

Farbmanagement für Fotografen

Ernst Pisch

13. September 2024

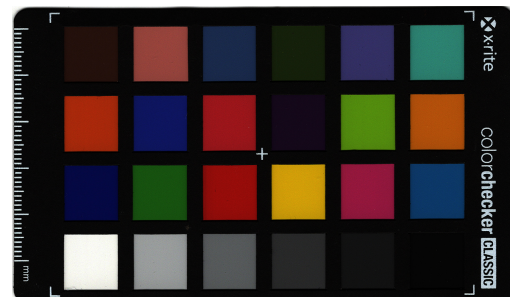
Weshalb Farbmanagement?

Die Fotografie wird schon seit den Anfängen sehr stark von ständig neuen Technologien geprägt. Zu Zeiten der analogen Filme waren es die chemischen Mixturen, welche ständig weiter entwickelt wurden, um immer noch bessere und realistischere Bilder produzieren zu können. Heute, im Zeitalter der Digitalisierung, sind es Elektronik und Software, welche den Unterschied ausmachen. Beim letzten Schritt, dem Druck eines Bildes auf Papier, wird man aber auch heute noch zurückgeholt in die reale, analoge Welt.

Solange man sich im rein digitalen Bereich bewegt, entsteht ein Gefühl, als wäre alles zu einhundert Prozent exakt definiert und vorhersehbar. Je nach betriebenem Aufwand mag das vielleicht auch zutreffen. Aber überall dort, wo die digitale und die analoge Welt aufeinander treffen, lauern Fehlerquellen. Am Weg von der Erfassung eines Bildes mittels Kamera oder Scanner bis hin zur Präsentation auf Bildschirm, Leinwand, Papier oder welchem Medium auch immer, sind viele Geräte beteiligt und jedes dieser Geräte hat individuelle Eigenschaften, was den Umgang mit Farbe betrifft. Jeder Scanner, jede Kamera liefert für ein und dieselbe Farbe mehr oder weniger unterschiedliche Zahlenwerte. Dasselbe gilt bei der Ausgabe der Bilder am Ende der Bearbeitungskette. Ein und derselbe Zahlenwert führt zu unterschiedlichen Farben.

Sensoren liefern konkrete Zahlenwerte. Je nach Anzahl der verfügbaren Bits stehen mehr oder weniger Zahlen zur Verfügung, um das, was der Sensor gemessen hat, zu repräsentieren. Um diese fixe Anzahl an Werten optimal nutzen zu können, sind Hersteller bestrebt, diese an die individuellen Fähigkeiten der Geräte anzupassen. Und genau das führt dazu, dass die von den Geräten gelieferten Zahlenwerte alleine noch nichts darüber aussagen, welcher Farbe oder Helligkeit diese entsprechen.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen sehr deutlich, wie unterschiedlich dasselbe Motiv - in diesem Falle eine Farbtafel - von zwei verschiedenen Geräte (links eine Kamera, rechts ein Flachbettscanner) in Zahlenwerte umgewandelt wird.



Weshalb Farbmanagement?

Erst durch den Einsatz eines Farbmanagements erhalten die von den Geräten gelieferten Bilddaten das korrekte Aussehen:



Dass uns all die Geräte wie Handy, Spiegelreflexkamera, Scanner usw. korrekt aussehende Bilder liefern, liegt nur daran, dass diese bereits ein Farbmanagement fix integriert haben. Als Fotografen wollen wir uns aber nicht nur blind darauf verlassen. Im Zuge einer Bildbearbeitung wird man als Fotograf ja Teil dieser Bearbeitungskette und muss deshalb auch verstehen wo man eventuell selbst zur Fehlerquelle werden könnte, sodass am Ende nicht jenes Bild entsteht, welches man erwartet hatte.

Farbräume

Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Farbmanagement ist eine Datenbasis, welche Farben exakt beschreibt - und zwar unabhängig von irgendwelchen Geräten. Diese Vorarbeit wurde bereits im Jahr 1931 von der *Internationalen Beleuchtungskommission* (**Commission Internationale de l'Eclairage**) in Form des **CIE XYZ** Farbraumes geschaffen. Darin sind alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben in Form eines dreidimensionalen Koordinatensystems erfasst. Später wurden ähnliche Arbeiten wiederholt, woraus der **CIE LAB** Farbraum entstand. Vorteil des LAB-Farbraumes gegenüber dem XYZ-Farbraum ist, dass dieser die menschliche Wahrnehmung von Farbunterschieden besser repräsentiert. Jedoch ergänzen sich diese beiden Farbräume und bilden deshalb bis heute alle beide die Basis des Farbmanagements. XYZ-Koordinaten lassen sich in LAB-Koordinaten umrechnen und umgekehrt.

