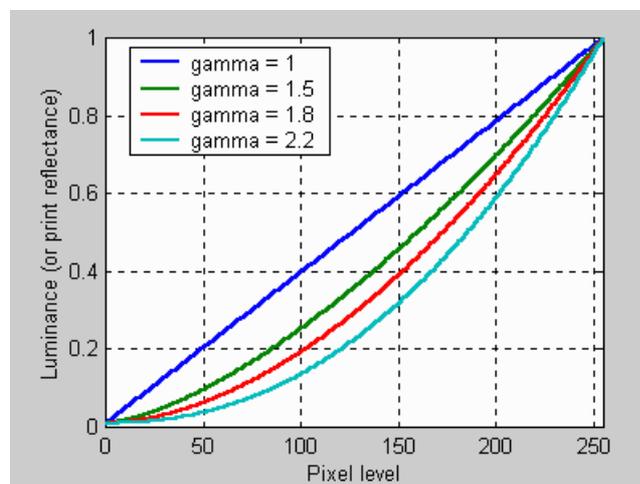


Abb. 14 Leuchtdichteverlauf bei unterschiedlichen Gamma-Kurven

Die Leuchtdichte L_v eines Monitors ist im folgenden Diagramm auf einen Wertebereich von 0 bis 1 normiert. Ein Computersystem, bestehend aus Grafikkarte und Monitor mit 24 Bit Farbtiefe, hat pro Kanal(RGB) 8 Bit, also 256 Stufen (0-255), zur Verfügung.

Der Zusammenhang zwischen Bildschirmhelligkeit Y und Eingangsspannung X kann allgemein so geschrieben werden:

$$Y = (aX + b)^\gamma + c \quad (\text{Formel 3})$$

In der sRGB-Spezifikation ist: $a = \frac{1}{1,055}$ $b = \frac{0,055}{1,055}$ $c = 0$ $\gamma = 2,4$

Wenn man diese Funktion durch die vereinfachte Funktion $Y = X^\gamma$ approximiert, ergibt sich für den sRGB-Farbraum ein γ von 2,2 in Übereinstimmung mit dem Gammawert einer Bildröhre.

Die Konsequenz dieser Gammakennlinie ist, dass die Wiedergabe von Grauwerten nichtlinear ist und insbesondere mittlere Grauwerte zu dunkel wiedergegeben werden. Zum Beispiel folgt für einen Eingangswert von $X = 0,5$ und $\gamma = 2,2$ ein Y von 0,218. Die Nichtlinearität führt ebenfalls zur Verfälschung der Farbdarstellung. Um die Bilddaten farbrichtig darzustellen, ist eine Kompensation der Gammakennlinie, d.h. eine Gammakorrektur, erforderlich. Lineare RGB-Werte, wie sie in einem Bildbearbeitungsprogramm vorhanden sind, müssen entsprechend einer Potenzfunktion mit dem Exponent $\frac{1}{\gamma} \approx 0,45$ vorverzerrt werden. Diese Vorverzerrung wird in Abhängigkeit von der Systemplattform zu unterschiedlichen Anteilen auf die Applikation und das Betriebssystem aufgeteilt [14] [15].

Unter MS-Windows erfolgt keine Gammakorrektur durch das Betriebssystem. Als Standard auf dem PC hat sich ein Gamma von 2,2 etabliert, also der durchschnittliche Werte eines CRT-Monitors. Die Gammakorrektur muss in der Applikation durchgeführt werden.

Beim Mac ist es etwas anders, dort führt das Betriebssystem standardmäßig eine Gammakorrektur von 1,4 durch, die für alle Anwendungen gleich ist. Für den Mac ergibt sich aus Monitorgamma 2,2 und einer Gammakorrektur von 1,4 eine Standard-Gamma von 1,8. Das gilt nicht für Apples neues Betriebssystem Mac OS X. Hier ist ein ColorSync-Modul zur Monitorkalibrierung verfügbar, das die freie Einstellung der Gamma-Korrektur zulässt.

	Input Signal	Software Correction Required	Built In OS Correction	Output Signal
PC no Correction				
PC full Software Correction				
Macintosh Hardware Correction Only				
Macintosh Hardware and Software Correction				

Abb. 15 Grauverlauf mit und ohne Gammakorrektur auf Mac und Windows-PC

Ein Gammawert von 1,8, wie er auf dem Macintosh benutzt wird, gilt als besser geeignet für die Darstellung von Druckvorschauen am Monitor. Das hängt mit den Eigenschaften des Offsetdrucks zusammen. Die einzelnen Druckpunkte des Offsetdrucks erfahren auf dem Papier einen Punktzuwachs. Dadurch wird jeder Punkt etwas größer als eigentlich beabsichtigt. Das hat für das Bild zur Folge, dass vor allem die Mitteltöne dunkler erscheinen. Die Folgen des Punktzuwachses lassen sich mit einer Gamma-ähnlichen Kurve beschreiben. Ein vergleichbarer Gamma-Wert für den Offsetdruck wäre 1,75. Dies entspricht dem Gamma-Wert auf dem Mac, dessen Bildschirmdarstellung dem Ausdruck daher näher kommt als auf dem PC mit einem Gamma von 2,2 [16].

Neben der technischen Notwendigkeit der Gamma-Korrektur auf Grund des nichtlinearen Monitorverhaltens, hat sie auch eine wichtige sehphysiologische Bedeutung. Das menschlich Auge funktioniert nicht linear. Helligkeitsunterschiede werden vom Auge nicht gleichmäßig wahrgenommen. Wird die Helligkeit L_v einer Fläche in festen Schritten ΔL_v erhöht, so nimmt das Auge diese immer gleichen Schritte mit zunehmender Helligkeit als immer geringere Helligkeitserhöhungen wahr. Damit eine Helligkeitsveränderung vom Auge wahrgenommen wird, muss sich die Helligkeit um 1% gegenüber der vorherigen Darstellung verändern. Das Webersche Gesetz beschreibt diesen Zusammenhang:

$$\Delta L_{\text{Veränderung}} = 0,01 \cdot L_{\text{Vorher}} \quad (\text{Formel 4})$$

Um über den gesamten Helligkeitsbereich genügend kleine Stufen zu haben, wäre eine Auflösung von 14 Bit (16384 Stufen) je Kanal notwendig. Heute sind immer noch 8 Bit pro Kanal mit 256 Stufen bei der Speicherung von Bilddaten üblich.

Bei einem Gamma von 1 mit linearen Abstufungen sind die numerischen ΔL -Werte immer gleich groß. In dunklen Bereichen können sie so groß werden, dass es zu sichtbaren Stufen kommt. Erst eine Gamma-Kurve macht die Anpassung der numerischen ΔL -Werte möglich. Durch die Gamma-Korrektur werden die numerischen ΔL -Werte bei geringen Helligkeiten kleiner und bei zunehmender Helligkeit größer als bei einem Gamma von 1.

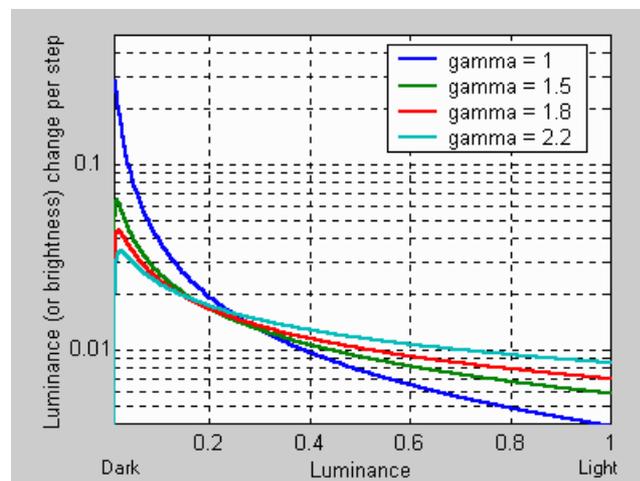


Abb. 16 Größe der Helligkeitsstufen ΔL über der Leuchtdichte L_v

Im Diagramm ist eine halblogarithmische Darstellung gewählt. Der Idealfall wäre in dieser Darstellung eine Gerade bei 0,01, was in der Praxis aber nicht realisierbar ist. Es wird jedoch deutlich, dass ein Gamma von 1,8 oder 2,2 in dunklen Bereichen deutliche Vorteile bringt, mit tolerierbaren Einbußen bei mittleren und großen Helligkeiten [17] [18].

In Zukunft wird es wohl zu einer Erhöhung der Bittiefe auf 12 oder 16 Bit pro Kanal bei der Speicherung von Bilddaten kommen.

