Farbmanagement verstehen

Ernst Pisch

19. Juli 2023

Das Problem – Rot ist nicht gleich Rot

Am Weg von der Aufnahme eines Fotos bis zum gedruckten oder projizierten Bild sind mehrere Geräte beteiligt. Keines dieser Geräte kann alle in der Natur vorkommenden bzw. alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben verarbeiten. Digitalkameras stellen Farben als Zahlenwerte dar. Und zwar je eine Zahl für die Farben Rot, Grün und Blau. Bei Bildern im JPEG-Format stehen je Farbkanal 8 Bits, also 256 Zahlen, zur Verfügung (in RAW-Dateien stehen je Farbkanal 12 oder gar mehr Bits zur Verfügung). Durch die Kombination der 3 Zahlenwerte ergeben sich 256*256*256=16.777.216 Farbtöne, welche auf diese Weise digital dargestellt werden können. Sind die Zahlenwerte aller drei Farbkanäle (rot, grün und blau) Null, so handelt es sich um die Farbe *Schwarz*. Tragen alle 3 Kanäle den Wert 255, entspricht dies der Farbe *Weiß*. Ein Wert von 255 entspricht dem Maximalwert des jeweiligen Farbkanals. Jedoch - was ist ein *maximales Rot, Grün* oder *Blau*? Für jedes Gerät gelten unterschiedliche Maximalwerte. Selbst *Weiß* ist nicht klar definiert - ist es das Weiß eines Blattes Papier in der Morgensonne, bei bewölktem Himmel oder gar im Kerzenlicht?

Um die Möglichkeiten der Geräte möglichst auszunützen, sind die Hersteller bestrebt, den maximalen Zahlenwert auf Basis der Leistungsgrenzen des jeweiligen Gerätes festzulegen. Die Zahlenkombination Rot=110, Grün=25 und Blau=220 entspricht deshalb bei einer Druckerausgabe einer gänzlich anderen Farbe als beim Scannen eines Dias mit einem Diascanner. Der Bildschirm, welcher bei der Bearbeitung des Fotos verwendet wird, stellt die Farbe nochmals anders dar. Anhand der bloßen Zahlenwerte der einzelnen Farbkanäle ist somit nicht vorhersehbar, welche Farbe das entwickelte Foto aus dem Fotolabor haben wird.

Die Lösung – Farbräume

Damit ein vorhersehbares Ergebnis erzielt werden kann, muss für alle Geräte, welche von der Aufnahme des Bildes bis hin zur Präsentation beteiligt sind, eine einheitliche

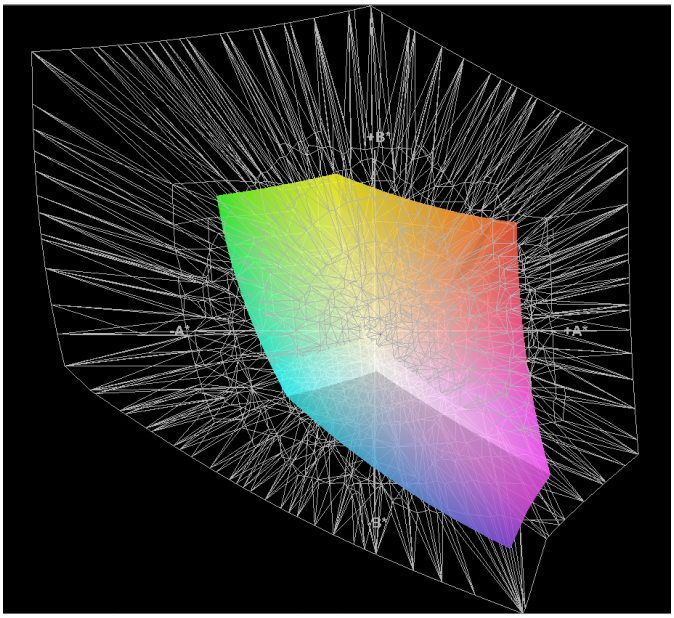
Farbbeschreibung existieren. Eine klar definierte Menge an Farben wird *Farbraum* genannt. Ein Farbraum ist jeweils nur ein Teilausschnitt aller existierenden Farben. Aber jede Farbe innerhalb dieses Farbraumes ist exakt anhand ihres Zahlenwertes beschrieben. Die für ein bestimmtes Gerät individuellen Farbwerte können nun anhand einer Tabelle (*Farbprofil*) in die Farben des gewählten *Arbeitsfarbraumes* umgerechnet werden. Damit hat man eine verlässliche Basis für die weitere Bearbeitung eines Farbbildes geschaffen. Solange alle Beteiligten sich auf denselben Arbeitsfarbraum beziehen, "sprechen sie dieselbe Sprache" und die Zahlenwerte beschreiben immer exakt dieselbe Helligkeit, denselben Farbton und dieselbe Sättigung.

Wie man schon ahnen kann, gibt es nicht nur einen einzigen standardisierten Farbraum, worauf sich alle beziehen können. Je nach Verwendungszweck eignen sich nämlich unterschiedliche Farbräume. Der von den meisten Fotolabors verwendete Farbraum ist *sRGB*. Dies ist auch der Standard-Farbraum, welcher von handelsüblichen Farbdruckern, Bildschirmen und von vielen Programmen verwendet bzw. vorausgesetzt wird. Man hat mit sRGB bewusst einen etwas kleineren Farbraum gewählt, damit alle darin umfassten Farben von möglichst allen Geräten am Markt verarbeitet werden können.

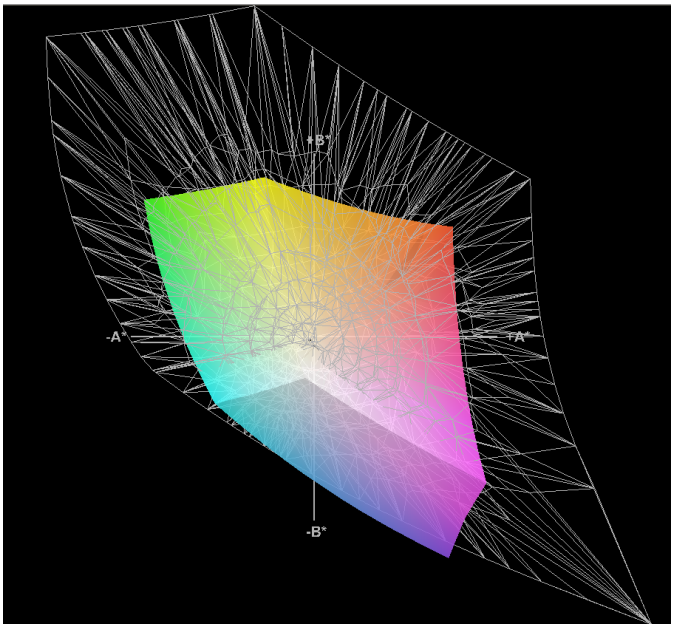
Einer der größten Farbräume ist *ProPhoto*. Zwischen sRGB und ProPhoto befindet sich neben vielen anderen Farbräumen, der *AdobeRGB*-Farbraum. *AdobeRGB* findet vorwiegend in der Druckbranche Anwendung.[1]

Im Anschluss sind einige Farbräume zum Vergleich abgebildet.

[1] Neben den hier angesprochenen RGB-Farbräumen exisitieren noch weitere Farbräume. *LAB* beschreibt jeden Farbpunkt ebenfalls durch drei Zahlen. Jedoch nur zwei davon beziehen sich auf die Farbe. Der dritte Wert beschreibt die Helligkeit. Eine andere Methode der Farbbeschreibung ist *CMYK*. CMYK benötigt 4 Zahlenwerte je Farbpunkt und ist besonders für professionelle Druckmaschinen geeignet. Die Buchstaben CMYK stehen für die Farbe der Tinten Cyan, Magenta, Yellow(gelb) und Black (schwarz). Für CMYK existieren wiederum andere Farbräume wie z.B. FOGRA39.

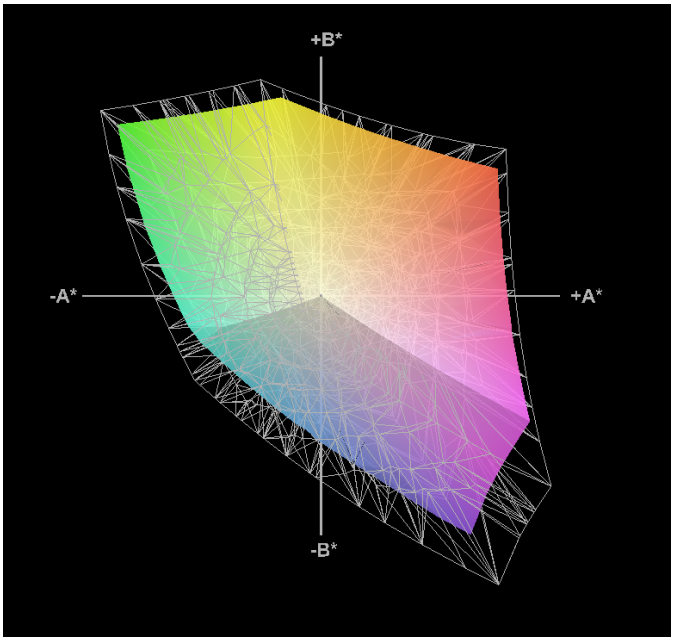


Die erste Abbildung zeigt sRGB (innerer “Farbklotz”) im Vergleich zum wesentlich größeren ProPhotoRGB (äußeres Gitternetz). Der extrem große Farbraum von ProPhotoRGB wird praktisch von keinem Gerät zur Gänze abgedeckt.



Im Inneren dieser Abbildung ist der von sRGB beschriebene Farbraum zu sehen. Das Gitternetz zeigt den Farbraum eines Diascanners (Reflecta DigitDia 4000). Es ist zu erkennen, dass der Farbraum des Scanners zwar in fast allen Farbtönen weit über den

Rand von sRGB hinausreicht. Gewisse Farben des sRGB-Farbraumes ist der Scanner jedoch nicht in der Lage zu verarbeiten. Das sind jene Farben von sRGB, welche aus dem Gitternetz des Scanner-Farbraumes herausragen.



In dieser Abbildung ist sRGB als Gitternetz abgebildet. Im Inneren ist der Farbraum eines (mittlerweile antiken) Tintendruckers (HP DeskJet 970Cxi auf Photopapier) zu sehen. Es ist erkennbar, dass zwar nicht der gesamte sRGB-Farbraum dargestellt werden kann, der Unterschied aber nicht eklatant ist.

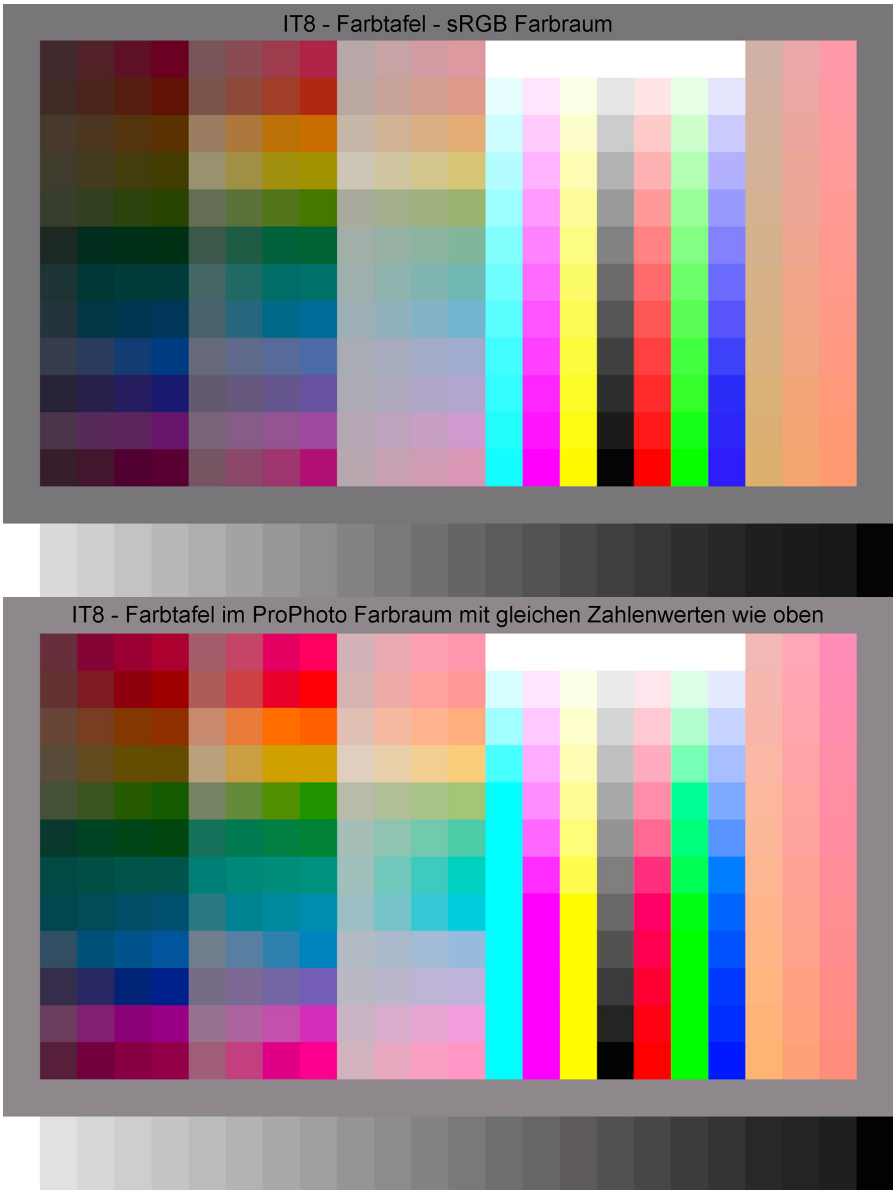
Viele digitale Spiegelreflexkameras bieten die Möglichkeit, den Farbraum der JPEG- oder TIFF-Bilddateien zu wählen. Falls keine Wahl zur Verfügung steht, kann man davon ausgehen, dass es sich um den sRGB-Farbraum handelt. Bei höherwertigen Kameras ist oft auch die Wahl von AdobeRGB möglich. Werden die Bilder von der Kamera als RAW-Datei gespeichert, dann wird der Farbraum erst im Zuge der Bildbearbeitung mittels Raw-Konverter (z.B. Lightroom, Adobe Camera Raw, Capture One etc.) beim Export festgelegt.

Ein kleines Experiment, welches hoffentlich ein wenig zum Verständnis über Farbräume beiträgt, ist folgendes:
Wir erstellen in Photoshop (oder dem sonst bevorzugten Bildbearbeitungsprogramm) eine leere Bilddatei und füllen diese mit irgendeiner Farbe, deren Zahlenwerte für Rot, Grün und Blau wir selbst definieren. Ich nehme die Werte R - 255, G - 100, B - 50. Im Info-Feld von Photoshop können wir die Werte der Kanäle nochmals überprüfen. Nun wandeln wir diese Bilddatei in einen anderen Farbraum um - z.B. AdobeRGB. Scheinbar passiert nichts, denn die Bilddatei sieht gleich aus wie zuvor. Wenn wir jetzt allerdings erneut die Zahlenwerte im Info-Feld prüfen, so stellen wir fest, dass sich die

Zahlen für Rot, Grün und Blau geändert haben. Diese tragen jetzt die Werte R- 224, G - 100 und B - 56. Wir sehen also - gleiche Farbe in unterschiedlichen Farbräumen tragen unterschiedliche Zahlenwerte.