CIE XYZ und CIE LAB bilden somit eine Referenz, worauf man sich beziehen kann und worauf die Farbräume von jedem beliebigen Gerät abgebildet werden können. Man hat damit ein Werkzeug zur Hand, womit Zahlenwerte von einem Gerät so umgerechnet werden können, damit diese auf einem anderen Gerät derselben Farbe entsprechen.

CIE XYZ und CIE LAB werden als Geräteunabhängige Farbräume bezeichnet und dienen als sogenannter *Profile Connection Space* (PCS), da sie die Verbindung zur Umrechnung zwischen verschiedenen Gerätefarbräumen herstellen.

Farbprofile

Wie wir inzwischen wissen, liefert jedes Gerät individuelle Zahlenwerte für dieselbe Farbe bzw. erzeugt aus Zahlenwerte individuell unterschiedliche Farben. Mit anderen Worten: Jedes Gerät hat einen ganz spezifischen Farbumfang und sowohl Größe als auch die Form dessen Farbraumes unterscheidet sich von anderen Farbräumen.

Für die korrekte Zuordnung zu den Koordinaten eines der beiden „Referenz“-Farbräume CIE-XYZ oder CIE-LAB, benötigt man sogenannte Farbprofile. Die Farbprofile sind somit eine mathematische Beschreibung von Farbräumen. Erst diese Farbprofile ermöglichen die Zuordnung der Zahlenwerte zu klar definierten Farben. Ihre Existenz ist deshalb von zentraler Bedeutung für das Farbmanagement. Aus diesem Grund werden Farbprofile üblicherweise in die Bilddateien mit eingebettet. Erhält man eine Bilddatei, bekommen die darin enthaltenen Zahlenwerte erst dann ihre richtige Bedeutung, wenn das dazu passende Farbprofil ebenfalls existiert.

Wird ein neues Gerät entwickelt, muss also immer ein dazu passendes Farbprofil erzeugt werden. Das geschieht je nach Gerätetype etwas unterschiedlich:

Farbräume

Bei Eingabegeräten, wie Scanner oder Kamera, wird eine Farbtabelle mit exakt bekannten Farben erfasst/fotografiert. Die Rohdaten des Gerätes werden dann von einer Software ausgewertet. Da die Sollwerte der Farben bekannt sind, kann für jedes Farbfeld der Bezug zum Referenzfarbraum (CIE XYZ oder CIE LAB) hergestellt und somit ein „Korrekturwert“ ermittelt werden. Aus all diesen Daten wird das Farbprofil erstellt, welches dann im Gerät selbst oder in einer Bearbeitungs-Software zum Einsatz kommen kann.

Bei Ausgabegeräten wie z.B. Drucker oder Bildschirmen, werden Farbflächen mit unterschiedlichen Zahlenwerten ausgegeben. Die dadurch entstehenden Farben werden von einem Messgerät erfasst und von einer Software ausgewertet. Durch die Zuordnung zum Referenzfarbraum (CIE XYZ oder CIE LAB) kann wiederum ein Farbprofil erstellt werden. Auch hier kann das erzeugte Farbprofil entweder im Gerät (z.B. Drucker) selbst oder in dessen Gerätetreiber bzw. sonstiger Software hinterlegt werden.

Durch die korrekte Anwendung dieser Farbprofile kann sichergestellt werden, dass die Farben vom Beginn der Verarbeitungskette bis zu deren Ende möglichst exakt erhalten bleiben.

Der häufig verwendete Begriff *ICC-Profil* bzw. *ICC-Farbprofil* rührt daher, dass es das *International Color Consortium (ICC)* ist, welches die Normen für Farbprofile festlegt.