3.4.3 LUT-Based-Profiles

LUT basierte Profile enthalten mehrdimensionale Tabellen (Look-Up-Table) zur Farbtransformation. Bei der Umrechnung von Farbwerten wird für einen Eingabefarbwert der entsprechende Ausgabefarbwert in dieser Tabelle nachgeschlagen. Die Tabelle kann natürlich nicht beliebig viele Farbwerte enthalten, sondern nur eine festgelegte Anzahl. In der Praxis enthält ein Profil zwischen 5000 und 40.000 Farbwerte, die als Stützstellen oder GridPoints bezeichnet werden. Alle nicht vorhandenen Farbwerte werden per Interpolation vom CMM (Color Management Module) berechnet. Je höher die Anzahl an vorhandenen Stützstellen ist, umso größer ist die Genauigkeit eines Profils, da Interpolationsfehler vermieden werden.

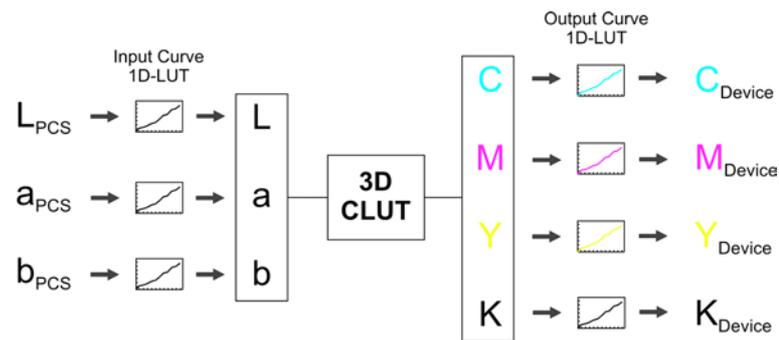
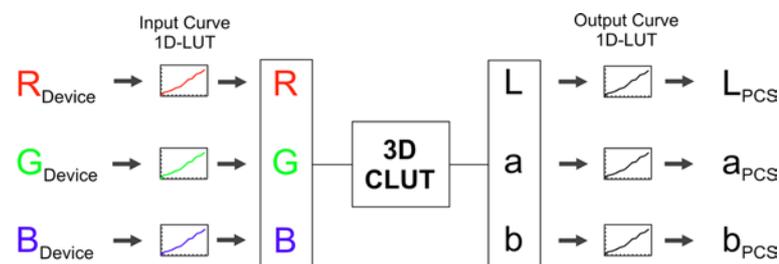
Für jeden Rendering Intent ist im Profil eine eigene mehrdimensionale Tabelle vorhanden. Lediglich die farbmtrischen Rendering Intents „ICC-Absolute Colorimetric“ und „Media-Relative Colorimetric“ benutzen die gleiche Tabelle für Farbumrechnungen.

Genauso ist für jede Umwandlungsrichtung eine eigene mehrdimensionale Tabelle vorhanden. AToB-Tags enthalten Tabellen für die Umrechnung vom Gerätefarbraum zum PCS und BToA-Tags für die Umrechnung vom PCS zum Gerätefarbraum.

Das ergibt bei zwei Umwandlungsrichtungen (PCS to Device und Device to PCS) und drei Rendering Intents (Farbmtrisch, Photographisch und Sättigung) maximal sechs mehrdimensionale Tabellen (LUT) in einem Profil.

Ein Look-Up-Table (LUT) besteht nach ICC Spezifikation aus folgenden Teilen:

- 3x3-Matrix (nur bei CIE-XYZ als PCS)
- Input-Curve / 1D-Input-Table
- Mehrdimensionaler Look-Up-Table / CLUT
- Output-Curve / 1D-Output-Table

Abb. 17 Farbtransformation über LUT (Lab_{PCS} nach CMYK_{Device})Abb. 18 Farbtransformation über LUT (RGB_{Device} nach Lab_{PCS})

Der Ablauf der Umrechnung ist in der Abbildung oben dargestellt. Vor und nach der 3D-CLUT sind Anpassungskurven vorhanden. Diese werden in der ICC-Spezifikation auch als 1D-Input-Table bezeichnet.

Die in der Spezifikation vorgesehene Matrix kann nur bei CIE-XYZ als PCS eingesetzt werden. In der Praxis wird die Matrix jedoch selten zur Umrechnung der Farbwerte genutzt.

Normalerweise wird bei tabellenbasierten Profilen CIELab als PCS bevorzugt, da die meisten Ausgabegeräte im CMYK-Farbsystem arbeiten. Die Farbwerte müssen vom PCS mit drei Kanälen (XYZ oder Lab) in das CMYK-Farbsystem mit seinen vier Kanälen umgerechnet werden. Dafür ist CIELab besser geeignet als CIE-XYZ [19].

3.4.3.1 Aufbau einer LUT-Struktur [20]

Als erstes wird in einer LUT-Struktur die Anzahl der Ein- und Ausgabekanäle und die Genauigkeit (8 Bit oder 16 Bit) festgelegt. Das kann je nach Art des LUT variieren. Das Beispiel zeigt eine LUT-Struktur aus einem BToAO Tag, also für die Umrechnung vom Profile Connection Space (PCS) zum Druckerfarbraum. Entsprechend gibt es drei Input Channels Lab (PCS) und vier Outputchannel CMYK (Drucker).

LUT Struktur:	
Input Channels:	3 (RGB, Lab, XYZ) 4 (CMYK, Sonderfarben)
Output Channels:	3 (RGB, Lab, XYZ) 4 (CMYK, Sonderfarben)
Wertebereich:	8 Bit, (0-255), 1 Byte Integer 16 Bit, (0-65535), 2 Byte Integer

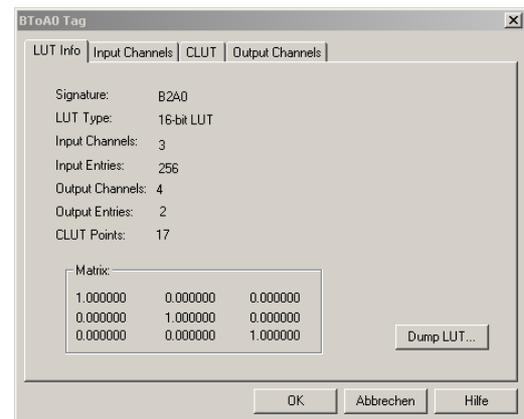


Abb. 19 Beispiel einer LUT-Struktur

3.4.3.2 Anpassungskurven

Die Anpassungskurven dienen der Anpassung der Farbwerte vor und nach der Umrechnung über die mehrdimensionale Tabelle. Bei Ausgabeprofilen wird über die Anpassungskurven vor allem der Einfluss des Punktzuwachses bzw. Tonwertzuwachses kompensiert. Bei 8 Bit-LUTs wird die Kurve aus 256 Einzelpunkten gebildet. 16 Bit LUTs können eine variable Anzahl von Kurvenpunkten enthalten.

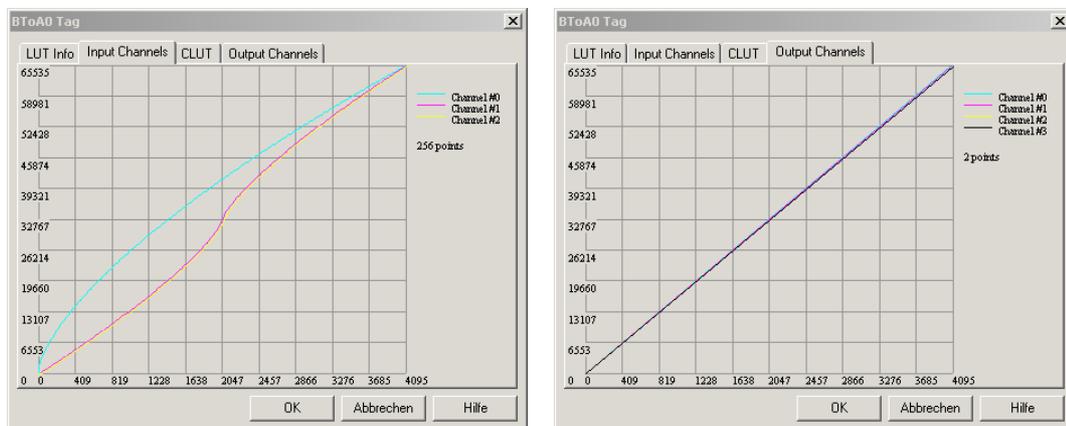


Abb. 20 InputChannels mit 256 Punkten / OutputChannels mit 2 Punkten

Input Curve / 1D-Input-Table:	256 Punkten bei 8-Bit LUT 2 - 4096 Punkten bei 16-Bit LUT
Output Curve / 1D-Input-Table:	256 Punkten bei 8-Bit LUT 2 - 4096 Punkten bei 16-Bit LUT
Bei 2 Einträgen ergibt sich eine Gerade, die keinen Einfluss auf die Umrechnung der Farbwerte hat.	