Wir können dieses Experiment nun auch umdrehen. Wir erstellen eine Bilddatei im Farbraum sRGB und füllen diese z.B. mit der Farbe R - 150, G - 190, B - 190. Jetzt wählen wir anstatt *Bearbeiten -> In Profil umwandeln* die Auswahl *Profil zuweisen*. Wir weisen einmal den Farbraum AdobeRGB und danach den Farbraum ProPhoto zu. Wir stellen nun fest, dass sich diesmal nicht die Zahlenwerte, wohl aber die Farbe am Bildschirm verändert hat. Folgende Abbildung zeigt das.

RGB-Werte alleine sagen also noch nicht sehr viel über eine Farbe aus. Erst die Angabe von RGB-Zahlenwerten **und** dem verwendeten Farbraum führt zu einer exakten Beschreibung einer Farbe. Dies illustriert auch folgende Abbildung.



In beiden Farbtafeln tragen die Farbflächen dieselben Zahlenwerte für Rot-, Grün- und Blau-Kanal. Oben jedoch sind dies die Farben laut sRGB-Farbraum und unten laut ProPhoto-Farbraum. Man kann den Unterschied recht deutlich erkennen. Dasselbe Farbfeld, welches im sRGB-Farbraum mäßig gesättigt aussieht, erscheint im ProPhoto-Farbraum heller und stärker gesättigt - obwohl die Zahlenwerte identisch sind.

Die Wahl des “richtigen” Farbraumes

Nun, da anhand einiger Beispiele gezeigt wurde, wie deutlich sich Farbräume voneinander unterscheiden, scheint die Wahl des richtigen Farbraumes ziemlich eindeutig zu sein: ProPhotoRGB deckt alle Geräte und ziemlich alle in der Natur vorkommenden Farben ab. Also ist man bei der Verwendung von ProPhotoRGB wohl auf der “sicheren Seite”!?

Speichert man alle seine Fotos im TIFF-Format mit 16 Bit je Farbkanal ab, so würde ich dem zustimmen. Allerdings benötigt eine solche Bilddatei ein Vielfaches an Festplattenspeicher einer JPEG-Bilddatei, welche je Farbkanal nur 8Bit unterstützt und zudem noch den Bildinhalt komprimiert.

8 Bit je Kanal bedeuten 256 Abstufungen - das ist nicht aufregend viel. Es ist aber erfahrungsgemäß ausreichend, um ein Foto in sehr guter Qualität speichern zu können. Bedenken wir jedoch, dass der enorm große ProPhoto-Farbraum auch eine Vielzahl an Farben beschreibt, welche praktisch kein Gerät verarbeiten kann! Eine große Menge an Zahlenwerten des ProPhoto-Farbraumes wird also nie benötigt! Somit verbleiben aber für die tatsächlich benötigten Farben eines Fotos nur mehr viel weniger Abstufungen übrig.

Man kann sich das in etwa wie eine Treppe mit 256 einzelnen Stufen vorstellen. Ich kann mit 256 Stufen eine Höhe von 50 Metern erklimmen, oder ich mache jede Stufe doppelt so hoch und komme damit auf 100 Meter Höhenunterschied. Umgesetzt auf unsere Farben bedeutet dies aber, dass ich bei der Wahl von ProPhoto als Farbraum auch dann große Stufen verwenden muss, wenn das Bild nur geringe Farbunterschiede enthält. Bei sehr sanften Helligkeits bzw. Farbübergängen könnte sich das dann in Form von unschönen Bändern bemerkbar machen.[2]

Es ist also nicht so, dass der größte Farbraum automatisch auch der Beste ist! Erinnern wir uns daran, dass sowohl Computer-Bildschirme als auch Fotoprinter kaum mehr als den Farbraum von sRGB abdecken. Es hat deshalb nur in seltenen Fällen Sinn, einen besonders großen Farbraum zu wählen. Wenn schon mit extragroßen Farbräumen gearbeitet werden muss, sollte man aber zum Zwischenspeichern immer ein Dateiformat wählen, welches mehr als nur 8 Bit je Farbkanal zulässt - zum Beispiel TIFF.

So mancher wird sich nun die Frage stellen: “Und woher weiß ich, welcher Farbraum für ein Farbbild gewählt wurde, wenn ich’s zugeschickt bekomme?” Eine korrekte Farbdarstellung ist ja nur möglich, wenn ich das Bild im selben Farbraum betrachte, wie es zuvor bearbeitet wurde.

[2] Der Vollständigkeit halber muss hier noch folgendes erwähnt werden: Nicht jeder veränderte Wert in einem RGB-Farbraum entspricht einer wahrnehmbaren Farbänderung. Es existieren zum Beispiel auch im sRGB-Farbraum verschiedene Farbwerte, welche das menschliche Auge nicht voneinander unterscheiden kann. Beim LAB-Farbraum hat man das menschliche Wahrnehmungsvermögen als Basis für die Farbwerte genommen. In diesem Farbraum entsprechen unterschiedliche Werte tatsächlich einer wahrnehmbaren Farbänderung.

Die in der Bildverarbeitung üblichen Dateiformate (JPEG, TIFF, PSD, ..?) ermöglichen das Einbinden der Farbraumbeschreibung direkt in die Bilddatei. Sowohl JPEG, als auch TIFF enthalten üblicherweise Farbraumdaten. Professionelle Bearbeitungsprogramme inkludieren diese Farbraumprofile beim Speichern der Bilddatei automatisch. Enthält eine Bilddatei kein Farbraumprofil, so erwarten die meisten Programme, dass es sich um ein Bild im sRGB-Farbraum handelt. Bildbearbeitungsprogramme wie Photoshop kann man so konfigurieren, dass beim Öffnen einer Bilddatei ohne Farbprofil automatisch ein Farbraum zugewiesen wird oder vorher noch gefragt wird, was geschehen soll.

Wer seine Bilder vorwiegend im Internet präsentieren will oder bei einem der vielen Fotolabors Papierbilder drucken lassen will, sollte als Arbeitsfarbraum sRGB wählen. Damit gibt es die geringsten Probleme - quasi ein “Sorglospaket”. Wie schon erwähnt, setzen die meisten Fotolabors voraus, dass die Bilder im sRGB-Farbraum geliefert werden. Zudem existieren viele Programme, darunter auch Internet-Browser, welche gar kein Farbmanagement unterstützen und ebenfalls sRGB voraussetzen. Bei solchen Programmen werden Fotos in AdobeRGB oder gar ProPhoto in flauen Farben dargestellt anstatt mit mehr Sättigung, wie erhofft.

Wann ist die Verwendung von AdobeRGB oder ProPhoto also sinnvoll?

Eigentlich nur dann, wenn Fotos tatsächlich Farben beinhalten, welche im sRGB-Farbraum nicht mehr dargestellt werden können. Und auch nur dann, wenn das Endgerät (Monitor, Tintendrucker, Fotolabor) den größeren Farbraum nützen kann. Bei Bildschirmen sind das nur sogenannte Wide-Gamut Monitore. Diese sind in der Lage z.B. den AdobeRGB-Farbraum ungefähr abzudecken. Moderne Tintendrucker sind in der Lage, gewisse Farbtöne zu drucken, welche im sRGB-Farbraum nicht mehr darstellbar sind. Man muss immer sehr darauf achten, dass im Zuge der Bildbearbeitung nicht auch Farbintensitäten entstehen, welche vom Ausgabegerät nicht mehr dargestellt werden können. Überprüft werden kann dies mittels Proof-Ansicht und Einschalten der Farbraumüberschreitung. Wie man das prüft, wird im Detail weiter unten beschrieben.

Zusammenfassend: sRGB ist für die allermeisten Fälle eine gute Wahl. Wer sich für AdobeRGB oder gar ProPhoto entscheidet, sollte genau wissen, warum er das tut!

Wählt man ein Programm wie z.B. IrfanView ohne Farbmanagement-Plugin und entsprechender Konfiguration für die Anzeige des Fotos, würde man obenstehende Ergebnisse am Bildschirm erhalten. Nur das “sRGB-Bild” ganz links würde den wahren Farben am ehesten entsprechen, weil Programme ohne Farbmanagement immer davon ausgehen, dass sRGB als Farbraum gewählt wurde. Die beiden anderen Farbräume werden von solchen Programmen in falschen Farben bzw. in falscher Helligkeit dargestellt. Je größer der Farbraumunterschied zu sRGB, desto größer die sichtbaren Abweichungen.

Die Wahl des Arbeitsfarbraumes hat auch Einfluss auf die Bildbearbeitung. Zum Beispiel bewirkt ein und dieselbe Gradationskurve bei einem Bild im sRGB-Farbraum einen ganz anderen Helligkeitsverlauf als bei einem Bild im ProPhoto-Farbraum. Die Mathematik ist dieselbe, aber die Farben, welche hinter den Zahlenwerten stecken, sind andere. Abgespeicherte Photoshop-Aktionen können deshalb je nach verwendetem Farbraum unterschiedliche Ergebnisse liefern!

Farbprofile

Damit Farbtreue von der Aufnahme über die Bearbeitung bis zur Ausgabe eines Fotos gewährleistet ist, müssen alle am Prozess beteiligten Geräte kalibriert und profiliert werden. Erst bei vorhandenem Farbprofil erfolgt eine korrekte Umrechnung vom gerätespezifischen Farbraum in den Arbeitsfarbraum.

Als Fotograf kommt man im Wesentlichen mit folgenden Farbprofilen in Berührung:

- Eingabeprofile dienen der Farbumrechnung von einem spezifischen Gerätefarbraum (Scanner oder Kamera) in einen geräteunabhängigen Farbraum
- Ausgabeprofile - dabei unterscheidet man zwischen Monitorprofilen und Profilen, welche für Drucker oder Belichter benötigt werden. Diese Profile werden benötigt, um Farbwerte vom geräteunabhängigen Farbraum in den jeweiligen Gerätefarbraum umzuwandeln.
- Farbprofile, welche einen Arbeitsfarbraum beschreiben (darüber wurde im vorherigen Kapitel bereits gesprochen) - die populärsten dieser Profile sind sRGB, AdobeRGB und ProPhoto. Für Druckereien sind vor allem CMYK-Farbräume von Bedeutung, da deren Geräte nicht mit nur 3 Farbkanälen (rot, grün und blau) arbeiten, sondern mit Tinten der Farben **C**yan, **M**agenta, Gelb (**Y**ellow) und Schwarz (Blac**k**). Diese Profile werden in die Bilddateien eingebunden, damit der Empfänger (bzw. dessen Bearbeitungsprogramm) weiß, für welchen Farbraum die enthaltenen Farbwerte gültig sind.

Die Farbprofile befinden sich bei Windows-Systemen im Verzeichnis *%WINDIR%\system32\spool\drivers\color*. Unter Mac OS befinden sich diese Dateien in den Ordnern */Library/ColorSync/Profiles* oder in */Benutzer/* ***Benutzername****/Library/ColorSync/Profiles.*

Digitalkameras haben ihre Farbprofildaten bereits in ihrer Firmware integriert. Ein Großteil der Anwender lässt die Kamera bei der Aufnahme ja schon direkt JPEG-Dateien erzeugen. Deshalb ist es die Aufgabe der Kamera selbst, die vom Bildsensor gelieferten Daten in den jeweiligen Farbraum (meist sRGB) umzurechnen. Bei Speicherung der Fotos als RAW-Datei erfolgt die Umrechnung erst später im Raw-Konverterprogramm am Computer. In diesem Fall kümmert sich der Softwarehersteller darum, dass ein für den jeweiligen Kameratyp passendes Farbprofil verwendet wird. Manche RAW-Konverter lassen es zu, selbst erstellte Kameraprofile zu verwenden. Ob sich die Mühe, ein individuelles Kameraprofil zu erstellen lohnt, muss jeder für sich selbst entscheiden. Ich werde weiter unten noch ein wenig näher darauf eingehen. Unerlässlich ist es, wenn Farbtreue höchste Priorität hat, wie das z.B. bei der Repro-Fotografie gefordert wird.

Das Kalibrieren von Scannern erspart langwierige Farbkorrekturen nach dem Scan. Zum Erstellen eines Farbprofiles für Scanner benötigt man ein sogenanntes *IT8-Target.* Das ist eine Farbtafel auf Karton oder Dia (je nach Scannertype) mit vielen Farbflächen (siehe Abbildung der Farbtafel weiter oben). Zusammen mit der IT8-Farbtafel erhält man üblicherweise auch eine Referenzdatei, welche die exakten Zahlenwerte für alle

Farbfelder auflistet. Gute Scan-Software, wie zum Beispiel Silver-Fast, VueScan etc. bietet die Möglichkeit, mit Hilfe dieser IT8-Farbtafeln ein Farbprofil zu erstellen.

Wer seine Bilder selbst am eigenen Farbdrucker ausdrucken möchte, kann die mit den Druckertreibern installierten Farbprofile nützen. Für den Heimgebrauch wird das in den meisten Fällen genügen, wer jedoch großen Wert auf Farbtreue legt, wird individuelle Farbprofile benötigen. Um selbst Druckerprofile erstellen zu können, benötigt man ein Spektrometer mit dazu passender Software. Für das Erstellen eines Druckerprofiles werden eine Reihe von Farbfeldern auf ein Blatt Papier gedruckt, dessen exakte Farbwerte die Software kennt. Anschließend werden die Farbwerte mit Hilfe des Spektrometers gemessen und anhand der Abweichungen vom Sollwert wird ein Druckerprofil erstellt. Dieses Profil passt jedoch immer nur für exakt dieselbe Konstallation, welche beim Druck verwendet wurde. Also gleiche Tinte, gleiches Papier und gleiche Treibereinstellung. Sobald auch nur das Papier gewechselt wird, passt dieses erstellte Profil nicht mehr exakt.
Sowohl beim Erstellen des Farbprofiles als auch beim Druck darf man nie vergessen, die korrekte Papiertype bei den Druckeinstellungen zu wählen. Anderenfalls erhält man mangelhafte Druckqualität.

Bildschirm und Mensch als Fehlerquellen

Eine zentrale Rolle bei der Bildbearbeitung spielt der Bildschirm. Er bildet die Schnittstelle zwischen dem “Workflow” (dem Arbeitsprozess der Fotobearbeitung beginnend beim Import der Fotos von der Kamera auf den PC bis hin zur Bildwiedergabe über Beamer, Fotoprint etc.) und dem Menschen. Grundvoraussetzung für ein vorhersehbares Bildergebnis ist deshalb, dass die vom Bildschirm wiedergegebenen Fotos vom davor sitzenden Bildbearbeiter so empfunden werden, wie sie im jeweiligen Arbeitsfarbraum in digitaler Form abgespeichert sind.

Der Mensch ist hinsichtlich Farbempfindung ein wahres Wunderwerk der Natur. Zum Beispiel ist er in der Lage sowohl bei Tages- als auch bei Kerzenlicht die Farbe eines Blattes Papier zu erkennen. Im Kerzenlicht würde ein technisches Messgerät ein weißes Blatt Papier als orange Fläche interpretieren. Bei bewölktem Himmel würde das Messgerät aber die Farbe Blau anzeigen. Der Mensch sieht hingegen immer ein weißes Blatt. Da die gesamte Umgebung in ein getöntes Licht gehüllt ist, stellt sich das menschliche Auge darauf ein und erkennt die Farbe des Objektes unabhängig von der Art der Beleuchtung. Gerade die Fähigkeit der “Adaption” ist jedoch eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle im gesamten Bearbeitungsprozess eines Fotos.