Arbeitsfarbräume

Dank der Geräteprofile wurde es möglich, Farbtreue im gesamten Verlauf der Bildbearbeitung sicher zu stellen. Geräteprofile alleine sind jedoch noch nicht ganz ausreichend, um die nötigen Arbeitsabläufe, wie Verwaltung, Archivierung usw. zu standardisieren. Will man z.B. ein neues Buch mit Bildinhalten produzieren, muss man sich zunächst auf einen Farbraum festlegen, der für dieses neue Werk gelten soll. Die Wahl irgendeines existierenden Gerätefarbraumes wäre spätestens dann nicht mehr sinnvoll, wenn das Projekt für die weitere Bearbeitung an eine Firma oder Person in anderer Arbeitsumgebung übergeben werden soll. Die Lösung hierfür sind geräteunabhängige Arbeitsfarbräume, welche im Idealfall allen an der Verarbeitung Beteiligten vertraut sind.

Aus diesem Grund wurde in den 1990er Jahren von den beiden Firmen HP und Microsoft ein *Standard RGB Farbraum (sRGB)* geschaffen. Die Größe des sRGB-Farbraumes wurde so gewählt, dass der Farbumfang zum Großteil der Bildmotive und den Fähigkeiten der damaligen Drucker und Bildschirme passte. Da es sich um einen künstlich geschaffenen Farbraum handelte, konnte man die Beziehung zum CIE XYZ Farbraum mittels sehr weniger mathematischer Parameter beschreiben. Farbprofile, deren Bezug zum PCS (Profile Connection Space, in diesem Fall CIE XYZ) auf so einfache Weise beschrieben wird, nennt man *Matrix-Profile*.¹ Diese sind im Vergleich zu Geräteprofilen sehr viel kleiner, da Geräteprofile meist auf komplexere Weise beschrieben werden müssen. Insbesondere Druckerprofile erfordern mehr als ein einfaches Matrix-Profil. Dafür werden üblicherweise sogenannte *LUT-Profile* verwendet. LUT steht für **Lookup**

¹ Ab Seite 35 mehr Details zu Farbprofilen zu finden.

Table. Das sind Tabellen mit einer Vielzahl an Messpunkten verschiedener Farbwerte. LUT-Profile haben oft eine Größe von ein bis zwei Megabytes.

sRGB ist ein relativ kleiner Farbraum. Hochwertige Druckmaschinen waren bereits in den 1990ern in der Lage, Farben zu drucken, welche im sRGB-Farbraum nicht darstellbar sind. Aus diesem Grund etablierte sich der etwas größere **AdobeRGB**-Farbraum im professionellen Umfeld der Bildbearbeitung.

Der noch wesentlich größere **ProPhoto**-RGB Farbraum wurde geschaffen, um einen Farbraum für „alle Eventualitäten“ zur Verfügung zu haben. Dieser Farbraum ist so groß, dass es kaum Geräte gibt, wofür dieser nicht ausreichend wäre.

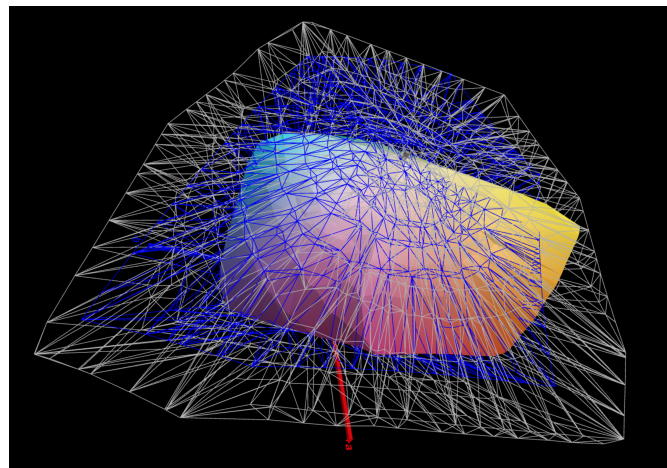
Inzwischen existieren viele weitere Arbeitsfarbräume. **eciRGB-v2** ist ein recht interessanter Farbraum, der insbesondere den Bedürfnissen der Drucker-Branche angepasst wurde. eciRGB-v2 verwendet eine der menschlichen Wahrnehmung besser angepasste Helligkeitskurve. Das verspricht einen geringeren Informationsverlust bei der Umwandlung in andere Farbräume.

Wahl des „richtigen“ Arbeitsfarbraums

Es existiert eine große Auswahl an Arbeitsfarbräumen mit zugehörigen Farbprofilen. Welches dieser Profile ist nun das ideale Profil?