3.4.3.3 Mehrdimensionaler Look-Up-Table / CLUT

Der CLUT enthält die mehrdimensionale Tabelle zum Nachschlagen der Farbwerte bei einer Farbtransformation. Das ist der wichtigste Teil der LUT-Struktur. Hier findet die eigentliche Farbtransformation vom Farbraum im PCS (Lab, XYZ) in den Gerätefarbraum (RGB, CMYK) oder umgekehrt statt. Die Genauigkeit der Tabelle wird durch die Anzahl der *GridPoints* bestimmt.

Anzahl der Stützstellen je Eingabekanal:	GridPoints (typische Werte 17 oder 32)
Anzahl der Stützstellen im CLUT:	GridPoints ^{InputChannels}
Größe des CLUT in Byte:	GridPoints ^{InputChannels} * OutputChannels (bei 8 Bit) GridPoints ^{InputChannels} * OutputChannels *2 (bei 16 Bit)

Beispiel Offset-Profil BToA-Tag (PCS to Device):	Beispiel Scanner-Profil AToB-Tag (Device to PCS):
16 Bit LUT	8 Bit LUT
32 GridPoints	17 GridPoints
3 InputChannel (Lab im PCS)	3 InputChannel (RGB)
4 OutputChannel (CMYK)	3 OutputChannel (Lab im PCS)
32.768 Stützstellen im CLUT	4.913 Stützstellen im CLUT
262,1 kByte Größe des CLUT	14,74 kByte Größe des CLUT

CMYK-Profile für Drucker oder Druckmaschinen haben in der Regel 32 *GridPoints*. Damit ergibt sich für diese Profile eine Stützstellenanzahl von knapp 33.000 je Look Up Table (LUT). Da für jeden Rendering Intent und jede Umwandlungsrichtung (PCS to Device / Device to PCS) ein eigener LUT notwendig ist, werden in einem Druckprofil 6 LUTs benötigt. Damit ergibt sich für das komplette ICC-Profil ein Größe von ungefähr 1,8 Mbyte.

Das Scanner Profil benötigt nur einen LUT für die Umrechnung von RGB-Werten des Scanners nach Lab.

3.5 Vorgeschriebene Tags für ICC-Farbprofil Typen

3x3 matrixbasiertes Display Profil (Monitor)

profileDescriptionTag	Profile name for display
copyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
redMatrixColumnTag	Relative XYZ values of red phosphor (The first column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
greenMatrixColumnTag	Relative XYZ values of green phosphor (The second column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
blueMatrixColumnTag	Relative XYZ values of blue phosphor (The third column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
redTRCTag	Red channel tone reproduction curve
greenTRCTag	Green channel tone reproduction curve
blueTRCTag	Blue channel tone reproduction curve
mediaWhitePointTag	Media XYZ white point
chromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if the actual illumination source is not D50)

LUT basiertes Display Profil (Monitor)

profileDescriptionTag	Profile name for display
copyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
AToB0 / A2B0 Tag	LUT structure; Device to PCS
BToA0 / B2A0 Tag	LUT structure; PCS to Device
mediaWhitePointTag	Media XYZ white point
chromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if the actual illumination source is not D50)

Ein LUT basiertes Display Profil verfügt nur über einen Rendering Intent.

Das ergibt zwei LUT-Tags, AToBo (Device to PCS) und BToAo (PCS to Device)

LUT-basiertes Input Profil (Scanner)

profileDescriptionTag	Profile name for display
copyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
AToB0 / A2B0 Tag	LUT structure; Device to PCS
mediaWhitePointTag	Media XYZ white point
chromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if the actual illumination source is not D50)

Ein LUT basiertes Input Profil enthält nur einen LUT-Tag (AToBo), da es nur für Berechnungen vom Gerät zum PCS mit einem Rendering Intent benutzt wird.

3x3 Matrix-basiertes Input Profil (Scanner)

profileDescriptionTag	Profile name for display
copyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
redMatrixColumnTag	Relative XYZ values of red colorant (The first column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
greenMatrixColumnTag	Relative XYZ values of green colorant (The second column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
blueMatrixColumnTag	Relative XYZ values of blue colorant (The third column in the matrix used in TRC/matrix transforms)
redTRCTag	Red channel tone reproduction curve
greenTRCTag	Green channel tone reproduction curve
blueTRCTag	Blue channel tone reproduction curve
mediaWhitePointTag	Media XYZ white point
chromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if the actual illumination source is not D50)

LUT basiertes Output Profil (Ausgabe, Drucker)

profileDescriptionTag	Profile name for display
copyrightTag	7-bit ASCII profile copyright information
AToB0 / A2B0 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent perceptual
AToB1 / A2B1 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent colorimetric
AToB2 / A2B2 Tag	LUT structure; Device to PCS, Intent saturation
BToA0 / B2A0 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent perceptual
BToA1 / B2A1 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent colorimetric
BToA2 / B2A2 Tag	LUT structure; PCS to Device, Intent saturation
gamutTag	Out of Gamut: 8-bit or 16-bit data
mediaWhitePointTag	Media XYZ white point
chromaticAdaptationTag	Converts XYZ color from the actual illumination source to PCS illuminant. (Required only if the actual illumination source is not D50)

Ein Output Profil enthält alle sechs möglichen LUT-Tags.

3.6 ICC und das Betriebssystem

Unter den sieben Gründungsmitgliedern des ICC sind mit Apple, Microsoft, Sun und Silicon Graphics vier Betriebssystemhersteller. Die in der ICC-Spezifikation vorgeschlagenen Strukturen binden das Color Management Modul (CMM) dicht an das Betriebssystem. Das Color Management Framework Interface dient als Verwaltungsplattform für Farbprofile und CMMs. Die Nutzung weiterer CMMs, neben der im Betriebssystem integrierten CMM, ist in der ICC-Spezifikation vorgesehen.

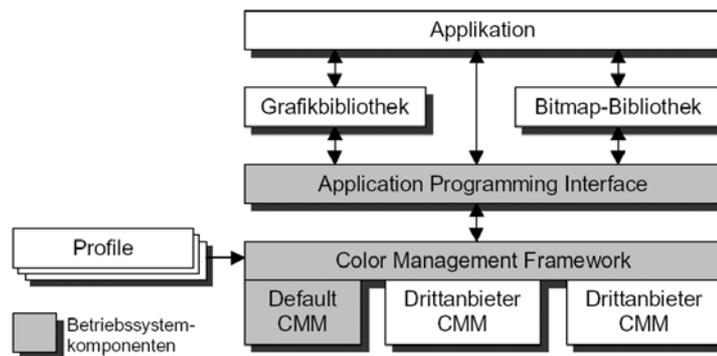


Abb. 21 ICC Colormangement Architektur

Die Farbtransformationen werden auf Betriebssystemebene berechnet. Über das Application Programming Interface (API) wird den verschiedenen Anwendungsprogrammen die Farbmanagement-Funktionalität des Betriebssystems zur Verfügung gestellt. Die Umsetzung auf den verschiedenen Systemplattformen ist unterschiedlich gut gelungen. Eingegangen wird hier nur auf die beiden verbreiteten Plattformen Apple MacOS und Microsoft Windows.

3.6.1 Apple ColorSync

Das erste funktionierende Color Management System stellt Apple unter dem Namen ColorSync 1.0 zur Verfügung. Es ist allerdings noch nicht vollständig ICC-kompatibel. Für den Nachfolger ColorSync 2.0 ab MacOS 7 lizenziert Apple die CMM LinoColor von Linotype-Hell (heute: Heidelberger AG). ColorSync 2 hat den Maßstab im systemweiten ICC-kompatiblen Colormangement gesetzt.

OS	Version	Default CMM
ältere MacOS	ColorSync 1.0	AppleCMM
MacOS 7/8	ColorSync 2.0 - 2.6.1	LinoColor CMM von Linotype Hell
ab MacOS 9	ColorSync 3.0	neue AppleCMM

Im Systemordner des MacOS ist ein eigenes ColorSync-Kontrollfeld vorhanden. Die Einstellungen des Kontrollfeldes stehen systemweit zur Verfügung.