Glühkörper, wie unsere Sonne, liefern Licht. Ein Körper, welcher gerade heiß genug ist um selbst zu leuchten, erscheint in dunklem Rot. Je heißer der Glühkörper, desto mehr verschiebt sich die Lichtfarbe über Dunkelrot, Hellrot, Orange, Gelb und Weiß bis hin zu Blau. Man spricht demzufolge auch von der *Farbtemperatur* des Lichtes. Niedrige Farbtemperatur entspricht hohem Rotanteil. Hohe Farbtemperatur enthält mehr Blau. Paradoxerweise empfindet der Mensch ein Licht mit viel Rotanteil als warm und Licht

mit hohem Blauanteil als kalt. Das hat jedoch damit zu tun, dass das Licht unter Wolken oder im Schatten (also Orte, an denen es erfahrungsgemäß kühler ist als im direkten Sonnenlicht) einen hohen Blauanteil hat. Das Blau des Himmels rührt ja nicht daher, dass ein Glühkörper ganz besonders heiß strahlt, sondern weil die dicke Erdatmosphäre kurzwelliges blaues Licht stärker streut als langwelliges Rotlicht.

Die Sonne liefert Licht mit einer Farbtemperatur von etwa 5500 Kelvin.[3] Halogenlampen besitzen eine Farbtemperatur von etwa 2800K. Andere Lichtquellen wie zum Beispiel Leuchtstoffröhren, LED-Lampen oder auch Bildschirme strahlen nicht durch ihre große Hitze. Aber man vergleicht ihr Farbspektrum mit jener eines Glühkörpers, welcher ein ähnlich gefärbtes Licht erzeugen würde und erhält auf diese Weise ebenfalls eine Farbtemperatur.

Monitorhersteller lassen ihre Geräte im Allgemeinen mit einer Farbtemperatur von etwa 6500K erstrahlen. Diese Farbtemperatur ist technisch günstig, um ein möglichst helles Bild zu erzeugen. Eine Farbtemperatur von 6500K entspricht ungefähr dem Licht an einem bewölkten Tag. Betrachtet man ein Foto auf Papier im Lichte eines bedeckten Himmels und vergleicht es mit der Anzeige am Bildschirm, sollten keine größeren Abweichungen festzustellen sein. Vorausgesetzt, dass das Foto durchgehend von der Aufnahme bis zum Druck einen Prozess mit korrektem Farbmanagement durchlaufen hat und der Bildschirm ebenfalls korrekt auf 6500K kalibriert wurde! Sitzt man jedoch abends vor demselben perfekt kalibrierten Bildschirm und betrachtet das Papierbild nochmals im Licht der Halogenlampe, so werden die Farben ganz massiv voneinander abweichen. Das Foto, welches am Bildschirm zu sehen ist, wird blaustichig erscheinen. Würde man versuchen, dem Blaustich entgegenzuwirken und schickt dieses “korrigierte” Bild dann ins Fotolabor, wird die Enttäuschung groß sein. Das Papierbild aus dem Labor ist nun extrem rotstichig.

Was ich damit verdeutlichen möchte: Es genügt nicht, den Bildschirm auch noch so exakt zu kalibrieren und profilieren, wenn das Umgebungslicht im Raum stark von der Farbtemperatur des Bildschirmes abweicht! Will man fotografierte Objekte (egal ob Gemälde, eine Blume oder ein Foto aus dem Schuhkarton der Großeltern) mit der Abbildung am Bildschirm direkt vergleichen und die Übereinstimmung der Farben beurteilen, müssen Farbtemperatur des Bildschirms und Farbtemperatur des Umgebungslichtes genau übereinstimmen!

Aber das Umgebungslicht ändert sich ja ständig! Am Morgen scheint das warme Licht der Morgensonne ins Büro, zu Mittag erhellt der blaue Himmel den Raum durchs Dachfenster und abends wird die Tischlampe eingeschaltet. Wie soll man unter solch wechselnden Bedingungen jemals exakte Farben am Bildschirm ermitteln können? Profis, welche davon leben, dass ihre Produkte in den korrekten Farben dargestellt werden, sorgen für das passende Umgebungslicht. Monitore werden häufig auf 5000 Kelvin kalibriert und der Raum wird während der gesamten Arbeitszeit nur durch Lampen erhellt, welche ebenfalls Licht mit einer Farbtemperatur von 5000K erzeugen.

[3] Kelvin oder abgekürzt *K* ist das in der Physik verwendete Temperaturmaß. 0 °C entsprechen 273,15K. 0K ist die absolut tiefste, nur theoretisch mögliche Temperatur.

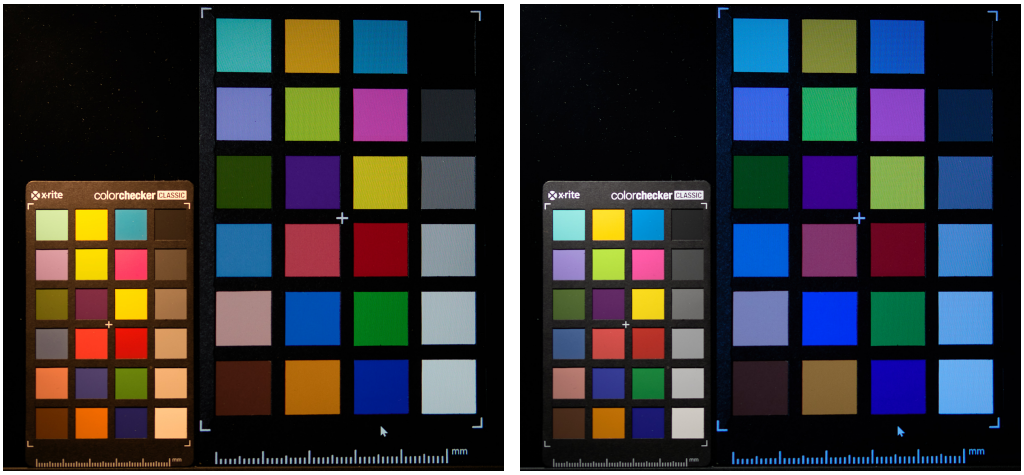
Ein auf 6500K kalibrierter Bildschirm stimmt in einem durchschnittlichen Heimbüro nur dann einigermaßen mit dem Umgebungslicht überein, wenn das Licht eines bedeckten Himmels durchs Fenster scheint. Arbeitet man abends bei Kunstlicht, ist es sehr schwer, die Korrektheit der Farben am Bildschirm zu beurteilen. Besser dunkelt man den Raum so stark ab, dass der Bildschirm selbst die vorherrschende Lichtquelle am Arbeitsplatz ist. Hochwertigere Bildschirme bieten oft auch die Möglichkeit, eine schwarze Blende anzubringen, um zum einen seitlich einfallendes Licht zu verhindern, aber auch, um weniger vom Umgebungslicht beeinflusst zu werden. Dann passt sich das menschliche Auge an die Farbtemperatur des Monitorlichtes an und es fällt leichter, stimmige Farbkorrekturen durchzuführen. Bei zu dunklem Raum läuft man jedoch Gefahr, Helligkeit und Kontrast falsch einzuschätzen. Man muss sich auch immer dessen bewusst sein, dass ein Druck auf Papier niemals die Brillianz eines Bildes am Monitor erreichen kann. Papier leuchtet ja nicht selbst, sondern reflektiert nur einen Teil des einfallenden Lichtes. Schwarz wird nie so schwarz und Weiß auch nie so weiß sein, wie am Bildschirm. Gute Bildbearbeitungssoftware wie z.B. Photoshop bietet die Möglichkeit, das Bildergebnis eines gedruckten Bildes zu simulieren. Die dafür nötige Funktion wird *Softproof* genannt. Auch Lightroom, Capture One und viele andere professionelle Programme bieten diese Funktion. Benötigt wird dafür allerdings ein Farbprofil, welches den Drucker in Kombination mit dem verwendeten Papier und Tinte beschreibt. Manche Fotolabore liefern solche Profile. Mehr zur Anwendung weiter unten.

Die folgenden Bilder zeigen den starken Einfluss des Umgebungslichtes auf die Farbwahrnehmung. Bei diesem Experiment habe ich eine Farbtafel auf den Monitor meines Laptops gelegt und rechts daneben ein Foto derselben Farbtafel abgebildet. Der Monitor meines Laptops wurde zuvor auf eine Farbtemperatur von 6500K kalibriert.

Bei der ersten Aufnahme erhellte das Licht eines bewölkten Himmels den Raum, sodass Umgebungslicht und Farbtemperatur des Monitors weitgehend übereinstimmten.

Nun verdunkelte ich den Raum und beleuchtete die Farbtafel mit einer Halogenlampe, welche Licht mit einer Farbtemperatur von 2800K produziert. Der Monitor zeigt die

Abbildung nach wie vor mit einer Farbtemperatur von 6500K an.



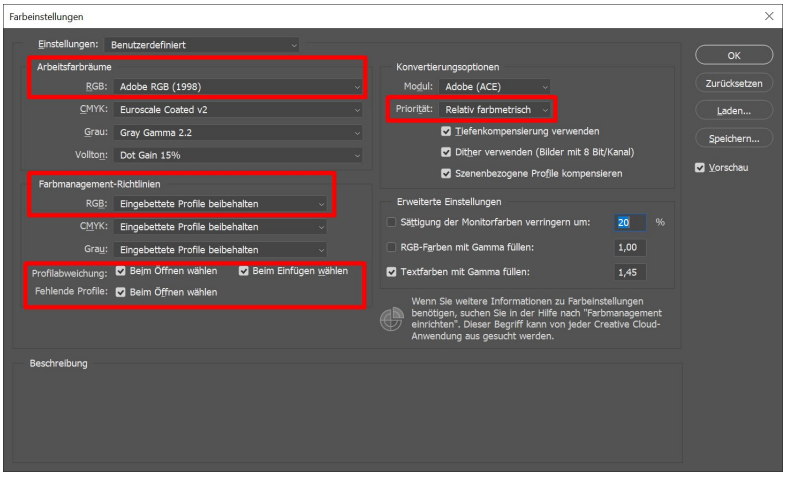
Die Kamera war auf automatischen Weißabgleich eingestellt und hat wohl irgendeinen Wert zwischen den Farbtemperaturen der Halogenlampe und dem Monitor gewählt, wie im linken Bild zu sehen ist. Rechts habe ich den Weißabgleich manuell auf eines der grauen Felder der Farbtafel durchgeführt. Das führt zwar dazu, dass die Farbtafel nun einigermaßen korrekte Farben anzeigt, aber die Bildschirmanzeige verschiebt sich dadurch noch stärker ins Blau. Unter solchen Lichtbedingungen Farbkorrekturen am Laptop durchzuführen, wäre pures Glücksspiel. Dass das Bild aus dem Fotolabor dann auch die gewünschten Farben zeigt, halte ich für eher unwahrscheinlich.

Ein wichtiger Schritt bei der Kalibrierung des Bildschirmes ist deshalb, dass die Farbtemperatur zumindest annähernd an die Farbtemperatur der Arbeitsumgebung angepasst wird. Manche Monitore erlauben eine Einstellung der Farbtemperatur über das Setup-Menü des Monitors. Mit den Reglern des Bildschirmes können jedoch nur Helligkeit, Farbtemperatur und Kontrast (Gradation) grob eingestellt werden. Eine Farbkorrektur ist damit nicht möglich - das klappt nur mit einem Farbprofil. Um ein Farbprofil für den Monitor zu erstellen, benötigt man ein Colorimeter (oder Spektrometer). Solche Messgeräte erlauben auch die Messung der Farbtemperatur des Umgebungslichtes. Die zum Messgerät zugehörige Software bringt eine Reihe von farbigen Flächen zur Anzeige, deren Farbwerte bekannt sind. Diese Farben werden vom Messgerät erfasst und die Software errechnet anhand der Abweichungen vom wahren Wert die erforderlichen Korrekturwerte. Am Ende wird ein Farbprofil (Monitorprofil) erstellt und abgespeichert.

Farbmanagement in der Praxis

Wir haben uns nun mit den Grundlagen von Farbräumen und Farbprofilen vertraut gemacht und den Bildschirm so kalibriert und profiliert, dass wir mehr oder weniger korrekte Farben und Kontraste sehen. Wenigstens können wir davon ausgehen, dass die empfundenen Farben nicht mehr weit vom “wahren” Wert abweichen.

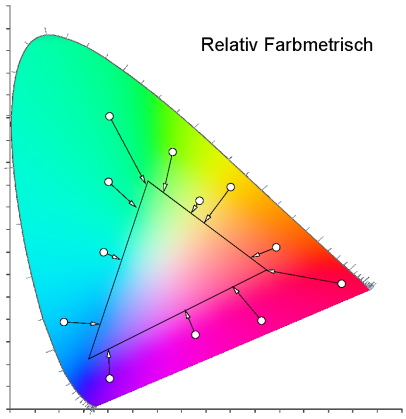
Nun sind noch ein paar Anpassungen im Bildbearbeitungsprogramm durchzuführen. Hier soll das am Beispiel von Photoshop gezeigt werden.

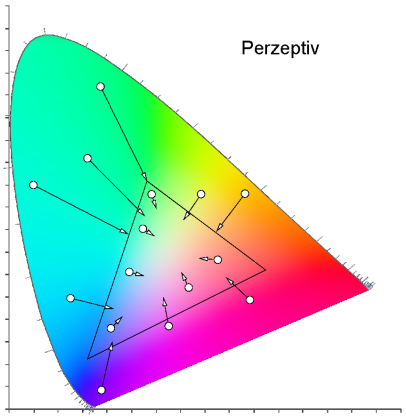


Die Grundeinstellung für das Farbmanagement erfolgt im Menü “Farbeinstellungen”. Hier wird der Arbeitsfarbraum festgelegt, welcher standardmäßig während der Bearbeitung und beim Speichern des Fotos angewandt wird. Ich beschränke mich hier auf den RGB-Farbraum, da die Ausgabe meiner Fotos immer am Bildschirm, Tintendrucker oder über das Fotolabor erfolgt und nicht über eine Druckerei (dann müsste man sich auch mit den CMYK-Farbräumen beschäftigen). Mein Arbeitsfarbraum ist in den meisten Fällen sRGB, ich habe hier im Beispiel jedoch AdobeRGB konfiguriert. Weitere Einstellungen habe ich unter “Farbmanagement-Richtlinien” vorgenommen. Ich möchte, dass ich informiert werde, falls Bilddateien Farbprofildaten enthalten, welche nicht mit dem eigenen Arbeitsfarbraum identisch sind. Solche Bilddateien sollen nicht automatisch in meinen Arbeitsfarbraum (sRGB) konvertiert werden, sondern bevorzugt beibehalten werden.

Im Bereich “Konvertierungsoptionen” wähle ich “Relativ farbmetrisch”. Diese Einstellung bewirkt, dass alle Farben, welche innerhalb des Farbumfanges meines Arbeitsfarbraumes liegen, unverändert bleiben. Alle Farben, welche außerhalb des Farbraumes liegen, werden beschnitten auf den Maximalwert des Arbeitsfarbraumes. Eine eventuell ebenfalls sinnvolle Einstellung wäre “Perzeptiv”. Falls in einem Foto Farben vorkommen, welche den Gamut (Farbumfang) des Arbeitsfarbraumes überschreiten, werden diese so umgerechnet, dass sie innerhalb des verwendeten Farbraumes zu liegen kommen.

Damit diese Farben aber von anderen Farben unterschieden werden können, müssen auch jene Farben “gestaucht” werden, welche sich bereits innerhalb des Arbeitsfarbraumes befunden haben. Andere Konvertierungs-Einstellungen sind in der Fotografie kaum sinnvoll. Folgende Grafiken zeigen die unterschiedlichen Methoden “Relativ farbmetrisch” und “Perzeptiv”.