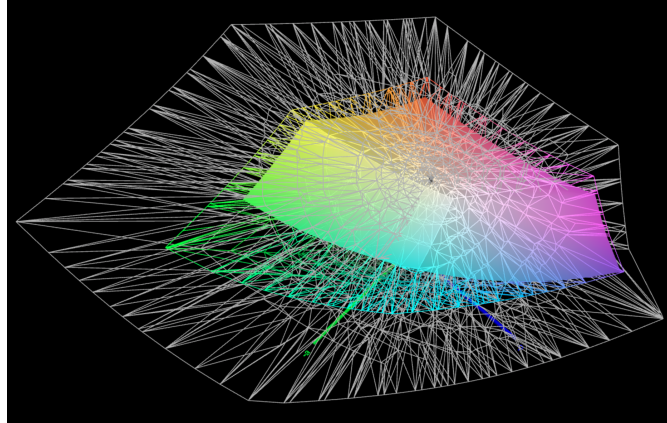
Man kann bereits ahnen: Gäbe es „den einen idealen Farbraum“, würde auch nur ein Farbprofil existieren. Die Frage lässt sich also nicht so ganz einfach beantworten.

Sehen wir uns zunächst ein paar unterschiedliche Gerätefarbräume an. Die folgende Grafik zeigt Farbräume von Kamera (weißes Netz), Bildschirm (blaues Netz) und Tintendrucker (bunter Körper) in 3D-Darstellung.



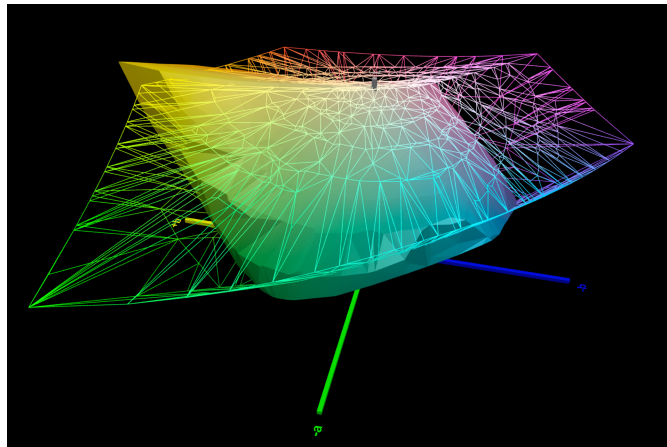
Die Größen der Arbeitsfarbräume unterscheiden sich - so wie die der Gerätefarbräume - teils erheblich. Die folgende Abbildung zeigt ProPhoto- (größter Farbraum), AdobeRGB- und sRGB-Farbraum (kleinster Farbraum).

Farbräume



ProPhoto hat etwas mehr als das dreifache Volumen des sRGB-Farbraumes.

Zum Vergleich zwischen Geräte- und Arbeitsfarbraum zeige ich nun noch in der folgenden Abbildung den AdobeRGB-Farbraum (buntes Netz) und den Farbraum eines Tintendruckers (Epson XP-960 auf Hochglanz-Photopapier).



Wie zu erkennen ist, überschreitet das Volumen des AdobeRGB-Farbraums jenen des Druckers zwar bei weitem, aber trotzdem existieren Farben, welche vom Drucker zu Papier gebracht werden können, im AdobeRGB-Farbraum aber nicht darstellbar sind.

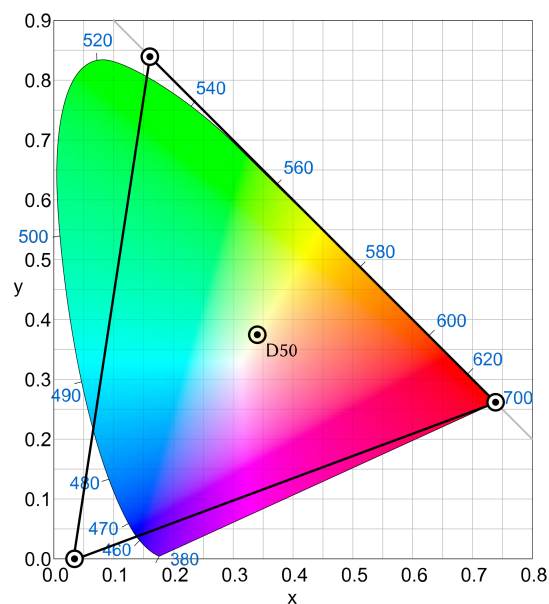
Die logische Schlussfolgerung wäre demnach, dass von den drei häufigsten Arbeitsfarbräumen sRGB, AdobeRGB und ProPhoto, letzterer die beste Wahl wäre. ProPhoto deckt die Farbräume so gut wie aller Geräte ab. Das ist grundsätzlich eine richtige Entscheidung. Jedoch bringt die Wahl dieses riesengroßen Farbraumes auch einen Nachteil mit sich.