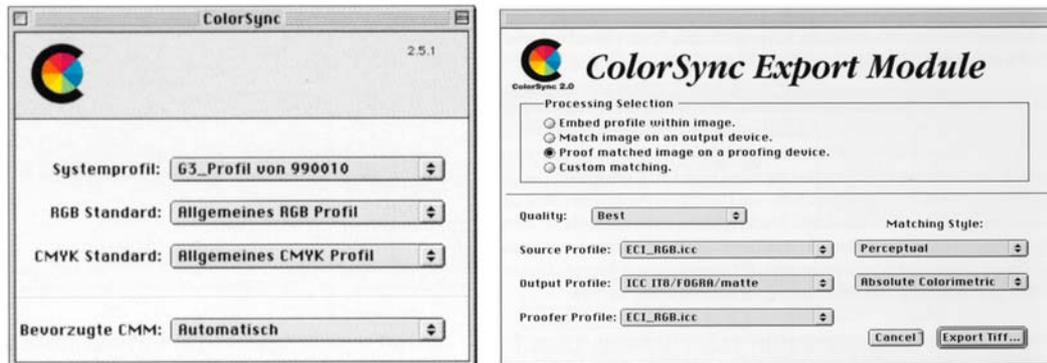


Abb. 22 ColorSync-Kontrollfeld und ColorSync Export Module

Die meisten Anwendungsprogramme unterstützen ColorSync und nutzen das Export Module zur Wahl der Einstellungen. Das Export Module steht allen Anwendungen zur Verfügung, dadurch ist ein einheitliches Erscheinungsbild des Colormanagements auf dem Mac gegeben. Auch Gerätetreiber für Scanner und Drucker nutzen häufig die ColorSync-Module bei der Ein- und Ausgabe von Bildern. Die umfassende Unterstützung der ColorSync-Schnittstelle durch Anwendungen und Gerätetreiber hat wesentlich zum Erfolg von ColorSync beigetragen [21].

3.6.2 Microsoft ICM 2.0

Microsofts erste Implementierung eines ICC-kompatiblen Colormanagements ist in Windows 95 mit ICM 1.0 vorhanden. Die in ICM 1.0 eingesetzte CMM wurde von Kodak entwickelt. Diese CMM reduziert die Anzahl der Stützstellen (GridPoints) in einem LUT-basierten Profil selbstständig auf acht. Das führte teilweise zu schlechten Farbtransformationsergebnissen [22].

Erst mit ICM 2.0 stellte Microsoft eine wesentlich verbesserte Colormanagement-Schnittstelle zur Verfügung. Als Default CMM wird dort ebenfalls die CMM von Heidelberg eingesetzt. Damit war auf Windowsebene der gleiche Farbrechner wie auf dem Mac verfügbar.

ICM 2.0 ist ab Windows 98 im Betriebssystem implementiert. In allen späteren Windows-Versionen (Windows ME, Windows 2000 und Windows XP) ist ICM 2.0 ebenfalls enthalten, nicht jedoch in Windows NT.

OS	Version	Default CMM
Windows NT	--	--
Windows 95	ICM 1.0	KCMS, CMM von Kodak
Windows 98/ME/2000/XP	ICM 2.0	LinoColor CMM von Heidelberger

Leider arbeitet ICM 2.0 etwas im Verborgenen. Es ist kein Kontrollfeld in der Systemsteuerung vorhanden, lediglich versteckt im Gerätemanager können dem Monitor oder dem Drucker ICC-Farbprofile zugeordnet werden. Obwohl auch ICM 2.0 Anwendungsprogrammen eine standardisierte Schnittstelle über API zur Verfügung stellt, wird diese nur sehr selten benutzt [23].

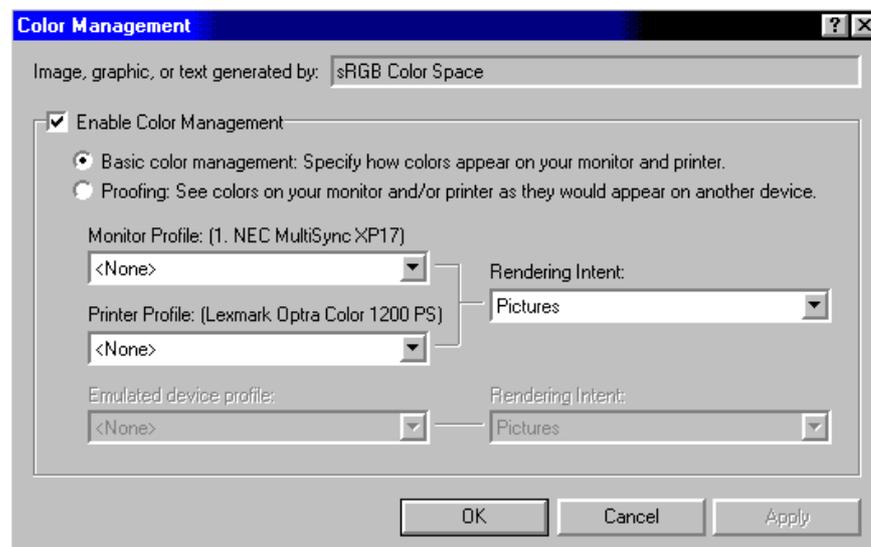


Abb. 23 Microsoft ICM 2.0-Interface

Die meisten Windows-Anwendungen aus dem DTP-Bereich setzen auf eigenes Colormanagement, nur manchmal mit der Option zur Verwendung von ICM 2.0.

Insgesamt ist ICM 2.0 nicht so klar strukturiert wie ColorSync auf dem Mac. In jeder Anwendung muss das Colormanagement separat konfiguriert werden. Das ist mühsam und schafft Unklarheiten, da gleiche Optionen durch unterschiedliche Begrifflichkeiten verwässert werden.

Colormanagement mit ICC-Profilen ist auch auf dem PC qualitativ hochwertig möglich, erfordert aber wesentlich mehr fundierte Kenntnisse.

3.6.3 CMMs anderer Hersteller

Neben der in MacOS und Windows eingesetzten Default CMM LinoColor von Heidelberg gibt es noch eine ganze Reihe weitere CMMs auf dem Markt. Vor allem Software zur Erstellung von ICC-Profilen enthält häufig eigene CMMs, welche unter ColorSync oder ICM 2.0 als Alternative verfügbar sind.

Name	Hersteller	Verwendet in
Heidelberger CMM (früher LinoColor CMM)	Heidelberger (früher Linotype-Hell)	LinoColor ColorOpen
KCMS	Kodak	ICM 1.0 Adobe Pagemaker 6.5 Corel Graphics
Agfa CMM	Agfa	Agfa ColorTune Agfa FotoLook
ACE (Adobe Color Engine)	Adobe	Adobe Photoshop 6 Adobe Acrobat 5 Adobe Illustrator 9 Adobe Pagemaker 7
Logo CMM	Gretag MacBeth	ProfileMaker Eye-One Color
BestColor CMM	BestColor	Best Colorproof Best Photo Edition

Die Ergebnisse der Farbtransformationen verschiedener CMMs zeigen nur geringe Unterschiede. Bei einfachen Farbtransformationen, zum Beispiel bei der Wandlung von RGB-Bildaten für die Ausgabe nach CMYK, liefern alle CMMs gute und vor allem vergleichbare Ergebnisse. Unterschiede gibt es beim Proofdruck, bei dem die Umrechnung von Eingabeprofilen mit Proof- und Ausgabeprofilen notwendig ist. Vor allem bei der Simulation der Papierweiße des Auflagedrucks kommt es bei manchen CMMs zu schlechten Ergebnissen.

Die CMMs von Heidelberg, Adobe, Apple ColorSync 3, Logo und BestColor arbeiten alle problemlos. Agfas CMM hat Probleme bei der Simulation der Papierweiße. Die CMM von Kodak arbeitet mit PrivateTags, die nur in Kodak Profilen enthalten sind. Bei älteren Versionen von Kodaks KCMS führte die Verwendung von ICC-Profilen anderer Hersteller zu schlechten Farbtransformationsergebnissen, neueren Versionen arbeiten auch mit Nicht-Kodak Profilen einwandfrei. In Profilen von Kodak sind aber nach wie vor PrivateTags für die Kodak CMM enthalten [24].

3.7 Bedeutung von CMM und Profilqualität

Die geringen Unterschiede bei verschiedenen CMMs machen deutlich, dass die eigentliche Intelligenz in den Profilen selbst steckt. Die Unterschiede von Farbtransformationen, die sich durch die Verwendung unterschiedlicher Profile für ein Ausgabegerät ergeben, können sehr groß sein, beispielsweise bei der Verwendung von Herstellereigenen Profilen und selbst gemessenen Profilen. Das soll aber nicht heißen, dass alle Herstellerprofile von minderer Qualität sind.

Die Genauigkeit der Profile ist von entscheidender Bedeutung und macht die Software zur Erstellung von ICC-Profilen so wichtig. Die eigentliche Leistung steckt in diesen Programmen. Sie müssen aus den reinen Messdaten eines IT8-Charts ein gut funktionierendes ICC-Profil erzeugen.

Das ist bei Display- und Input-Profilen noch verhältnismäßig einfach, da nur ein Rendering Intent vorhanden ist und diese RGB-Profile häufig Matrix-basiert sind.