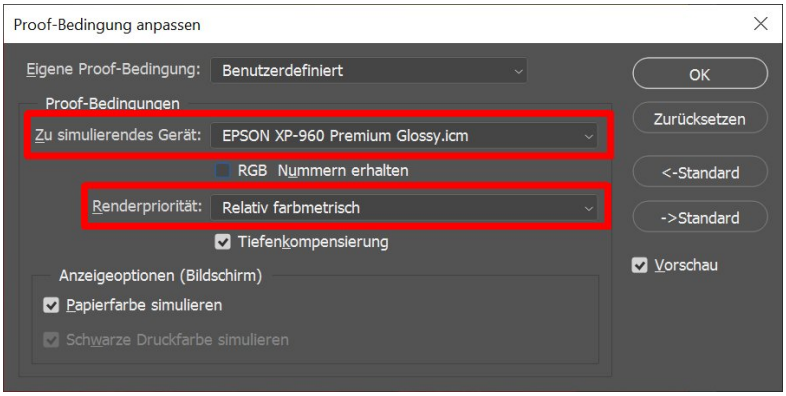




Eine weitere wertvolle Einstellung kann bei manchen Fotos “Sättigung der Monitorfarben verringern um: . . . ” sein. Zeigt ein Foto in stark gesättigten Bereichen keine Strukturen mehr, kann mit dieser Option festgestellt werden, ob tatsächlich keine Strukturen in der Bilddatei vorhanden sind, oder ob lediglich der Farbumfang des Bildschirmes überschritten wird.

Photoshop ermöglicht eine “Vorschau” auf das endgültige Druckergebnis, wenn man im Besitz des Farbprofiles des Ausgabegerätes ist. Manche Fotolabore bieten auf ihren Internetseiten das Farbprofil des verwendeten Fotoprinters an. Hier im Beispiel habe ich das Farbprofil meines Druckers bei Verwendung mit Epson Premium Glossy Photopapier eingestellt. Die “Renderpriorität” entspricht der vorhin schon besprochenen Konvertierungsoption in den Farbeinstellungen. Man kann diesen Wert auch noch im Zuge des Druckens aus Photoshop heraus verändern. Stellt das Fotolabor ein ICC-Profil ihres Belichters bzw. Druckers zur Verfügung, kann man dieses Profil hier eintragen, um eine Vorschau in Photoshop zu simulieren.

Das dafür benötigte Werkzeug befindet sich in Photoshop unter *Ansicht -> Proof einrichten -> Benutzerdefiniert*.



Nachdem man das Farbprofil des Fotoprinters in der Zeile “Zu simulierendes Gerät” eingetragen hat, kann durch die Tastenkombination <Strg>+<Y> zwischen der Ansicht im Arbeitsfarbraum und dem Farbraum des Ausgabegerätes gewechselt werden. Diese Funktion ist insbesondere zusammen mit der “Farbumfang-Warnung” äußerst hilfreich. Die Farbumfang-Warnung bzw. auch Gamut-Warnung genannt, kann mit den Tasten <Strg>+<SHIFT>+<Y> ein und ausgeschaltet werden.

Ich möchte an dieser Stelle noch etwas genauer auf die verschiedenen Methoden bei der Transformation von Bildern zwischen Farbräumen eingehen. Grundsätzlich sollte so wenig wie möglich zwischen unterschiedlichen Farbräumen gewechselt werden, denn bei jeder Umwandlung gehen Informationen verloren, da sich ja die Größen der Farbräume unterscheiden. Normalerweise genügt es, wenn das RAW-Bild aus der Kamera im RAW-Konverter in einen Arbeitsfarbraum konvertiert wird. Falls anschließend noch Veränderungen z.B. in Photoshop erfolgen, sollte man keine 8bit-JPEG Datei, sondern besser eine 16bit TIFF- oder PSD-Datei erzeugen. Die fertig abgespeicherte Bilddatei wird dann nur mehr im Zuge der Ausgabe auf ein Gerät - sei es ein Monitor oder ein Drucker - in dessen Farbraum umgewandelt.

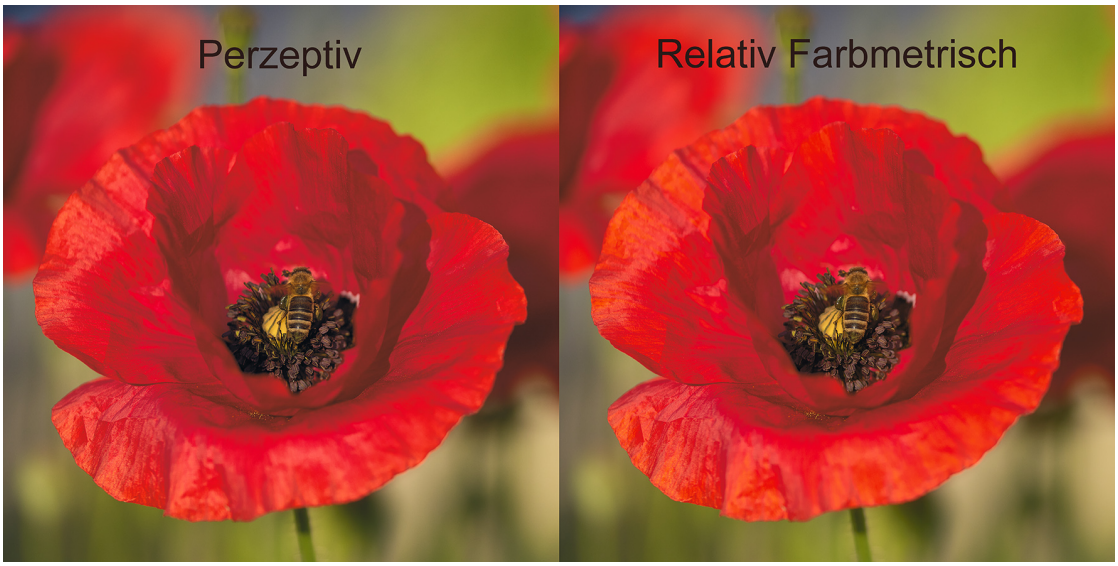
Wie schon erwähnt, stehen mehrere Möglichkeiten bei den Methoden der Umwandlung zur Verfügung. “*Perzeptiv*” sorgt dafür, dass der Gesamteindruck inklusive Strukturen im Bild möglichst erhalten bleibt. Bei größeren Abweichung der intensivsten Farben vom Zielfarbraum, kann jedoch ein insgesamt etwas flaueres Bild entstehen.

Die Einstellung “*Relativ Farbmetrisch*” verändert jene Farben, welche sich innerhalb des Zielfarbraumes befinden, nicht. Alle außerhalb liegenden Farbbereiche erhalten die ähnlichste, noch im Zielfarbraum darstellbare Farbe. Das kann dazu führen, dass Bereiche im Bild zu einer komplett gleichfarbigen Fläche verschmelzen. Dafür bleiben aber sowohl die Sättigung, als auch die Helligkeit in allen anderen Bereichen erhalten. Ich bevorzuge meist diese Methode, weil ich schon bei der Bearbeitung im RAW-Konverter möglichst dafür sorge, dass solch kritische Bereich gar nicht oder wenn schon, dann nur sehr kleinflächig auftreten. Denn bei der perzeptiven Umwandlung kann ein kleiner, kaum sichbarer, aber weit außerhalb des Zielfarbraumes befindlicher Farbfleck das gesamte Bild beeinflussen. Welche der beiden Methoden in einem speziellen Fall aber tatsächlich die bessere ist, probiert man am besten aus. Es ist nicht leicht vorab eine

richtige Entscheidung zu treffen. Auf 39 zeige ich ein Beispiel einer Farbraumumwandlung, bei der der Quellfarbraum den Zielfarbraum bei weitem überschritt. Ich zeige das nicht, um eine bestimmte, ideale Vorgangsweise daraus ableiten zu können, sondern als Anregung, es im konkreten Fall mit beiden Methoden zu versuchen.

Weiters gibt es noch die Methode "*Absolut Farbmetrisch*". Dabei passiert eigentlich dasselbe, wie bei "Relativ Farbmetrisch" (Helligkeit und Sättigung bleiben erhalten, außerhalb des Zielfarbraumes liegende Farben werden durch die ähnlichste darstellbare Farbe ersetzt), aber die Farbtemperatur wird nicht an den neuen Farbraum angepasst. Diese Methode ist meines Wissens nach nur für spezielle Situationen in Druckereien sinnvoll.

Nachfolgende Abbildung zeigt die beiden in der Fotografie relevanten Umwandlungsmethoden *Perzeptiv* und *Relativ Farbmetrisch*. Das Ausgangsbild war im ProPhoto-Farbraum und enthielt Rottöne, welche teilweise schon deutlich außerhalb des sRGB-Farbraumes gelegen sind. Zielfarbraum war ein Druckerprofil, um das endgültige Aussehen am Papierbild zu simulieren.[4]



An dieser Stelle möchte ich auch noch auf ein Verhalten von Photoshop hinweisen, welches mir sehr viel Zeit geraubt hat. Photoshop bietet zwar beim Umwandeln der Farbprofile immer alle Methoden an, führt aber je nach Farbprofil anstatt der ausgewählten *Perzeptiv*-Methode trotzdem nur die Umwandlung mit der Methode *Relativ Farbmetrisch* aus!

Eine perzeptive Umwandlung ist nämlich nur dann möglich, wenn das Ziel-Farbprofil eine sogenannte LUT-Tabelle enthält. LUT steht für Lookup Table und enthält Daten,

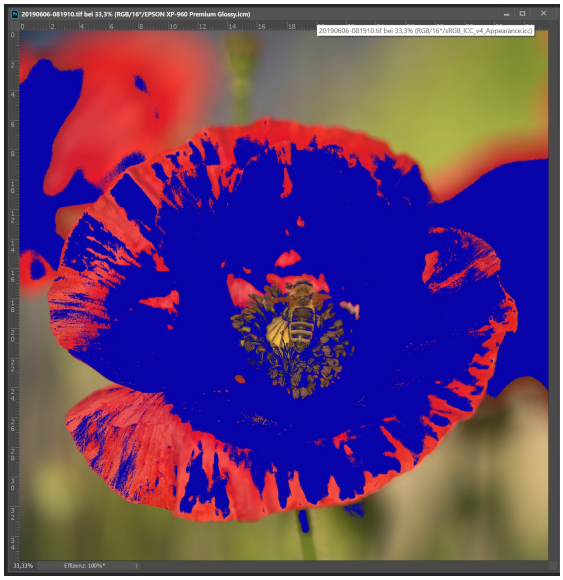
[4] Ich habe festgestellt, dass auf manchen Geräten (vor allem auf Smartphones oder Tablets mit aktiviertem Blaufilter) fast kein Unterschied zwischen den beiden Fotos sichtbar ist. Auf gut eingestellten Monitoren sollte aber doch relativ klar zu sehen sein, dass das Rot im linken Bild weniger intensiv erscheint.

welche für eine nicht-lineare Farbumwandlung benötigt werden. ICC-Profile, welche Arbeitsfarbräume, wie z.B. sRGB, AdobeRGB oder ProPhoto beschreiben, enthalten keine LUT, weshalb eine perzeptive Umwandlung damit nicht möglich ist. Schön wäre, wenn Photoshop in solchen Fällen die Wahl der Perzeptiv-Methode gar nicht zulassen würde.

Wer dennoch unbedingt eine perzeptive Umwandlung nach sRGB vornehmen will, für den stellt das *International Color Consortium (ICC)* ein Profil mit LUT zur Verfügung. Die Linkadresse dafür lautet:
http://www.color.org/profiles/srgb_appearance.xalter Man kann die perzeptive Umwandlung in dieses Farbprofil mit LUT durchführen und anschließend, wenn man möchte, das Standard-sRGB-Profil einfach zuweisen.

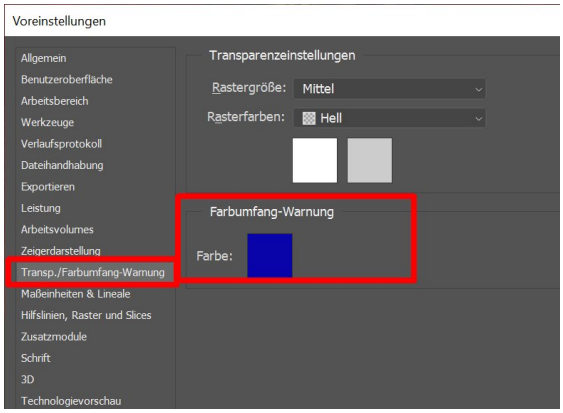
Überschreitung des Farbraumes

Vor allem bei kräftigen Farben von Blumen, Textilien oder Kunststoffen kann der Farbraum des Ausgabegerätes sehr leicht überschritten werden. In solchen Fällen muss man durch Reduktion der Sättigung und/oder Helligkeit der jeweiligen Farbtöne dafür sorgen, dass sie innerhalb des Ausgabefarbraumes zu liegen kommen. Anderenfalls kann es passieren, dass man großflächige Farbkleckse ohne Struktur im Endergebnis erhält. Die im vorigen Kapitel gezeigte Blume überschreitet den Farbumfang von sRGB schon ein wenig und es ist zu befürchten, dass auch der Farbumfang des Fotoprinters im Fotolabor überschritten wird. Das können wir mittels der im vorigen Kapitel bereits angedeuteten Proof-Einstellung überprüfen.



Alle blau eingefärbten Flächen kann der Fotoprinter nicht mehr korrekt darstellen, da dessen Farben außerhalb des Drucker-Farbraumes liegen.

Mit welcher Farbe die Farbraumüberschreitung markiert wird, kann in den Voreinstellungen definiert werden - siehe Abbildung.



Hätte ich das Foto schon von der Kamera als JPEG-Datei mit dem sRGB-Farbraum speichern lassen, wäre nichts mehr zu machen, da die Farbinformationen außerhalb des sRGB-Farbraumes bereits verloren wären. Ich speichere meine Fotos jedoch mit meiner digitalen Spiegelreflexkamera prinzipiell im RAW-Format ab. Dadurch ist sichergestellt, dass die komplette Information erhalten bleibt und spätere Korrekturen noch möglich sind.[5]

Es gibt mehrere Lösungsansätze um die Rot-Sättigung zu reduzieren. Man kann beim Druck “Perzeptiv” einstellen, damit alle Farbwerte in den Druckerfarbraum “gepresst” werden. Damit erleiden aber unter Umständen sehr große Farbflächen starke Veränderungen. Es ist deshalb vielleicht besser, einen Versuch zu wagen, den allzu weit außerhalb des Zielfarbraumes liegenden Farbbereichen mit den Mitteln der Bildbearbeitung beizukommen. Wenn der RAW-Konverter eine sogenannte Proof-Ansicht und Farbumfang-Warnung zulässt[6], kann bereits im RAW-Konverter korrigiert werden, was ich bevorzuge. Mir fällt es im RAW-Konverter leichter, Gamut-Überschreitungen (Gamut steht auch für Farbumfang) optisch ansprechend zu eliminieren, als später in Photoshop. Falls der RAW-Konverter dieses Feature aber nicht bietet, würde ich das Foto mit einer Farbtiefe von 16 Bit je Farbkanal und einem großen Farbraum (AdobeRGB oder wenn nötig, ProPhotoRGB) ins TIFF-Format konvertieren und anschließend die betroffenen Farbtöne mit einem Bildbearbeitungsprogramm bearbeiten.

[5] RAW-Bilder stellen je Farbkanal 12 bis 14 Bits an Information zur Verfügung gegenüber nur 8 Bits im JPEG-Format. Zudem kann der geeignete Farbraum auch später noch bei der Konvertierung am Computer gewählt werden. Auch der Weißabgleich erfolgt im Zuge der RAW-Konvertierung am Computer. Insgesamt lässt die Verwendung des RAW-Formates mehr Freiraum bei der Bearbeitung und man kann sich während der Aufnahme mehr auf das Motiv konzentrieren. Nachteil ist der erhöhte Speicherbedarf und dass alle Aufnahmen zunächst konvertiert werden müssen bevor sie als Papierbild entwickelt werden können.