Wie schon zu Anfang angedeutet, stehen in der digitalen Welt nur eine gewisse Anzahl von ganz konkreten Zahlenwerten zur Verfügung. Wie viele das sind, hängt vom Format der Datenspeicherung ab. JPEG ist das am häufigsten verwendete Dateiformat, welches zur Speicherung von Bilddateien verwendet wird. JPEG kann Farbdaten nur mit 8-Bit Zahlen speichern. Das bedeutet, dass je Farbkanal (Rot, Grün und Blau) nur

Farbräume

jeweils 256 Zahlen zur Verfügung stehen. Vom dunkelsten bis zum intensivsten Rot stehen also die Zahlen von 0 bis 255 zur Verfügung. Es sind nur Ganzzahlen möglich, keine Kommazahlenwerte. Ein kontinuierlicher, stufenloser Übergang ist auf diese Weise nicht beschreibbar. Wie man aus Erfahrung weiß, ist das auch selten nötig. Manchmal jedoch begegnet man Bildern, bei denen anstatt von zarten Farbübergängen mehr oder weniger breite Bänder sichtbar sind. Die Ursache dafür liegt bei der stufenweisen Farbbeschreibung in ganzen Zahlen.

Jeder Farbraum, ob groß oder klein, muss mit derselben Anzahl von Zahlenwerten das Auslangen finden. ProPhoto ist zwar ein riesengroßer Farbraum mit enormem Farbumfang, hat aber nur exakt gleich viele Zahlen zur Verfügung, wie der kleine sRGB-Farbraum. Folgende Abbildung zeigt den ProPhoto-Farbraum im Vergleich zum CIE XYZ Farbraum (also jener Farbraum, der alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben beschreibt).



Der bunte Bereich umfasst die vom Menschen wahrnehmbaren Farben. Das Dreieck stellt den ProPhoto-Farbraum dar. Man kann erkennen, dass die Maximalwerte der Farben Grün und Blau außerhalb des CIE XYZ Farbraumes liegen. Das bedeutet, dass einige Zahlenwerte des ProPhoto-Farbraumes keinerlei Nutzen bringen, da sie für den Menschen nicht sichtbare bzw. nicht mehr voneinander unterscheidbare Farben beschreiben. Damit geht aber eine gewisse Anzahl an Zahlenwerten verloren. In ungünstigen Fällen kann das dazu führen, dass für feine Farbübergänge zu wenig Zahlen übrig bleiben, um Abstufungen so gering zu halten, dass sie nicht als Stufen erkannt werden. Je kleiner der Farbraum, desto dichter sitzen die definierbaren Farben beisammen und desto geringer ist das Risiko, dass Farbbänder entstehen.

Um diesem Problem auszuweichen, kann man Bilddateien mit 16 Bit anstatt mit nur 8 Bit je Farbkanal speichern. Dann stehen für jeden Farbkanal (Rot, Grün und Blau)

Farbräume

jeweils $256 \cdot 256 = 65536$ Zahlenwerte zur Verfügung. JPEG eignet sich dafür aber leider nicht und man muss deshalb auf andere Dateiformate zurückgreifen, welche bei weitem nicht so effizient komprimieren. Eine 16bit-TIFF-Datei benötigt den rund zehnfachen Speicherplatz von JPEG-Dateien. Das PNG-Format unterstützt zwar Komprimierung von 16bit-Dateien, dessen Dateien sind aber dennoch um ein Vielfaches größer als JPEG-Dateien und die Komprimierung nimmt extrem viel Zeit und Prozessorleistung in Anspruch.

Das ideale Arbeitsprofil wäre jenes, welches möglichst klein, aber gerade groß genug ist, um den Bildinhalt darstellen zu können. Das jeweilige Geräteprofil würde exakt diese Anforderungen erfüllen, erweist sich aber nicht als nützlich, wenn es darum geht, Bilder in Standardprozessen zu verarbeiten und zu archivieren.