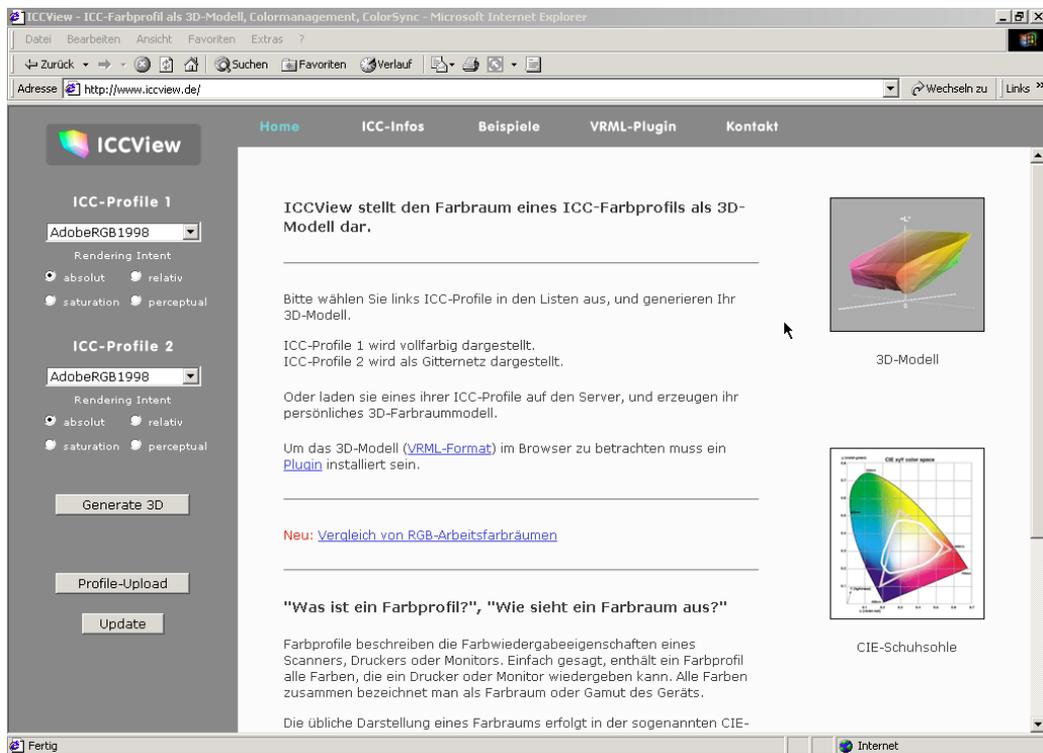
Output-Profile stellen wesentlich höhere Anforderungen. In der Regel muss bei Output-Profilen von Lab nach CMYK umgerechnet werden. Die Profilierungssoftware muss für die Umsetzung der Messdaten in verschiedene Rendering Intents sorgen. Die Anpassung für die unterschiedlichen Rendering Intents geschieht zum größten Teil schon bei der Erzeugung des Profils und nicht bei der Umrechnung der Farbdaten in der CMM. Diese nimmt lediglich die Werte aus dem LUT des Profils und interpoliert notwendige Zwischenwerte.

Die Qualität der Profile spielt für gute Farbtransformationen die entscheidende Rolle. Das Problem ist jedoch, dass man einer ICC-Profildatei die Qualität nicht ansieht. Da es sich bei ICC-Profilen um Binärdateien handelt, können sie nicht einfach mit einem Texteditor eingesehen werden. Häufig ist es schwer genug, Informationen über Hersteller und Angaben über Geräte oder Bedruckmedien des Profils zu bekommen.

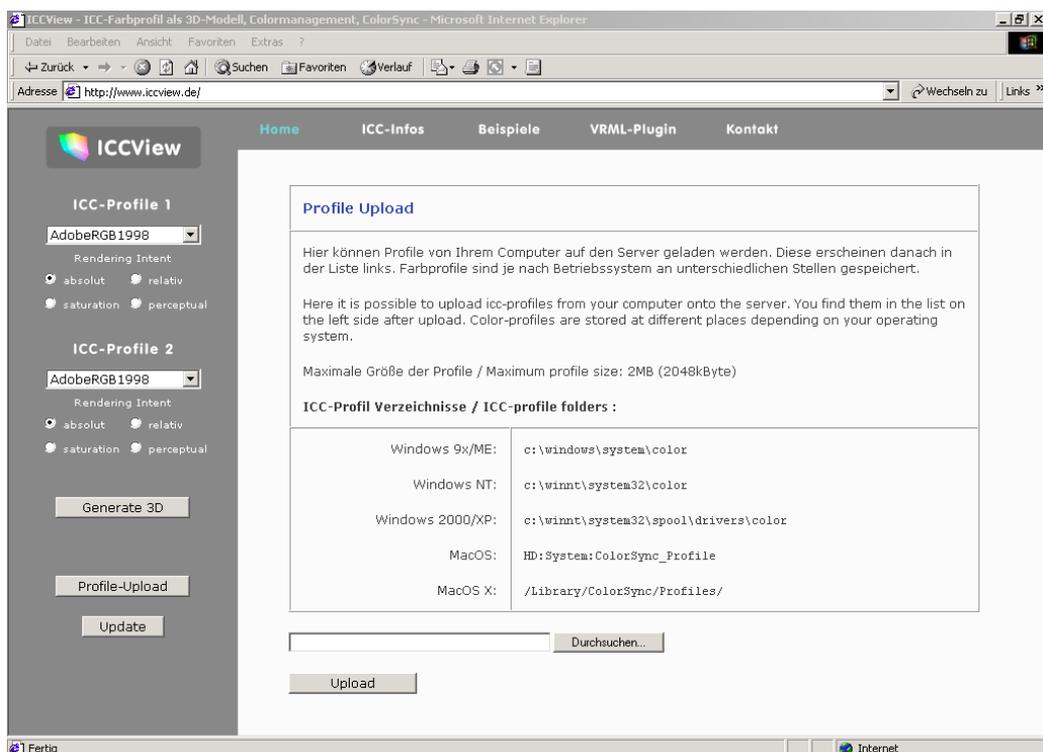
5 ICCView in der Anwendung

5.1 Die Internetseite <http://www.iccview.de>

Startseite:



Profile Upload Seite:



3D-Modell mit Header-Informationen:

The screenshot shows the ICCView web application interface. On the left, there are controls for selecting ICC profiles (EuroscaleCoated and sRGB) and rendering intents (absolut, relativ, saturation, perceptual). The main area displays a 3D wireframe model of a color gamut with axes labeled +A*, -A*, +B*, and -B*. Below the model, two columns of profile information are shown:

EuroscaleCoated.icc	sRGB.icc
<p>Description: Euroscale Coated v2</p> <p>Header: size = 557164 bytes CMM = 'ADBE' Version = 2.1.0 Device Class = Output Color Space = CMYK Conn. Space = Lab Date, Time = 26 Jul 2000, 6:28:03 Platform = Macintosh Flags = Not Embedded Profile, Use anywhere Dev. Mnfrctr. = 'ADBE' Dev. Model = 0x0 Dev. Attribts = Reflective, Glossy Rndrng Intnt = Perceptual Illuminant = 0.964203, 1.000000, 0.824905 [Lab 100.000000, 0.000498, -0.000436] Creator = 'ADBE'</p> <p>Copyright 2000 Adobe Systems, Inc.</p> <p>VRML 3D Datei speichern</p> <p>Generated by iccview.de with iccgamut, viewgam based on the Aryll CMS by Graeme W. Gill</p>	<p>Description: sRGB IEC61966-2.1</p> <p>Header: size = 3144 bytes CMM = 'Lino' Version = 2.1.0 Device Class = Display Color Space = RGB Conn. Space = XYZ Date, Time = 9 Feb 1998, 6:49:00 Platform = Microsoft Flags = Not Embedded Profile, Use anywhere Dev. Mnfrctr. = 'IEC' Dev. Model = 'sRGB' Dev. Attribts = Reflective, Glossy Rndrng Intnt = Perceptual Illuminant = 0.964203, 1.000000, 0.824905 [Lab 100.000000, 0.000498, -0.000436] Creator = 'HP'</p> <p>Copyright (c) 1998 Hewlett-Packard Company</p>

5.2 Beispiele für den Vergleich von Farbräumen mit ICCView.de

Anhand von Beispielen soll der Einsatz der 3D-Farbraummodelle von ICCView verdeutlicht werden. Die gezeigten Beispiele stellen einen Auszug vieler denkbarer Vergleiche von Farbräumen und ICC-Profilen dar und sind als Anregung gedacht, weitere interessante Vergleiche anzustellen.

Die 3D-Modelle lassen sich im Druck nur zweidimensional darstellen. Auf die notwendige Darstellung der 3D-Modelle von verschiedenen Seiten wurde verzichtet. Dafür sind alle Beispiele auf der beiliegenden CD-Rom verfügbar. Zum Betrachten der 3D-Modelle muss lediglich ein VRML-Plugin im Browser installiert werden.