[6] Lightroom oder Capture One z.B. bieten diese Möglichkeit.

Ich habe hier in diesem Fall mit dem Color Editor von Capture One die Farbe ausgewählt, welche sich außerhalb des Drucker-Farbraumes befand und deren Helligkeit so lange reduziert, bis die Gamut-Warnung fast komplett verschwunden ist. Anschließend habe ich die Mitteltöne wieder etwas aufgehellt, damit der Gesamteindruck nicht zu dunkel wird. Das Foto ist zwar etwas dunkler als zuvor, zeigt aber in allen Teilen Zeichnung und trotzdem kräftige Farben. Dieses Bild ist nun geeignet für den Druck auf meinem Photoprinter ohne Farbabrisse oder Zeichnungsverluste in Kauf nehmen zu müssen.

Erstellen eines Kameraprofils

Ein Kameraprofil ist eine Art Übersetzungstabelle, womit die Rohdaten des Kamera-Sensors in die gewünschten Farb- und Helligkeitswerte eines definierten Farbraumes übersetzt werden können.

Nicht benötigt wird ein solches Profil, wenn man die Kamera nur JPEG- oder TIFF-Dateien erzeugen lässt. Denn in diesem Fall übernimmt die Kamera selbst die Umwandlung in Farb- und Helligkeitswerte. Auf die in der Kamera selbst fix integrierten Farbprofile kann man bestenfalls über einige wenige Regler in den Kameramenüs Einfluss nehmen. Aber man hat keine Möglichkeit, gezielt irgendwelche Farbabweichungen zu korrigieren. Diese können nur mehr nachträglich an den von der Kamera erzeugten 8bit Bilddateien durchgeführt werden.

Leider ist es nicht möglich, ein und dasselbe Kameraprofil für alle am Markt verfügbaren RAW-Konverter zu verwenden. So werden für Adobe Camera Raw und Lightroom sogenannte DNG-Profile benötigt, während Capture One nur ICC-Profile unterstützt. Es

ist auch nicht möglich, ein für Capture One erstelltes ICC-Profil für z.Bsp. DxO PhotoLab zu verwenden, weil es Abweichungen in der Art und Weise gibt, wie die Farbprofile innerhalb des Umwandlungsprozesses angewendet werden. Manche RAW-Konverter unterstützen jedoch sowohl DNG-Profile als auch ICC-Profile. DNG-Profile sind strenger genormt, weshalb sie mit allen Programmen verwendet werden können, welche DNG-Profile unterstützen.

Um ein Kameraprofil zu erstellen, benötigt man eine Farbtafel und Software, welche das von der Kamera aufgenommene Bild der Farbtafel analysiert und daraus die Profildatei erzeugt. Es gibt sehr viele unterschiedliche Farbtafeln am Markt. Die am weitesten verbreitete und von Programmen am häufigsten unterstützte Farbtafel ist der *colorchecker CLASSIC* der Firma *x-rite* mit 24 Farbfeldern. Diese Farbtafel ist sehr klein und kann überallhin bequem mitgenommen werden, um z.Bsp. bei Außenaufnahmen die Möglichkeit zu haben, farbtreue Bilder zu erzeugen.

Über die 24 Felder hinausgehend besitzt der "*colorchecker DIGITAL SG*" (ebenfalls von *x-rite*) auch noch besonders gesättigte Farben und Farben, welche speziell für korrekte Hautwiedergabe optimiert sind. Da die Oberfläche dieser Farbtafel aber nicht matt ist, ist sie für Außenaufnahmen weniger geeignet. Es ist nämlich sehr schwierig, diese Farbtafel ohne irgendwelche Spiegelungen aufzunehmen. Spiegelungen würden ja sowohl Helligkeits-, als auch Farbwerte verfälschen und zu fehlerhaften Farbprofilen führen.

Ich persönlich verwende sehr gerne den *colorchecker PASSPORT*, der dieselben 24 Farbfelder wie der *colorchecker CLASSIC* enthält (und somit kompatibel ist), plus noch zusätzliche Farbflächen, sowie eine Grautafel welche für den Weißabgleich in der Kamera verwendet werden kann. Dieser ColorChecker kommt in Form einer zusammenklappbaren, gut geschützten Kunststoffhülle und passt bequem in jede Foto- oder sogar Hemdtasche.

Zum Erstellen eines DNG-Profils, gibt es für Lightroom ein Plugin namens *ColorChecker Camera Calibration*, welches den *colorchecker CLASSIC* unterstützt. Oder man kann sich von Adobe den kostenlosen *DNG Profile Editor* von folgender Internetseite herunterladen:
(https://helpx.adobe.com/at/photoshop/digital-negative.html). Auch dieses Programm benötigt die 24 Farbfelder des *colorchecker CLASSIC.*

Kostenlose Programme zum Erstellen von ICC-Profilen sind z.B. Argyll oder LPROF. Ich verwende allerdings das kostenpflichtige Programm *Lumariver Profile Designer*. Damit kann ich sowohl DNG-Profile als auch ICC-Profile für diverse RAW-Konverterprogramme erstellen, individuell anpassen und alle vorgenommenen Einstellungen bei Bedarf inklusive Bilddatei als Projekt abspeichern, um später eventuelle Anpassungen zu ermöglichen.

Für Reproduktionsfotografie werden Kameraprofile mit linearer Gradationskurve benötigt. Es kommt dabei ja meist nicht darauf an, ein künstlerisches Bild zu erzeugen, sondern ein Bild, welches dem Original so nah wie möglich kommt. Das ist bei den

Standardprofilen nicht der Fall. Diese haben immer eine mehr oder weniger kräftige S-Kurve, um den Kontrast zu verbessern. Reproduktionsprofile enthalten üblicherweise eine dreidimensionale LUT, welche es ermöglicht, Farbwerte auch in Abhängigkeit von der Helligkeit zu korrigieren. Bei Standardprofilen kommen üblicherweise nur zweidimensionale LUTs zum Einsatz. Das ist auch sinnvoll so, denn eine 3D-LUT liefert nur dann die exakt korrekten Farbwerte, wenn auch die Lichtverhältnisse und Aufnahmeparameter (Blende, Zeit, ISO) exakt dieselben sind, womit das Profil erstellt wurde - also unter Laborbedingungen. Der größeren Komplexität und Datenmenge einer 3D-LUT steht kein Mehrwert gegenüber, falls diese nicht unter den exakt identischen Labor-Verhältnissen angewandt wird. Es schadet aber auch nicht. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Programme existieren, welche „normale“ Profile korrekt interpretieren, aber mit 3D-LUTs nicht umgehen können. Eventuell ein zusätzlicher Grund für die Alltags-Fotografie, einfache Kameraprofile zu verwenden.

Anhang

Einfluss des Lichtes

Das Licht eines Glühkörpers besteht aus einem kontinuierlichen Farbspektrum. Die Spektralfarbe mit der maximalen Strahlungsintensität hängt von der Temperatur des Leuchtkörpers ab. Sonnenlicht besitzt als Hitzestrahler ebenfalls ein relativ kontinuierliches Spektrum. Lediglich schmale Farbbereiche des Spektrums gelangen mit geringerer Intensität auf die Erdoberfläche - dies ist auf die Absorption durch bestimmte Elemente und Moleküle in der Sonnen- und Erdatmosphäre zurückzuführen. Auf der Erde reduzieren vor allem Wasserdampf, Kohlendioxid und Ozon bestimmte Farbbereiche im Spektrum. Die Farbtemperatur von Sonnenlicht verändert sich im Verlaufe eines Tages sehr stark und ist auch abhängig vom Wetter. Bei Sonnenauf- oder -untergang entspricht die Farbtemperatur in etwa der einer Glühbirne (~ 2800K) oder sogar noch niedriger. Bei wolkenlosem Himmel mit sattem Himmelblau beträgt die Farbtemperatur im Schatten manchmal sogar weit über 15000K.

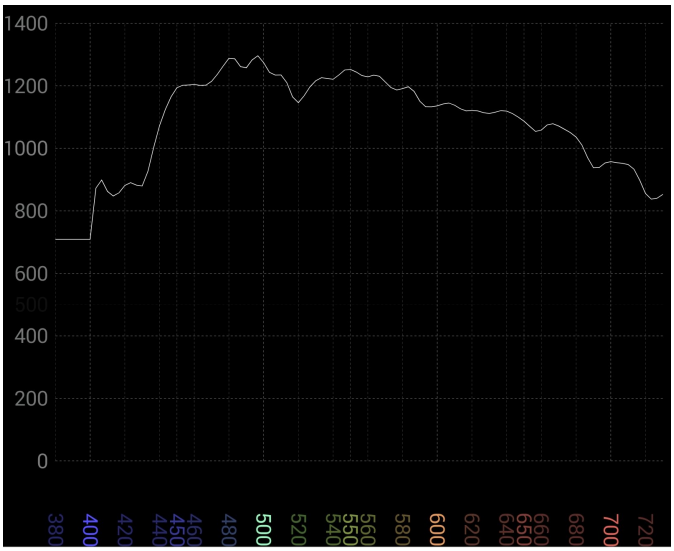
Glühlampen (dazu gehören auch Halogenlampen) erzeugen als Wärmestrahler ebenfalls ein sehr kontinuierliches Spektrum. Aufgrund der niedrigeren Temperatur im Vergleich zur Mittagssonne jedoch mit geringerem Blauanteil und dafür aber mit verhältnismäßig höherem Rotanteil.

Ganz anders verhält es sich bei den sogenannten Sparlampen (Leuchtstoffröhren) und LED-Lampen. Diese unterscheiden sich ziemlich deutlich vom Sonnenlicht. Beim Licht von Computer-Bildschirmen sind überhaupt nur mehr drei dominante Farben zu sehen - nämlich Rot, Grün und Blau. Da das menschliche Auge ebenfalls nur 3 Rezeptoren für die Farben Rot, Grün und Blau besitzt und nicht das gesamte Spektrum für die Bewertung einer Farbe analysiert, funktioniert der Trick mit den lediglich 3 Farben des Bildschirmes.

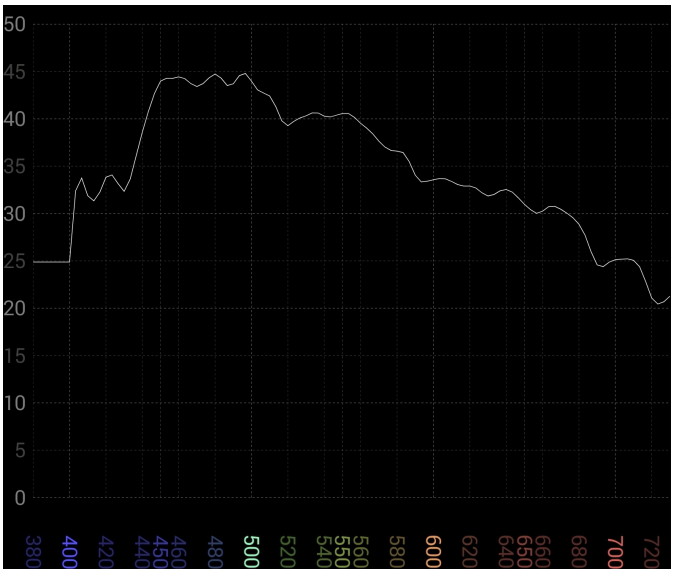
Weil Lichtquellen einen ganz massiven Einfluss auf die Farbempfindung haben, wurde ein Maß entwickelt, welches die Güte einer Lichtquelle beschreibt. Je höher der Wert, desto mehr ähnelt das Licht dem Sonnenlicht. Ein Wert von 100 wäre perfekt.

Beim Kauf einer Lampe für Film- und Foto-Beleuchtung sollte man deshalb auf einen möglichst hohen *Farbwiedergabeindex* achten. Viele Hersteller schreiben diesen Wert inzwischen auch schon auf die Verpackungen. Bezeichnungen dafür sind z.B. *Ra* oder *CRI*. Werte ab 95 sind bereits ziemlich gut. Ursprünglich hatte man zur Beurteilung 9 Farben definiert, welche für die Berechnung des Index herangezogen wurden. Im Verlauf der Entwicklung neuer Leuchtmittel zeigte sich jedoch, dass immer öfter Farbabweichungen festzustellen waren, obwohl ein relativ guter Farbwiedergabeindex vorlag. Hersteller haben ihre Leuchtmittel offenbar ganz gezielt auf die Wiedergabe dieser 9 Farben hin getrimmt, um hohe Farbwiedergabeindizes auf ihre Verpackungen drucken zu können. 2012 wurde ein neuer Index eingeführt, welcher die 24 Farben der Farbtafel zur Beurteilung der Lichtqualität heranzieht. Der TLCI-2012 Wert ist aussagekräftiger. TLCI steht für ***T**elevision **L**ight **C**onsistency **I**ndex*.

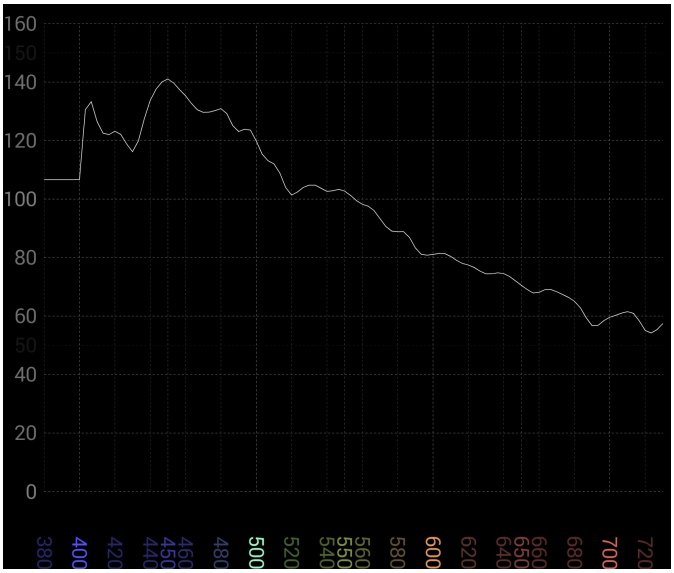
Die folgenden Bilder zeigen einige mit einem Spektrometer ermittelten Messdaten verschiedener Lichtquellen. Dazu angegeben sind auch Farbtemperatur und TLCI-2012 Index.