5.2.1 Vergleich zwischen RGB-Farbraum und CMYK-Farbraum

Durch unterschiedliche Farbsysteme bei Monitor (RGB, additiv) und Druck (CMYK, subtraktiv) sind auch die Farbräume beider Geräte deutlich unterschiedlich. Der RGB-Farbraum ist deutlich größer als der CMYK-Farbraum. Vor allem gesättigte Blau- und Rottöne lassen sich nur im RGB-Farbraum, zum Beispiel auf einem Monitor, darstellen. Im 3D-Modell liegen die gesättigten Farben ganz außen. Zur L^* -Achse (Grauachse) hin wird die Farbsättigung immer geringer. Der CMYK-Farbraum kann allerdings im Bereich seiner Primärfarben Cyan und Yellow größer als der Monitor-Farbraum (RGB) sein.

Aus dem 3D-Modell wird deutlich, dass sich viele Farben des Monitor-Farbraums im Druck nicht exakt reproduzieren lassen. Wird ein Farbton des Monitors im Druck wiedergegeben, der außerhalb des Gerätefarbraums des Druckers liegt, so muss ein möglichst ähnlicher Farbton innerhalb des Druckerfarbraums gewählt werden. Dieser hat jedoch eine geringere Farbsättigung.

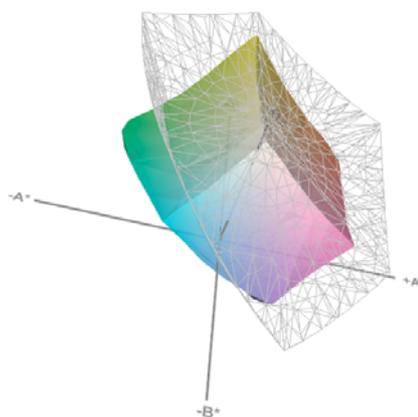


Abb. 244 3D-Modell RGB-Farbraum / CMYK-Farbraum

Der Monitor ist ein Gerät, das im additiven RGB-Farbsystem arbeitet. Die Farben werden durch additive Farbmischung der drei eng beieinander liegenden Leuchtpunkte in rot, grün und blau erzeugt. Weisen alle drei Leuchtpunkte die maximale Helligkeit auf, so erscheint dieser Punkt weiß. Strahlen nur rote und grüne Leuchtpunkte, so entsteht ein gelber Farbeindruck.

Im Gegensatz dazu arbeiten alle Drucksysteme, egal ob Farblaser-, Tintenstrahl- oder Offsetdruck, im subtraktiven CMYK-Farbsystem. Auf den Papierträger werden dabei die Farben Cyan (C), Magenta (M), Gelb (Y) und Schwarz (K) aufgebracht. Diese reflektieren das einfallende weiße Licht je nach Farbauftrag und ergeben so den Farbeindruck beim Betrachter.

5.2.2 Tintenstrahldrucker als Proofdrucker für den Offsetdruck

Bevor ein Offsetdruck in großer Auflage begonnen wird, empfiehlt es sich, dass zu erwartende Druckergebnis zu simulieren. Diese Simulation nennt man Proofdruck. Durch den Proofdruck kann das Druckergebnis kontrolliert werden und Änderungen können vor der Herstellung der Druckplatten vorgenommen werden.

Neben einer geeigneten Software muss ein guter Proofdrucker eingesetzt werden. Der Farbraum des Proofdruckers muss dabei den des jeweiligen Offsetdrucks komplett umschließen. Nur so ist gewährleistet, dass alle Farben des Offsetdrucks auch wirklich im Proofdruck simuliert werden können.

Das folgende Beispiel zeigt den Farbraum eines Offsetdrucks nach Euroskala (farbig) auf gestrichenem Papier. Als Proofdrucker soll der Epson Stylus Photo 1290 (Gitternetz) mit Premium Glossy Photo Paper eingesetzt werden .

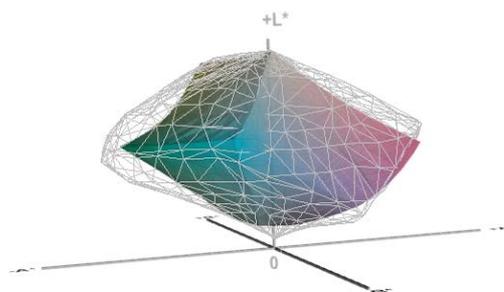


Abb. 25 3D-Modell Proofdruck

Der innere Farbraum des Offsetdrucks wird komplett vom Farbraum des Tintenstrahldruckers umschlossen. Der Drucker Epson Stylus Photo 1290 kann als Proofdrucker für den Offsetdruck Euroskala gestrichen eingesetzt werden.

Als Rendering Intent sollte für Proofzwecke immer "absolut" farbmétrisch gewählt werden, damit die Farben 1:1 ohne Verschiebungen erhalten bleiben. Die Simulation der Papierfarbe im Proof kann nur bei diesem Rendering Intent erfolgen. Bei allen anderen Rendering Intents wird der Weißpunkt des Quellfarbraums auf den Weißpunkt des Zielfarbraums verschoben.

5.2.3 Vergleich der TV-Farbsysteme PAL/Secam und NTSC

In Europa und Japan wird in der Fernsehnorm PAL bzw. Secam gesendet. Die USA verwenden NTSC als Fernsehnorm. Da es sich beim Fernsehen um ein additives Farbsystem handelt, werden die Farbräume durch die verwendeten Bildschirmphosphore bestimmt.

Die Bildschirmphosphore Rot, Grün und Blau sind in den USA 1953 von der FCC genormt worden. Man spricht auch von FCC-Phosphoren. In Europa hat die EBU später eigene Phosphore für PAL/Secam festgelegt. Die EBU-Phosphore haben eine geringere Farbsättigung als die älteren FCC-Phosphore, sie bringen aber höhere Leuchtdichten [25].

Der NTSC-Farbraum (farbig) ist durch die höhere Farbsättigung der Leuchtphosphore größer als der PAL-Farbraum (Gitternetz). Dies ist in dem CIE-xy Diagramm schon erkennbar, wird jedoch im 3D-Modell wesentlich besser ersichtlich.

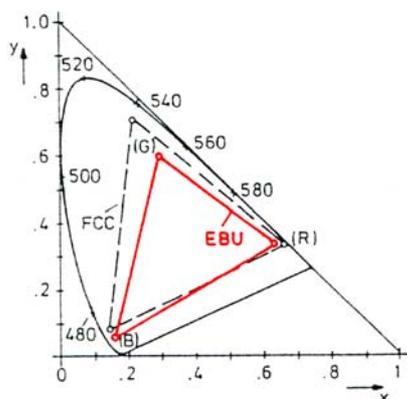


Abb. 26 CIE-xy Diagramm TV-Systeme

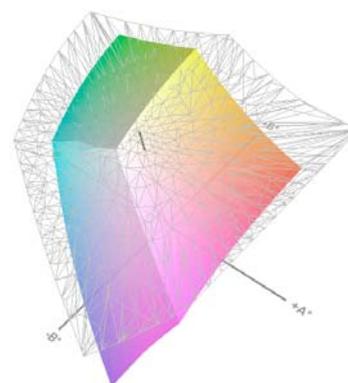


Abb. 27 3D-Modell TV-Farbsysteme

5.2.4 Hersteller ICC-Profile für Tintenstrahldrucker auf dem PC

Moderne Tintenstrahldrucker der führenden Hersteller Epson, HP und Canon beherrschen den Ausdruck in annähernder Fotoqualität, sofern geeignete Papiere eingesetzt werden. In allen Druckertreibern sind diverse Einstellmöglichkeiten zur Steuerung der Farbwiedergabe vorhanden. Eine der Möglichkeiten im Druckertreiber auf einem Windows basierten PC ist ICM-Colormangement mit ICC-Profilen. Mit dem Druckertreiber wurde dazu ein ICC-Profil für den Drucker installiert.

Wird ein Bild auf verschiedenen Papieren gedruckt, ergibt sich ein deutlich sichtbarer Farbunterschied. Um dies per Colormangement auszugleichen, ist für jedes Medium ein eigenes ICC-Farbprofil notwendig.

Obwohl verschiedene Papiersorten im Treiber eingestellt werden können, liefert der Hersteller nur ein ICC-Profil und nicht für jedes Medium ein eigenes ICC-Profil. Es stellt sich die Frage, für welches Papier der Farbraum im ICC-Farbprofil gilt.