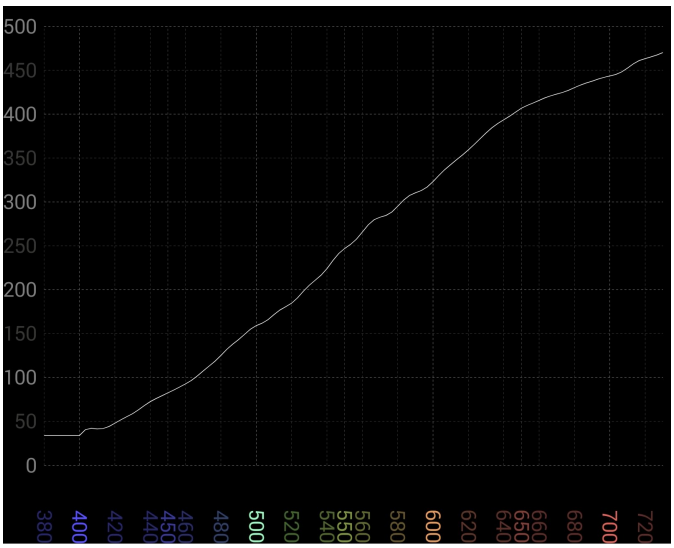
Mittagssonne - Farbtemperatur 5548K, TLCI-2012 = 100



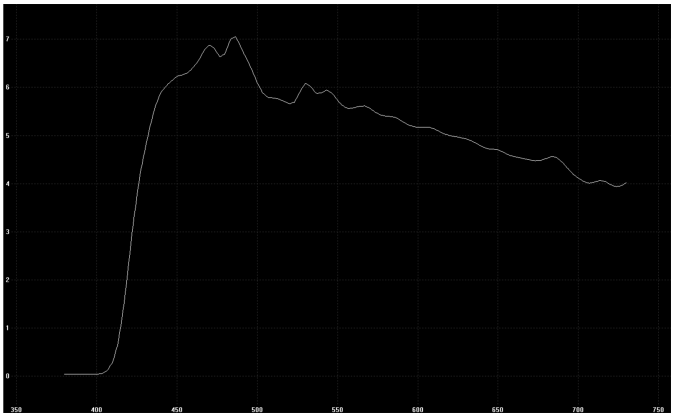
Bedeckter Himmel - Farbtemperatur 6479K, TLCI-2012 = 100



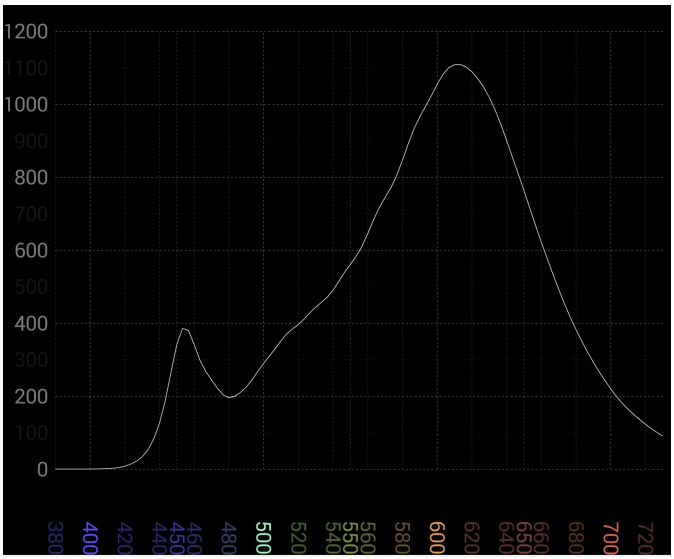
Im Schatten bei wolkenlosem Himmel - Farbtemperatur 8476K, TLCI-2012 = 100



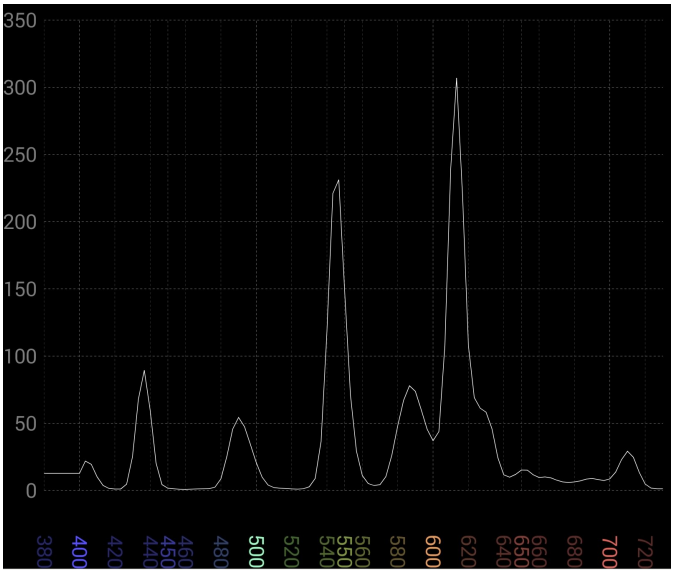
Halogenlampe 300W - Farbtemperatur 2931K, TLCI-2012 = 99,8



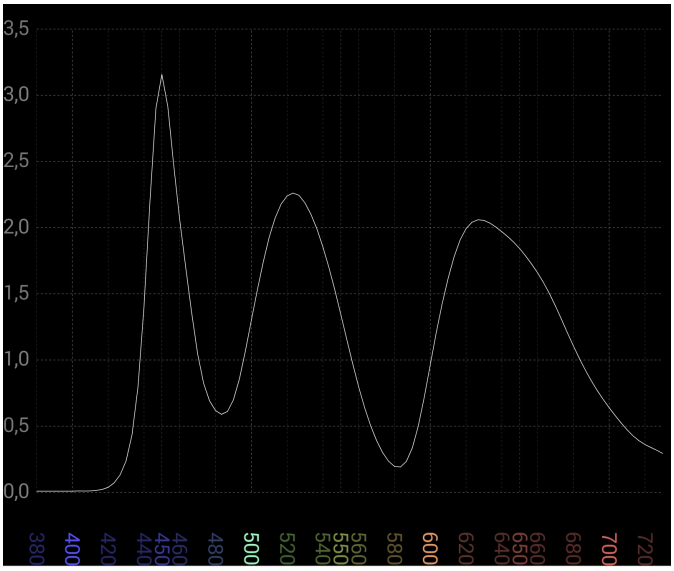
Kamera-Blitz - Farbtemperatur 6144K, TLCI-2012 = 99,0



LED-Lampe - Farbtemperatur 2589K, TLCI-2012 = 75,1



Sparlampe (Leuchtstoffröhre) - Farbtemperatur 2709K, TLCI-2012 = 46,6



Weiße Fläche auf Monitor (kalibriert auf 6500K) - Farbtemperatur 6521K, TLCI-2012 = 36,4

Bei Leuchtquellen mit hohem Farbwiedergabeindex kann man mittels Weißabgleich recht gute Ergebnisse erzielen, da größere Farbabweichungen ja lediglich durch unterschiedliche Farbtemperaturen zustande kommen.[7]

[7] Wird großer Wert auf exakte Farbwiedergabe gelegt, reicht ein exakter Weißabgleich jedoch nicht aus. In solchen Fällen benötigt man ein Kameraprofil, welches zur verwendeten Lichtart passt. Zur Veranschaulichung habe ich weiter unten ein Beispiel angefügt - siehe auf Seite 35

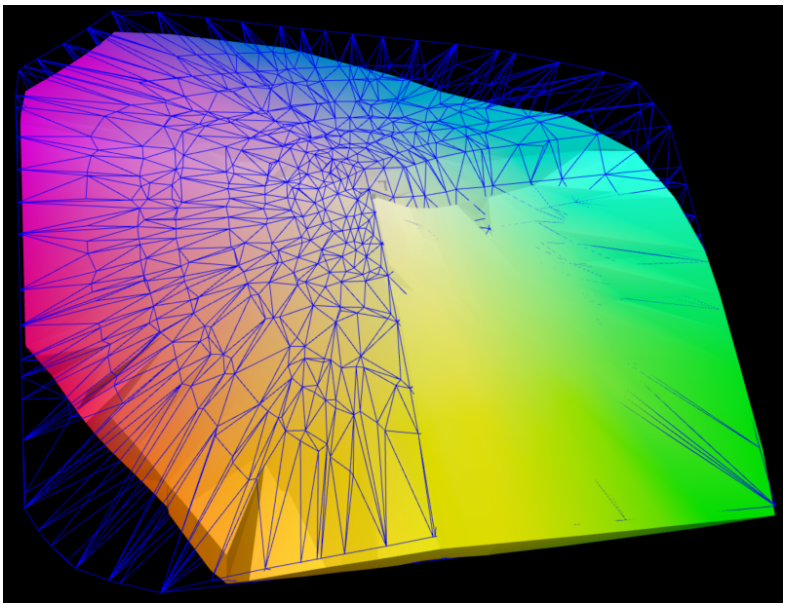
Problematisch kann es jedoch sein, wenn zum Beleuchten eines Objektes eine Lichtquelle verwendet wird, deren Farbwiedergabeindex niedrig ist. Worin also gewisse Spektralfarben nur schwach ausgeprägt sind oder gar komplett fehlen. Ein Farbeindruck entsteht ja dadurch, dass von einem farbigen Objekt gewisse Farben absorbiert, und andere Farben reflektiert werden. Die Summe der reflektierten Farben werden von den Rezeptoren des menschlichen Auges aufgenommen und als Farbe wahrgenommen. Fehlt eine für den Farbeindruck wichtige Farbe im Lampenlicht, so verfälscht das die Farbe des Objektes. Solche Farbfehler können auch mittels Regler für den Weißabgleich nicht korrigiert werden. In diesen Fällen sind Kameraprofile erforderlich, welche zu schwach ausgeprägte Farben verstärken, zu Intinsive schwächen oder sogar Farbtöne ein wenig verschieben.

Ich zeige nun ein Beispiel eines Objektes, dessen Farbe sich komplett verändert, wenn man es einmal im Tageslicht und dann im Kunstlicht betrachtet. Es handelt sich dabei um einen Edelstein (Alexandrit). Im Tageslicht erscheint er grün, im Kunstlicht rötlich.

Solche Einflüsse des Lichtes können auch bei anderen farbigen Gegenständen auftreten - zwar nicht so ausgeprägt, aber dennoch erkennbar. In diesen Fällen hilft weder Weißabgleich noch Farbprofil! Man könnte zwar mittels Profil die Farbe des Edelsteines korrigieren, dann würde aber auf andere Gegenstände daneben dieselbe Korrektur angewendet werden, was zu ungewünschten Verfälschungen führen würde. Man spricht bei solchen, von der Lichtquelle abhängigen Farbänderung von Metamerie.

Auch das “Farbempfinden” der Kamera-Sensoren ist abhängig vom Umgebungslicht. Der Farbraum, den ein Sensor abdecken kann, ändert sich mit der Spekralverteilung des Lichtes. Das folgende Beispiel zeigt zwei Farbräume derselben Kamera! Einmal

wurde ein Farbprofil mit dem Licht des bewölkten Himmels (ca. 6500K) erstellt und dann mit dem Abendlicht der Sonne (ca. 3000K).



Das blaue Gitternetz zeigt den Farbraum bei bewölktem Himmel, der “Farbklotz” den des Abendlichtes.

Zusammenfassend muss man zur Kenntnis nehmen, dass Kameraprofile genaugenommen immer nur für jene Lichtverhältnissse passen, wofür das Profil auch erstellt wurde. In Laborumgebung sind solche Bedingungen relativ einfach sicherzustellen. Für Fotografien im Freien oder bei unterschiedlicher Beleuchtung in Gebäuden ist das nicht machbar. Falls Farbtreue wichtig ist, ist es aus diesem Grund nicht übertrieben, wenn man immer eine kleine Farbtafel bei sich hat und noch rasch eine Aufnahme davon macht. Das vereinfacht das Setzen des Weißabgleiches nachträglich bei der Bearbeitung und ermöglicht bei Bedarf das Erstellen eines Kameraprofils exakt für die jeweiligen Verhältnisse.

Apropos Weißabgleich - die in den verschiedenen RAW-Konvertern angezeigten Farbtemperaturen beim Weißabgleich sind lediglich grobe Werte und stimmen zwischen den Programmen nicht überein. Es ist nicht zielführend, die von einem Spektralmessgerät ermittelte Farbtemperatur auf z.B. Lightroom oder Capture One zu übertragen!

Details zu Farbprofilen

Die Umrechnung zwischen verschiedenen Farbräumen erfolgt ein wenig komplexer, als es in meinen Erklärungen den Anschein hat. Für das notwendige Verständnis, welches zum Arbeiten mit Farbräumen nötig ist, sind diese Details jedoch irrelevant.

Grundsätzlich existieren 2 verschiedene Typen von Profilen.

Matrix-Profile Darin sind die Werte für Weiß- und Schwarzpunkt, sowie die "Primärvalenzen" für Rot, Grün und Blau gespeichert. Außerdem noch die Gammakurve. sRGB, AdobeRGB, ProPhoto, LStar etc. basieren auf Matrizen. Für Geräteprofile sind Matrizen nicht geeignet, weil damit keine fehlerhaften Abweichungen beschrieben werden können. Auch CMYK-Profile können damit nicht beschrieben werden.

LUT-Tabellen Diese Tabellen enthalten "Stützstellen" mit exakten Umrechnungswerten. Je mehr dieser Stützstellen eine Tabelle enthält, desto genauer ist die Umrechnung. Werte dazwischen werden interpoliert. Verwendet werden solche Profile für Geräte- und CMYK-Profile.

Weiters ist in den Profilen der sogenannte *Profile Connection Space (PCS)* hinterlegt. Das ist ein geräteunabhängiger Farbraum - enweder CIE LAB oder CIE XYZ. CIE XYZ ist ein Farbraum, welcher aus mathematischer Sicht eine effiziente Umrechnung zwischen Farbräumen zulässt und findet Anwendung bei Matrix-Profilen. Nachteil von CIE XYZ ist, dass Farbabstände in dieser Farbbeschreibung nicht mit dem menschlichen Empfinden übereinstimmen. CIE LAB wurde auf Basis des menschlichen Empfindens kreiert und wird für Umrechnungen von LUT-Profilen verwendet.

Sonstige Daten in Profilen sind (bzw. können sein) die Größe in Bytes, die Profil-Klasse (Display, Input, Output, Device Link, Colorspace), Version und Datum, Hersteller, Geräteeigenschaften (verwendetes Papier, ...), XYZ/Lab-Werte der Lichtquelle, Gamma, usw.

Der Gammawert definiert den Verlauf der Helligkeit innerhalb eines Farbraumes. Je größer die Zahl für Gamma, desto mehr Werte stehen für die Beschreibung der dunkleren Bereiche zur Verfügung. Heutige Profile verwenden bevorzugt einen Gammawert von 2,2. ProPhoto verwendet ein Gamma von 1,8. Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges deckt sich aber leider nicht genau mit dem Verlauf der Gammakurven der Farbräume. Das führt dazu, dass unnötig viele Zahlenwerte für Bereiche verwendet werden, welche für das menschliche Sehempfinden nicht so relevant sind bzw. ohnehin nur Rauschen beinhalten. Man geht deshalb dazu über, Gammawerte durch die Helligkeitsverteilung des LAB-Farbraumes zu ersetzen. LAB ist ja ein Farbraum, welcher auf Basis des menschlichen Empfindens geschaffen wurde. - Es bleibt spannend, was in diesem Bereich noch passieren wird. Mehr Details zu den Gammakurven sind im Kapitel auf Seite 36 zu finden.

Wer tieferen Einblick in Farbprofile haben will, kann sich den kostenlosen *ICC Profile Inspector* herunter laden:
http://www.color.org/profileinspector.xalter

Unterstützt mein Programm Farbmanagement?

Der gesamte Aufwand eines Farbmanagements nützt nur dann, wenn alle im Workflow beteiligten Programme Farbmanagement unterstützen. Manchmal stellt sich die Frage, ob ein gewisses Programm in der Lage ist, die Farbrauminformationen in einer Bilddatei korrekt zu verarbeiten. Selbst kann man das relativ einfach testen: Man sucht sich ein buntes Bild, welches im sRGB-Farbraum gespeichert wurde und erzeugt eine Variante mit eingebettetem ProPhoto-Farbprofil. Nun vergleicht man diese beiden Bilder in dem Programm, welches man testen will. Wird Farbmanagement nicht unterstützt, ist ein deutlicher Unterschied zu sehen. Sehen die Bilder gleich aus, so wird Farbmanagement unterstützt.