Abb. 33 zeigt den Epson Stylus Photo 1290:

EE139__1.icm - mit dem PC-Druckertreiber installiertes Profil (Gitternetz)

SP1290_PP.icm - gemessenes Medienprofil für Epsons PhotoPaper (farbig)

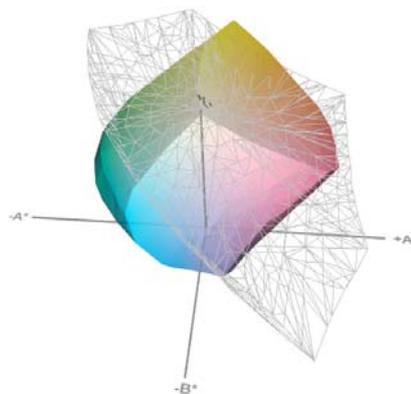


Abb. 28 3D-Modell Epson Drucker

Der Farbraum des Medienprofils ist sehr viel kleiner als das Druckertreiber-Profiles. Beim Druckertreiber-Profil handelt es sich von der Größe und Form her eher um einen Farbraum, der dem sRGB-Farbraum entspricht. Der sRGB-Farbraum ist aber ein gemittelter, durchschnittlicher Monitorfarbraum, der als RGB-Arbeitsfarbraum genutzt werden kann. Große Bereiche im Druckertreiberprofil können vom Drucker gar nicht real auf Papier gedruckt werden. HP installiert mit dem Druckertreiber direkt das sRGB-Farbprofil als Druckertreiber-Profil.

Die im Druckertreiber angebotene Einstellung ICM-Colormangement führt eine Farbanpassung wahrscheinlich im Druckertreiber selbst aus und nicht über das ICM 2.0 auf Betriebssystemebene. Mit den vom Hersteller auf dem PC angebotenen ICC-Profilen kann kein erfolgreicher Einsatz von Colormangement erfolgen. Die Simulation des Druckergebnisses auf dem Monitor (Softproof), wie sie in Photoshop 6 oder DTP-Programmen vorgesehen ist, führt beim Einsatz der Druckertreiberprofile zu keiner realen Vorschau des Druckergebnis auf dem Monitor [26].

Auf dem Mac beschreiten die Hersteller einen benutzerfreundlicheren Weg. Hier werden mit dem Druckertreiber Medienprofile für die herstellereigenen Papiersorten mitgeliefert. Mit diesen lassen sich dann ordentliche Farbergebnisse erzielen. Die in den Beispielen verwendeten Medienprofile sind den Mac Druckertreibern entnommen.

Werden Papiersorten anderer Hersteller verwendet und vom Hersteller keine ICC-Profile angeboten, kommt man nicht umhin, selbst Profile zu erstellen oder dies von einem Dienstleister erledigen zu lassen. Die gemessenen Profile führen in der Regel zu noch besseren Farbergebnissen.

Abb. 34 zeigt den Hewlett-Packard DeskJet 1220:

HP1220PM.icm - reales Medienprofil für HP Premium Plus Photo Paper (farbig)

sRGB.icm - mit dem PC-Druckertreiber installiertes Profil (Gitternetz)

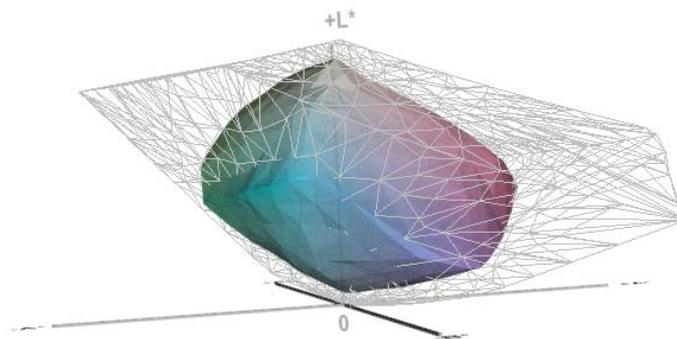


Abb. 29 3D-Modell HP-Drucker

5.2.5 RGB-Arbeitsfarbräume im Vergleich

Bei RGB-Bildern werden die Farben durch RGB-Werte jeweils zwischen 0 und 255 angegeben. Leider ist der RGB-Farbraum nicht standardisiert. Ein Farbton mit R=230 G=34 B=98 wird je nach Hardware (Mac/PC) und Anwendungssoftware (z.B. Photoshop, Freehand, QuarkXPress, usw.) unterschiedlich dargestellt.

Der RGB-Farbraum wird trotz der fehlenden Standardisierung sehr häufig als Arbeits- und Archivfarbraum eingesetzt. Vor allem in der Bildbearbeitung hat RGB Vorteile gegenüber CMYK. Zum Beispiel lässt sich die Mehrzahl der Photoshop-Filter nur auf RGB-Bilder anwenden.

Mit Hilfe von ICC-Profilen lassen sich genormte RGB-Farbräume beschreiben, die unterschiedlichen Farbdarstellungen von RGB-Farben können bei Benutzung dieser ICC-Farbraumprofile beseitigt werden.

Die verfügbaren ICC-Profile für RGB-Farbräume lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Farbräume für Bildschirmnutzung und Consumer-Druck (sRGB, ColorMatch, AppleRGB, Kodak sRGB, SMTPE-C)
- Farbräume für die Druckvorstufe (ECI-RGB, AdobeRGB1998, BruceRGB)
- sehr große Farbräume mit maximalem Farbbereichen (CIE-RGB, WideGamut, Kodak ProPhoto)

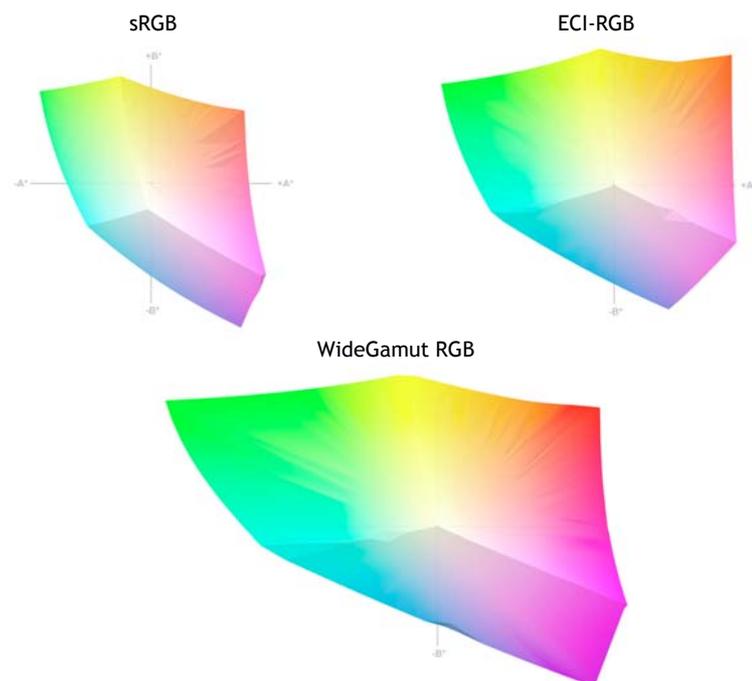


Abb. 30 RGB-Arbeitsfarbräume

5.2.5.1 RGB-Farbräume für Bildschirmanwendungen

Für Anwender, die in erster Linie für eine Bildschirmdarstellung produzieren, ist zum Beispiel der sRGB-Standard eine gute Wahl. Auch auf Computern ohne Colormanagement ergibt sich so eine akzeptable Bildschirmdarstellung. Beim Druck zeigen diese Farbräume Schwächen.

Die gesättigten Cyan- und Yellowtöne, die viele Drucker erreichen können, liegen außerhalb dieser RGB-Farbräume. Der Farbraum der Drucker kann somit nicht optimal ausgenutzt werden.

Liegt ein Bild mit einem Motiv vor, in dem Rot oder ungesättigte Farben dominieren, führen diese Farbräume auch zu guten Ergebnissen im Druck.

5.2.5.2 RGB-Farbräume mit maximalen Farbbereichen

Das Gegenstück bilden die sehr großen Farbräume mit dem riesigen Kodak ProPhoto an der Spitze. Sie enthalten viele Farben, die in der Natur nur sehr selten vorkommen. Bei 8 Bit = 256 Abstufungen pro Farbkanal werden die einzelnen Stufen in einem so großen Farbraum natürlich auch größer. Beim Scan und Ausdruck einer Vorlage mit durchschnittlichem Farbumfang stehen für das Bild dadurch nur noch effektiv ca. 7 Bit = 128 Abstufungen zur Verfügung. Das macht sich besonders bei Farbverläufen negativ bemerkbar. Im Druck kann es zu Farbabrissen kommen, also zur Bildung von sichtbaren Stufen innerhalb eines Farbverlaufs [27].