Mehr Spaß macht es allerdings mit einem Foto, welches komplett falsche Farben anzeigt, falls Farbmanagement nicht unterstützt wird. Solch krasse Tests findet man manchmal auf Internetseiten, um seinen Browser zu testen. Früher gab es nur ganz wenige Browser, die Farbmanagement unterstützten. Dazu gehörten Safari von Apple und später dann auch für Windows-Benutzer Firefox. Firefox jedoch nur, wenn man das sehr versteckte Feature gefunden und entsprechend konfiguriert hatte. Mittlerweile wächst die Zahl der Programme, welche mit Farbmanagement umgehen können.

Folgendes Testbild würde sich dafür eignen - ich habe es in ein “Falschfarbenprofil” umgewandelt:

Testbild für Farbmanagement

Durch Mausklick auf den Link wird das Bild im Standard-Webbrowser angezeigt. Mit Rechtsklick im Browser kann die Bilddatei lokal abgespeichert und zum Testen genützt werden. Nur, wenn ein Programm das in die Bilddatei eingebettete Farbprofil korrekt interpretieren kann, sehen die Farben „normal“ aus. Anderenfalls werden die Farben falsch dargestellt - u.a. mit grünem Himmel.

Die falsche Darstellung sieht dann folgendermaßen aus:

Ein Programm, welches (zumindest zum aktuellen Zeitpunkt - Mai 2020) kein Farbmanagement unterstützt, ist das Windows Malwerkzeug “Paint”.

Mit den folgenden beiden Darstellungen können Sie ihr Programm testen, welches Sie für die Anzeige von PDF-Dateien verwenden. Links ist abgebildet, wie es aussehen soll. Rechts befindet sich das Bild, welches nur bei korrekter Behandlung des eingebetteten Farbprofils richtig aussieht. Sehen beide Bilder gleich aus, dann besitzen Sie ein Programm, welches Farbprofile korrekt behandelt.

Sehe ich diese PDF-Datei mit Acrobat-Reader auf meinem PC an, sind beide Bilder identisch. Am Smartphone oder Tablet wird das rechte Bild allerdings auch mit Acrobat Reader in falschen Farben angezeigt. Es scheint so, als hätte man bei der Acrobat-Reader Version für Android auf Farbmanagement verzichtet, weil Android selbst ja auch kein Farbmanagement unterstützt (zumindest ist das aktuell noch der Fall). Besitzt man ein iPad, so werden die Farben mit Acrobat Reader jedoch korrekt angezeigt.

Beim Experimentieren mit diesen Bildern wird man auf unerwartete Kuriositäten stoßen. Der Browser Google Chrome unterstützt Farbmanagement, wie man beim Klick auf den Link oberhalb dieser Fotos feststellen kann. Wird Acrobat-Reader innerhalb eines Google-Chrome-Fensters gestartet, funktioniert Farbmanagement aber nicht! Dasselbe Experiment mit der aktuellen Version von Windows Edge-Browser unterstützt Farbmanagement sowohl bei der Ansicht der JPEG-Datei, als auch mit Acrobat Reader.

Es ist also Vorsicht geboten, wenn man Bilddateien bearbeitet und Farben beurteilen möchte. Um ganz sicher zu sein, sollte man immer wieder mal einen Test durchführen. Es könnte ja auch sein, dass ein Update eine für Farbmanagement nötige Konfiguration im jeweiligen Programm verändert hat.

Exakte Farbwiedergabe durch Weißabgleich?

Falls Sie bis hierher alles gelesen haben, werden die folgenden Zeilen kaum Neues bereithalten. Sollten Sie jedoch direkt zu diesem Kapitel gesprungen sein, weil Sie dieses Thema speziell interessiert, lesen Sie weiter.

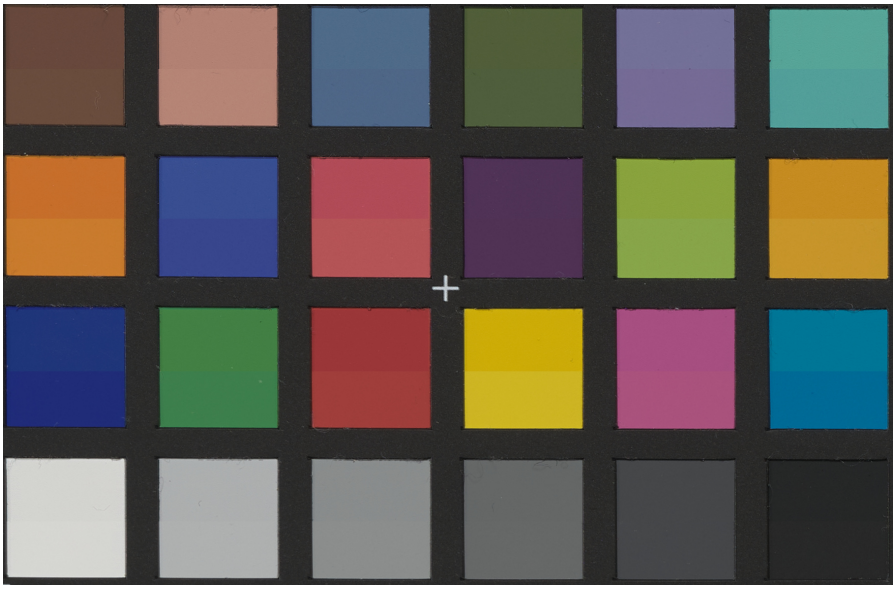
Angenommen, man ist im Besitz eines Kameraprofils, welches speziell für naturgetreue Farbwiedergabe im Fotolabor erstellt wurde. Das Profil sei so perfekt, dass keine Abweichungen vom Original-Kunstwerk feststellbar sind. Kann man mit diesem Profil auch bei anderem Licht exakte Farben wiedergeben?

Die Antwort heißt: NEIN

Für nicht allzu hohe Ansprüche mag dies durchaus genügen und bei sehr vielen Fotos werden im Zuge der Nachbearbeitung Kontrast und Sättigung ohnehin noch verändert - meist intensiviert.

Sollen Helligkeit, Farbton und Farbsättigung aber möglichst exakt mit dem Originalobjekt übereinstimmen, muss ein Kameraprofil für die jeweils verwendete Lichtsituation erstellt werden.

Im Beispiel habe ich eine Farbtafel fotografiert. Das Kameraprofil war optimiert für Tageslicht (obere Hälfte der Farbquadrate). Anschließend habe ich dieselbe Farbtafel bei Kunstlicht fotografiert (untere Quadrathälfte). In beiden Fällen habe ich die erforderliche Belichtung mit dem Belichtungsmesser exakt gemessen und an der Kamera eingestellt. Mit im Bild (hier abgeschnitten) befand sich eine hellgraue Fläche für den Weißabgleich im RAW-Konverter. Bei den grauen Flächen sind auch tatsächlich so gut wie keine Unterschiede feststellbar - sowohl Weißabgleich, als auch Helligkeit stimmen praktisch überein.



Bei den Farbflächen hingegen sind je nach Farbton mehr oder weniger kräftige Abweichungen erkennbar. Für die Repro-Fotografie mit sehr hohen Ansprüchen ist also ein passendes Kameraprofil unerlässlich. Es sei denn, man trimmt alle Farben mühsam mit bloßem Auge im Bildbearbeitungsprogramm hin. Es gibt Personen, die dazu in der Lage sind - ich gehöre leider nicht dazu.

Warum ist der Druck zu dunkel?

Ein sehr häufig beobachtetes Phänomen ist, dass der Druck eines Fotos auf Papier viel dunkler erscheint, als man es von der Bearbeitung am Monitor in Erinnerung hat bzw. sieht das gedruckte Foto auch im direkten Vergleich neben dem Bildschirm dunkler aus.

Was ist passiert? Man hatte doch mit großer Sorgfalt sowohl den Monitor, als auch den Drucker kalibriert und Farbprofile erstellt.

Papier leuchtet nicht von selbst, wie das beim Monitor der Fall ist. Das Aussehen eines Papierbildes hängt also alleine vom Umgebungslicht ab, welches beim Betrachten zur Verfügung steht. In schwachem Licht, sieht der perfekteste Druck zu dunkel aus. Die Bildschirm-Arbeitsumgebung befindet sich in der Regel in gedämpftem Licht und ist deshalb nicht vergleichbar mit dem Licht, in dem Fotos präsentiert werden. Ein Druck muss deshalb in kräftigerem Licht beurteilt werden.

Bei Bildschirmen können die Unterschiede zwischen hellsten und dunkelsten Stellen problemlos Kontrastverhältnisse von 1000:1 übersteigen. Aber selbst sehr gute Drucke schaffen kaum mehr als 350:1. Es ist somit unmöglich, auf Papier dasselbe Kontrasterlebnis zu erzeugen, wie dies am Bildschirm der Fall ist.

Um dennoch schon bei der Bearbeitung am Bildschirm abschätzen zu können, wie der fertige Druck aussehen wird, sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Allfällig vorhandene Bildschirmeinstellungen, welche besonders hohe Kontrastverhältnisse ermöglichen, deaktivieren (die Kalibrierung und Profilierung muss selbstverständlich auch mit dieser Einstellung durchgeführt werden)
- Reduktion der Bildschirmhelligkeit auf eher niedrige Werte, sodass die weißen Bildschirmflächen eher dem unbedruckten Papier entsprechen
- Kontrolle mit Hilfe der *Softproof*-Funktion des jeweiligen Bildbearbeitungsprogrammes.

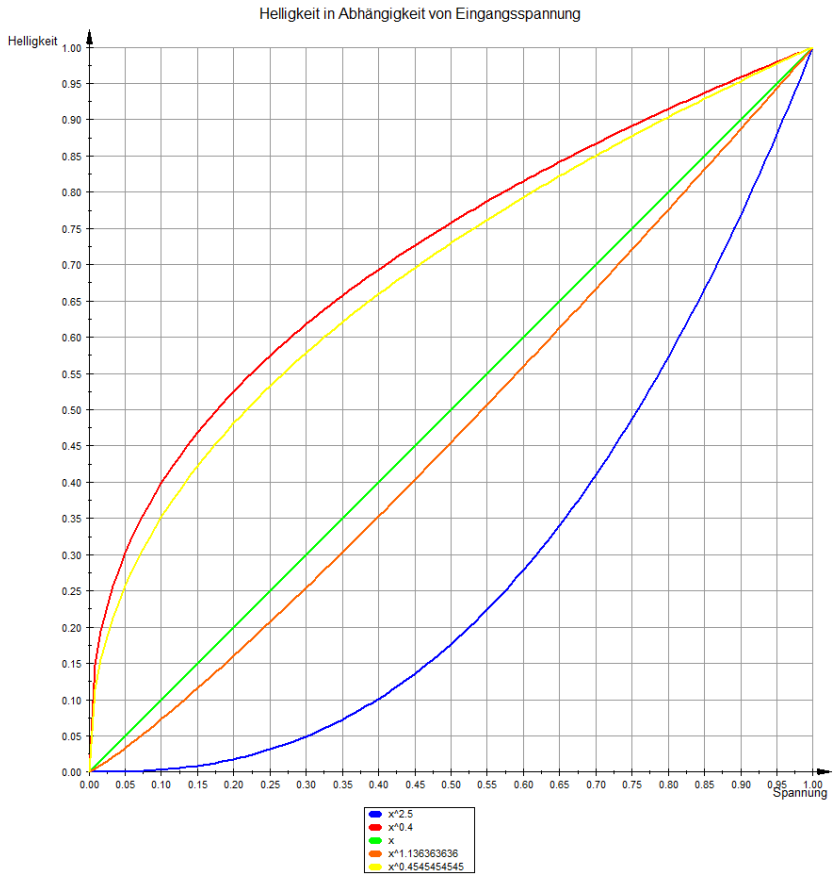
Was sind Gammakurven?

Der Begriff *Gamma* und *Gammakurve* taucht im Zusammenhang mit Farbprofilen immer wieder auf. Aber was genau sind *Gammakurven* überhaupt? Um das zu verstehen, muss man in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts zurückblicken - lange bevor noch über eine digitale Fotografie nachgedacht wurde. Es begann mit der Darstellung von

Bildern mittels Kathodenstrahlröhren - also das, womit die ersten Fernsehgeräte betrieben wurden. Diese Technologie überlebte bis ins erste Jahrzehnt unseres Jahrhunderts, als dann die Digitalisierung so weit fortgeschritten war, dass auch die Fotografie davon profitieren konnte.

Viele werden sich noch an die dicken Fernsehgeräte und Computer-Monitore erinnern, welche die Fläche eines halben Schreibtisches einnahmen. Bei dieser Technologie wurden Elektronen, welche am hinteren Ende mittels Hitze freigesetzt wurden, durch Hochspannung von mehreren tausend Volt beschleunigt, um dann auf der großen Fläche des Bildschirmes aufzuschlagen. Dort befand sich eine Schicht eines Materials, welches beim Einschlag dieser Elektronen Licht aussandte. Gelenkt wurden die Elektronen mittels Magnetfelder. Je stärker die Elektronen beschleunigt wurden (also je höher die Spannung), desto heller war das Leuchten.

Allerdings war diese Abhängigkeit der Helligkeit von der angelegten Spannung nicht linear. So leuchtete der angestrahlte Punkt bei der Hälfte der maximalen Spannung nicht mit halber Helligkeit, sondern lediglich mit ca. 18% der maximal möglichen Helligkeit. Stellt man die gemessenen Eingangsspannungen und die dazugehörigen Helligkeitswerte in einer Grafik dar, entsteht eine Kurve.



Obige Abbildung zeigt diese Kurve ganz unten (blau). Mathematisch entspricht dies einer Potenzfunktion mit dem Exponenten 2.5 - also $Helligkeit = Spannung^{2.5}$

Ein lineares Verhalten würde der grünen Linie entsprechen. Um ein lineares Verhalten zu erreichen, müsste man die Eingangsspannung bei geringen Helligkeiten deutlich verstärken, bei den Lichtern hingegen relativ zurücknehmen. Die Korrekturkurve lässt sich mathematisch durch folgende Formel beschreiben: $Helligkeit = Spannung^{\frac{1}{Gamma}}$.

Eine vollständige Korrektur hätte man mit einem Gammawert von 2.5 erreicht (rote Kurve in der Darstellung). Es zeigte sich jedoch, dass ein exakt lineares Verhalten zu etwas flauen Bildern führte. Dies wurde noch verstärkt dadurch, dass man beim Fernsehen ja nicht in total abgedunkelten Räumen sitzt, sondern ein wenig Licht vorherrscht. Letztendlich entschied man sich für ein Gamma von 2.2 (gelbe Kurve). Die daraus resultierende Korrekturkurve entspricht der orangen Linie knapp unterhalb der grünen, linearen Gerade im Bild.

Das heißt, die Gammakurve diente dazu, um das ungünstige Helligkeitsverhalten der Bildschirmröhre zu kompensieren.

Was hat das alles aber mit der heutigen Zeit noch zu tun? Moderne Flachbildschirme verwenden keine Kathodenstrahlröhren mehr und das Verhalten ist beinahe linear. Warum verzichtet man nicht auf all die krummen Linien?

Der Hauptgrund dafür hat erneut wenig mit der Digitalisierung zu tun (kommt uns letztendlich aber dabei zugute). Man wollte Rückwärtskompatibilität schaffen, um neue Technologien nahtlos zusammen mit der Fülle an vorhandenem Alten einsetzen zu können.

Warum hilft es letztendlich in der digitalen Welt der Bilder? Dazu muss ich etwas weiter ausholen und über die Physiologie des menschlichen Auges sprechen. Der Mensch ist in der Lage, kaum vorstellbare Kontrastverhältnisse zu bewältigen. Er kann in beinahe stockdunklen Räumen (nach einer gewissen Gewöhnungsphase) noch schemenhafte Strukturen erkennen. Andererseits ist er aber auch bei vollem Sonnenschein zur Mittagszeit in der Lage, Details an weiß gestrichenen Hauswänden zu erkennen. Dabei handelt es sich um Kontrastverhältnisse jenseits von 1:100 Millionen!

Absolut gesehen, kann der Mensch bei dunklen Objekten feinere Abstufungen erkennen, als bei sehr hellen. Grob über den Daumen geschätzt, erkennt man Helligkeitsunterschiede von 1% gerade noch. Bei wenig Licht ist ein Prozent nur sehr wenig. Auf der sonnenbeschienenen Schneepiste ist ein Unterschied von 1% relativ viel. Wir erkennen also, dass sich auch die menschliche Wahrnehmung nicht linear verhält. Das ist auch gut so - wir wären sonst entweder in der Dunkelheit total verloren oder würden bei Sonnenschein unmittelbar erblinden.

Das hat nun aber Auswirkungen in der digitalen Welt. Wie wir gelernt haben, gibt es in einer digitalen Bilddarstellung von nur 8 Bit (wie vom JPEG-Bildformat unterstützt) lediglich 256 Helligkeitswerte. Um mit dieser vergleichsweise sehr geringen Anzahl große Kontrastverhältnisse abdecken zu können, muss man sehr sparsam haushalten. Dies

gelingt am besten, indem man die Helligkeitswerte ebenfalls NICHT linear verteilt, sondern einer Potenzialkurve folgen lässt. Und somit landen wir wiederum bei der altbekannten Gammakurve.

In allen üblichen Arbeitsfarbräumen werden die Zahlenwerte der Farben nicht linear aufgeteilt, sondern sie folgen einer Gammakurve. Im ProPhoto-Farbraum erfolgt die Verteilung entlang der Kurve mit einem Gamma von 1.8. AdobeRGB verwendet ein Gamma von 2.2. Der sRGB-Farbraum folgt grundsätzlich ebenfalls einem Gamma von 2.2, jedoch nicht über den gesamten Helligkeitsverlauf. Das menschliche Auge ist zwar für Helligkeitsunterschiede bei dunklen Objekten sensibler, andererseits liefern Filme und digitale Lichtsensoren in diesem Bereich mehr Rauschen als echte Information. Aus diesem Grund hatte man sich dafür entschieden, im untersten Bereich einem etwa linearen Verlauf zu folgen und erst bei etwas mehr Licht ein Gamma von 2.2 anzuwenden. Man kann diesen Unterschied sehr deutlich erkennen, wenn man einem Bild mit einem Graukeil einmal das Farbprofil „sRGB“ und ein weiteres Mal das Farbprofil „AdobeRGB“ zuweist. Wichtig! Zuweisen und nicht Umwandeln! Nach Zuweisung des sRGB-Farbraumes erscheinen die dunkelsten Felder heller als beim AdobeRGB-Farbraum.

Obige Abbildung zeigt zwei mal Grauabstufungen mit exakt denselben RGB-Werten. Oben wurde der sRGB-Farbraum zugewiesen, unten der AdobeRGB-Farbraum. Zumindest beim zweiten und dritten Feld von rechts ist ein Unterschied zu erkennen. Hier zeigt sich, dass sRGB für die dunkelsten Regionen weniger Helligkeitswerte zur Verfügung stellt, als AdobeRGB.

Sollte dieser Unterschied hier in der PDF-Datei nicht zu erkennen sein, sollte man dieses Experiment in Photoshop bzw. dem jeweils bevorzugten Bearbeitungsprogramm nachvollziehen. Denn ist auch da kein Unterschied zu sehen, dürfte der Monitor sehr wahrscheinlich nicht korrekt kalibriert sein.

Unter folgenden Links können Bilddateien mit Grauabstufungen heruntergeladen werden:

Graustufen - LAB Farbraum - Hierbei handelt es sich um eine 16-Bit Bilddatei im LAB-Farbraum

Graustufen - RGB ohne Farbmanagement - Dies ist eine 8-Bit RGB-Bilddatei ohne Zuweisung eines Farbraumes.

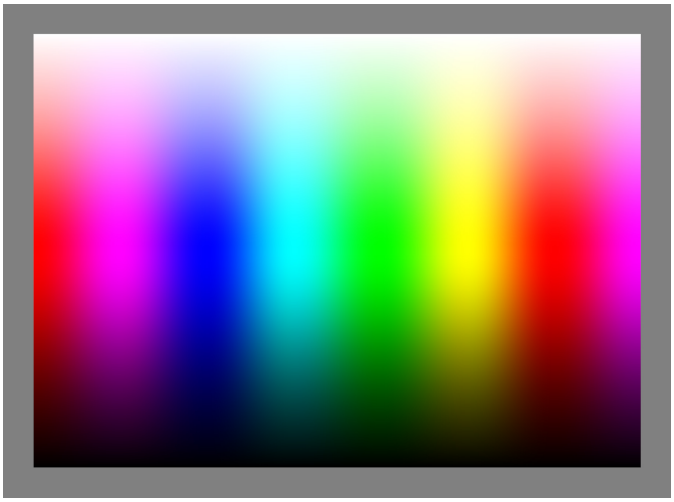
Farbraumumwandlung - Perzeptiv oder Relativ Farbmetrisch?

Spätestens, wenn es darum geht, ein Bild selbst auszudrucken oder zu prüfen, wie ein Druck aus dem Labor in etwa aussehen wird, wird man mit der Farbraumumwandlung konfrontiert. Dabei steht man vor der Wahl: *Perzeptiv* oder *Relativ Farbmetrisch*?

Sind die Unterschiede zwischen Quell- und Zielfarbraum nur sehr gering, wird auch wenig Unterschied zwischen den beiden Methoden zu sehen sein. Sind die Unterschiede ziemlich groß, ist die Wahl von *perzeptiv* die bequemere. Es werden dabei zwar viele Farbbereiche verändert, jedoch bleibt der Gesamteindruck relativ stimmig - so zumindest die Theorie (mehr dazu weiter unten). Mit der Wahl *relativ farbmetrisch* läuft man leicht Gefahr, bei größeren Farbflächen jegliche Struktur zu eliminieren. Möchte man die Farben unter eigener Kontrolle passend in den Zielfarbraum wandeln, dann macht man letztendlich das, was *perzeptiv* versucht, zu automatisieren.

Ich persönlich verwende meist *relativ farbmetrisch* und versuche, Farbraumüberschreitungen durch sachte Helligkeitsänderungen in bestimmten Bereichen zu beseitigen - die meisten Farben der Natur lassen sich auf diese Weise ziemlich gut zähmen. Ob man dabei aufhellen oder abdunkeln muss, muss man ausprobieren. Drucker haben oft Probleme mit satten dunklen Farben, während Bildschirme eher zu helle, gesättigte Farben nicht mehr darstellen können. Es genügt auch manchmal eine sanft dosierte Änderung des Weißabgleiches, ohne das Bild nachteilig zu beeinflussen. Besonders muss man bei alldem darauf achten, dass keine harten Abrisse bei sanften Verläufen entstehen.

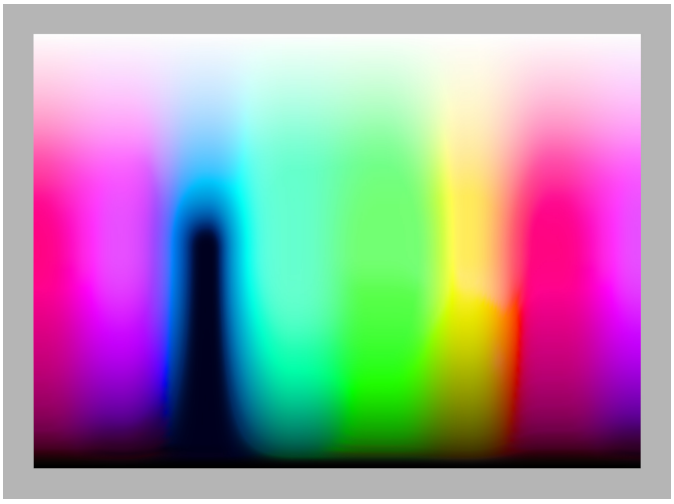
Für Umwandlungen von einem Farbraum in einen deutlich kleineren Farbraum, würde ich es immer sowohl perzeptiv, als auch relativ farbmetrisch versuchen. Das folgende, sehr unrealistische Extrembeispiel soll nur eines zeigen - nämlich, dass nicht eindeutig vorhersagbar ist, wie das Ergebnis mit der einen oder anderen Methode aussehen wird und welche Variante die bessere ist. Ich habe testweise ein Bild mit Farbverläufen auf beide Arten in ein anderes Farbprofil umgewandelt. Als Quelle hatte ich dieser Bilddatei den ProPhoto-Farbraum zugewiesen, sodass darin Farben mit extremer Sättigung enthalten waren, welche kein Bildschirm oder Drucker je darstellen könnte. Um sich hier dennoch eine Vorstellung davon machen zu können, zeige ich dieses Farbbild hier im sRGB-Farbraum:

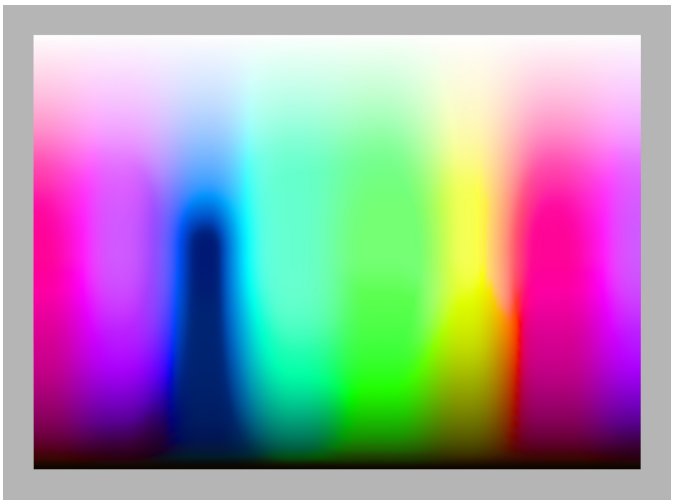


Als Zielfarbraum für dieses Testszenario habe ich den eines Tintendruckers gewählt.

Als Farbprofil verwendete ich das vom Hersteller mitgelieferte Farbprofil für *Ultra Glossy Photopapier*. Nun war ich gespannt, ob und wie sehr sich die beiden Methoden *perzeptiv* und *relativ farbmetrisch* voneinander unterscheiden werden.

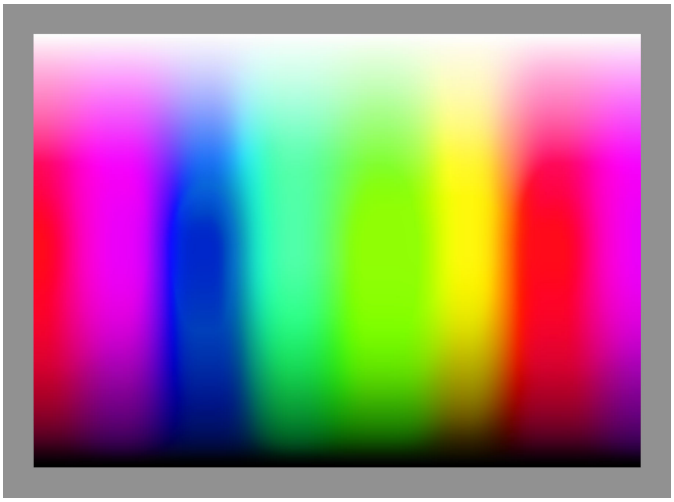
Hier die beiden Umwandlungen - oben perzeptiv, unten relativ farbmetrisch:





Es sind bei beiden Methoden Bereiche zu finden, wo ganz deutliche Abrisse im Farbverlauf entstanden sind. Was bei der perzeptiven Umwandlung auffällt: dunkle Blautöne wurden bis ins Schwarz verdrängt, vermutlich, um weit außerhalb liegende Blautöne im darstellbaren Bereich unterzubringen. Kurioserweise sind hier stärkere Abrisse zu sehen, als bei der relativ farbmetrischen Methode. Dafür verläuft der Übergang von gelb zu rot hier etwas sanfter. Unterm Strich: es sieht katastrophal aus und hat mit dem Original nicht mehr viel zu tun.

Dass sich das Erstellen eines eigenen Druckerprofils lohnen kann, zeigt folgende Abbildung. Wohlgemerkt: Die beiden oben gezeigten Umwandlungen vom riesigen ProPhoto-Farbraum in den Druckerfarbraum wurden mithilfe des vom Hersteller bereitgestellten Profils durchgeführt. Das unten gezeigte Ergebnis einer perzeptiven Umwandlung vom ProPhoto- in den Drucker/Papier-Farbraum wurde mit einem von mir selbst erzeugten Profil erstellt. Man kann klar erkennen, dass die Verläufe in fast allen Bereichen viel sanfter erfolgen, als dies bei Verwendung des Hersteller-Profils der Fall war. Zudem sieht es dem Ausgangsbild viel ähnlicher, bei den blauen Farbtönen besteht aber noch Verbesserungspotential. Die höhere Qualität des selbst erstellten Profils ist auch bei den Druckergebnissen je nach Motiv mehr oder weniger deutlich zu erkennen.



Um dieses „Experiment“ selbst nachvollziehen zu können, hier die erforderlichen Schritte:[8]

- *timage -s -x -r 300 -t farbspektrum.tif*
  Damit wird eine 16bit TIFF-Bilddatei in einer Auflösung von 300DPI mit dem dargestellten Farbspektrum erstellt. Stattdessen könnte man sich auch eines der vielen im Internet verfügbaren Testbilder herunterladen.
- Öffnen der TIFF-Bilddatei in Photoshop (oder einem ähnlichen Bildbearbeitungsprogramm). Da die Bilddatei kein eingebettetes RGB-Profil besitzt, fragt Photoshop, was man tun möchte. An dieser Stelle weist man mittels „Profil zuweisen:“ den ProPhoto-Farbraum zu. Es wird nun ein Farbspektrum angezeigt, welches die Darstellungsfähigkeiten des Monitors garantiert übersteigt.
- Nun kann man dieses Farbspektrum in einen anderen Farbraum umwandeln. In Photoshop geschieht das über den Menüpunkt *Bearbeiten -> In Profil umwandeln ...*

[8] Man benötigt das Programm *timage*, welches Teil des kostenlos verfügbaren Softwarepakets Argyll Color Management System ist

Bei Quellfarbraum müsste *ProPhoto RGB* erscheinen. Als Zielfarbraum wählt man ein Profil, welches man testen möchte. In meinem Fall habe ich das von mir selbst erstellte Farbprofil gewählt, welches den Farbraum von meinem Tintendrucker auf Baryta-Fotopapier beschreibt. Bei *Priorität* wählt man die gewünschte Konvertierungsmethode - üblicherweise *Perzeptiv* oder *Relativ farbmetrisch*. [9]

- Da es sein kann, dass der gewählte Zielfarbraum größer ist, als der des verwendeten Monitors, wird nun das sRGB-Profil (bei Verwendung eines Wide-Gamut Monitors kann man auch AdobeRGB wählen) **zugewiesen**(!). Die nun dargestellten Farben stimmen zwar nicht mehr mit den wahren Farben überein, aber man kann dennoch recht gut beurteilen, ob das Farbprofil schöne, sanfte oder aber abrupte Verläufe produziert, welche ein Bild u.U. ruinieren können.

[9] Bei dem von mir erstellten Farbprofil ist *Perzeptiv* ganz klar die bessere Wahl. Die Übergänge sind viel sanfter als bei *Relativ farbmetrisch* - so, wie man's auch erwarten würde, wenn der Quellfarbraum sehr viel größer ist als der Zielfarbraum.