5.2.5.3 RGB-Farbräume für die Druckvorstufe

Für die Druckvorstufe wäre ein RGB-Arbeitsfarbraum ideal, der alle Farbbereiche des Druckers abdeckt und möglichst wenige Farben außerhalb des Druckerfarbraums „verschenkt“, um die 8 Bit Farbtiefe je Kanal bestmöglich auszunutzen.

Diese Farbräume stellen einen Kompromiss zwischen den beiden oben genannten dar. Sie müssen im Cyan und Yellow größer als die Bildschirmfarbräume sein, dürfen aber insgesamt nicht zu stark vergrößert werden.

7 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: CIE-xy Diagramm / 3D-Modell
- Abb. 2: Vielfalt der Farbräume - Brues, Stefan; May, Liane; Fuchs, Dietmar; Postscriptum Color Management; Regensburg: Gretag MacBeth, 2000; S. 11
- Abb. 3: CIELab-Farbraum von 1976 - Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley, 1994; S. 6
- Abb. 4: Umrechnung von RGB über CIE-XYZ nach CMYK - Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley, 1994; S. 177
- Abb. 5: Struktur eines Colormanagement-Systems - Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley, 1994; S. 178
- Abb. 6: Colormanagement-Ablauf nach ICC-Standard
- Abb. 7: Rendering Intent Colorimetric - Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley, 1994; S. 193
- Abb. 8: Rendering Intent Perceptual - Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley, 1994; S. 194
- Abb. 9: Proofdruck mit zwei ICC-Profilen
- Abb. 10: Proofdruck mit Device-Link Profil
- Abb. 11: Aufbau eines ICC-Profiles - ICC-Specification ICC.1:2001-12, International Color Consortium, 2001; S. 12
- Abb. 12: Tone Reproduction Curve (TRC) mit 5 und 256 Stützstellen - erstellt mit ICC Profile Inspector; <http://www.color.org>; Mai 2002
- Abb. 13: Tone Reproduction Curve (TRC) mit Gammawert - erstellt mit ICC Profile Inspector; <http://www.color.org>; Mai 2002
- Abb. 14: Leuchtdichteverlauf bei unterschiedlichen Gamma-Kurven - Koren, Norman; Monitor printer calibration and gamma; <http://www.normankoren.com>; Mai 2002
- Abb. 15: Grauverlauf mit und ohne Gammakorrektur auf Mac und Windows-PC - CGSD Corp.; Gamma Correction explained by GCSD; <http://www.cgsd.com>; Mai 2002
- Abb. 16: Größe der Helligkeitsstufen ΔL über der Leuchtdichte L_v - Koren, Norman; Monitor printer calibration and gamma; <http://www.normankoren.com>; Mai 2002
- Abb. 17: Farbtransformation über LUT (Lab_{PCS} nach $CMYK_{Device}$)
- Abb. 18: Farbtransformation über LUT (RGB_{Device} nach Lab_{PCS})

- Abb. 19: Beispiel einer LUT-Struktur - erstellt mit ICC Profile Inspector;
<http://www.color.org>; Mai 2002
- Abb. 20: InputChannels mit 256 Punkten / OutputChannels mit 2 Punkten - erstellt mit ICC
Profile Inspector; <http://www.color.org>; Mai 2002
- Abb. 21: ICC Colormanagement Architektur - Kollhoff, Dietmar; Franke, Karl-Heinz;
Standardisierte farbtreue Wiedergabe von Bildern auf Monitoren und Druckern;
<http://www.zbs-ilmeneau.de>; Mai 2002
- Abb. 22: ColorSync-Kontrollfeld und ColorSync Export Module
- Abb. 23: Microsoft ICM 2.0-Interface
- Abb. 24: 3D-Modell RGB-Farbraum / CMYK-Farbraum
- Abb. 25: 3D-Modell Proofdruck
- Abb. 26: CIE-xy Diagramm TV-Systeme - Hell, Hauke; Rubbert, Jens; Einhaus, Roland;
Grundlagen der Film- und Fernsehtechnik Teil 1; FH-Köln, Fachbereich
Photoingenieurwesen, 1996; S. 35
- Abb. 27: 3D-Modell TV-Farbsysteme
- Abb. 28: 3D-Modell Epson Drucker
- Abb. 29: 3D-Modell HP-Drucker
- Abb. 30: RGB-Arbeitsfarbräume

Abbildungen ohne Quellenangaben sind vom Autor selbst erstellt.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Homann, Jan-Peter; Digitales Colormangement, Farbe in der Publishing Praxis; Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona: Springer (X.media.press); 2Aufl. 2000; S. 118
- [2] Billmeyer, Fred W.; Satzman, Max; Grundlagen der Farbtechnologie; Göttingen; Zürich: Muster Schmidt; 2. Aufl. 1993; S. 47-51, 56-66
- [3] Störch, Bertram; Drucken in Farbe; Bonn, Paris, Reading: Addison Wesley; 1. Aufl. 1994; S. 176-177
- [4] Homann, Jan-Peter; Digitales Colormangement, Farbe in der Publishing Praxis; Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona: Springer (X.media.press); 2. Aufl. 2000; S. 137
- [5] Brues, Stefan; May, Liane; Fuchs, Dietmar; Postscriptum Color Management; Regensdorf: Gretag MacBeth; 2. Aufl. 2000; S. 46
- [6] International Color Consortium; <http://www.color.org>; Mai 2002
- [7] Brues, Stefan; May, Liane; Fuchs, Dietmar; Postscriptum Color Management; Regensdorf: Gretag MacBeth; 2. Aufl. 2000; S. 37
- [8] Brues, Stefan; May, Liane; Fuchs, Dietmar; Postscriptum Color Management; Regensdorf: Gretag MacBeth; 2. Aufl. 2000; S. 45
- [9] Cattarozzi, Marco; Color Management mit ICC-Profilen in der Praxis; CH-Kilchberg: Smart Books Publishing; 1. Aufl. 2001; S. 68
- [10] International Color Consortium; ICC-Specification ICC.1: 2002; <http://www.color.org>; S. 15
- [11] Cattarozzi, Marco; Color Management mit ICC-Profilen in der Praxis; CH-Kilchberg: Smart Books Publishing; 1. Aufl. 2001; S. 71
- [12] International Color Consortium; ICC-Specification ICC.1: 2002; <http://www.color.org>; S. 31-32
- [13] Boscarol, Mauro; An Introduction to Digital Color Management; <http://www.boscarol.com>; Mai 2002; S. 2
- [14] Kollhoff, Dietmar; Franke, Karl-Heinz; Standardisierte farbtreue Wiedergabe von Bildern auf Monitoren und Druckern; <http://www.zbs-ilmenau.de>; Mai 2002
- [15] Koren, Norman; Monitor printer calibration and gamma; <http://www.normankoren.com>; Mai 2002
- [16] CGSD Corp.; Gamma Correction explained by CGSD; <http://www.cgsd.com>; Mai 2002
- [17] Koren, Norman; Monitor printer calibration and gamma; <http://www.normankoren.com>; Mai 2002

- [18] Poynton, Charles; Gamma FAQ; <http://www.inforamp.net/~poynton/>; Mai 2002
- [19] Boscarol, Mauro; An Introduction to Digital Color Management;
<http://www.boscarol.com>; Mai 2002; S. 4
- [20] International Color Consortium; ICC-Specification ICC.1: 2002; <http://www.color.org>;
S. 51-63
- [21] Apple Computer, Inc.; ColorSync; <http://www.apple.com/colorysync>; Mai 2002
- [22] Brues, Stefan; May, Liane; Fuchs, Dietmar; Postscriptum Color Management;
Regensdorf: Gretag MacBeth; 2. Aufl. 2000; S. 46
- [23] Microsoft Corp.; Color Management and Windows;
<http://www.microsoft.com/hwdev/tech/color>; Mai 2002
- [24] Boscarol, Mauro; An Introduction to Digital Color Management;
<http://www.boscarol.com>; Mai 2002; S. 5
- [25] Hell, Hauke; Rubbert, Jens; Einhaus, Roland; Grundlagen der Film- und
Fernsehtechnik Teil 1; Skript zur Vorlesung, FH-Köln Fachbereich
Photoingenieurwesen, 1994; S. 35-36
- [26] Lyons, Ian; Basic Inkjet Printing on a PC; <http://www.computer-darkroom.de>; Mai
2002
- [27] Homann, Jan-Peter; Digitales Colormanagement, Farbe in der Publishing Praxis;
Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona: Springer (X.media.press); 2Aufl. 2000; S.
182
- [28] Richter, Manfred; Einführung in die Farbmatrik; Berlin, New York: de Gruyter; 2. Aufl.
1980; S. 138-177
- [29] Lang, Heinwig; Farbwiedergabe in den Medien: Fernsehen, Film und Druck; Göttingen:
Muster-Schmidt; 1995; S. 107-111, 331-355