An dieser Stelle möchte ich nochmals auf den kleinen sRGB-Farbraum zurückkommen. Nachdem sich sRGB als Standard-Farbraum durchgesetzt hatte, war es nicht mehr überall erforderlich, dessen Farbprofil in die Bilddatei mit einzubinden. Es gilt bis heute, dass Bilddateien, welche ohne Farbprofil geliefert werden, automatisch als sRGB-Bilder interpretiert werden.² Beim Hochladen ins Internet werden Farbprofile oft automatisch entfernt, sodass auch da nur sRGB als Farbraum sinnvoll ist. Zudem setzen viele Dienstleister voraus, dass Bilder im sRGB-Farbraum geliefert werden. sRGB ist also jener Farbraum, womit die geringsten Probleme zu erwarten sind - quasi ein „Sorglospaket“. sRGB-Dateien werden von den meisten Geräten (einigermaßen) korrekt dargestellt und auch Programme, welche „keine Ahnung“ von Farbmanagement haben, liefern mit sRGB die besten Ergebnisse. Wer von sRGB abweicht, sollte also wissen warum er das tut und muss eventuell mit Mehraufwand rechnen. Dafür kann man aber mit exakterer Farbwiedergabe belohnt werden.

Möchte man ein Foto selbst drucken oder bei einem Dienstleister ausarbeiten lassen, der für seine Ausgabemedien Farbprofile (ICC Farbprofile) liefert, dann hat man die Möglichkeit festzustellen, welcher Farbraum passend ist. Das ist mittels *Gamut Warnung* und *Softproof* möglich - diese Funktionen werden später noch im Detail besprochen.

Für welchen Arbeitsfarbraum man sich letztendlich entscheidet, hängt somit von mehreren Kriterien ab:

- Speicherplatz spielt keine Rolle - ProPhoto kann ideal sein, da Bildinformationen bestmöglich erhalten bleiben; dringend zu empfehlen ist jedoch eine Speicherung der Daten mit 16 Bit anstatt mit nur 8 Bit
- Man weiß nicht, wo und wie das Bild präsentiert wird - sRGB ist dann die beste Wahl (vor allem im Internet)
- Man kennt das Zielmedium - Wahl des Arbeitsfarbraumes, welches diesem Ziel am nächsten kommt (AdobeRGB, eciRGB, ... oft auch sRGB)

²Bei manchen Softwareprodukten wie z.B. Photoshop kann das Verhalten bei fehlenden Profilen konfiguriert werden.

Ich persönlich behalte mir von allen Fotos, welche ich wertvoll finde, deren RAW-Datei. Darin sind alle Bildinformation enthalten. Komprimierte RAW-Dateien sind meist kleiner, als es eine 16bit-TIFF-Datei wäre. Nach Möglichkeit versuche ich die komplette Bildbearbeitung im RAW-Konverter zu erledigen. Gelingt mir das, kann ich das Foto jederzeit im gewünschten Farbraum exportieren und muss keinen Platz für eine zusätzliche 16bit-Datei verschwenden. Musste sehr viel Zeit und Arbeit außerhalb des RAW-Konverters investiert werden (z.B. Retusche, Fokus-Stack, Panorama-Stitching, Schwarzweiß-Konvertierung etc.), dann behalte ich mir eine 16bit-Datei. Bei Fokus-Stacks mit sehr vielen Einzelbildern kommt es auch vor, dass ich auf die RAW-Dateien verzichte und diese lösche. Dann behalte ich mir ebenfalls eine 16bit TIFF- oder DNG-Datei.³

Es gäbe bereits neuere Dateiformate, welche ähnlich gut oder sogar noch besser als das herkömmliche JPEG-Format komprimieren und zudem auch noch die Speicherung mit 16 Bit erlauben - wenn gewünscht, auch mit verlustfreier Komprimierung. Leider sind diese Dateiformate noch viel zu wenig verbreitet. JPEG XL wäre ein solches Format. Aktuell wird es aber nur von sehr wenigen Programmen unterstützt und man kann derzeit noch nicht abschätzen ob dieses Format zukünftig überhaupt bestehen bleibt. JPEG2000 hätte bereits ein besserer Nachfolger von JPEG sein sollen, konnte sich jedoch nie durchsetzen. Solange das „quelloffene und lizenzgebührenfreie“ JPEG XL Format den Interessen der großen Internet- und Software-Konzerne im Wege steht, wird das Überleben auch für dieses Format sehr schwer sein.

Eigenschaften von Arbeitsprofilen

Abgesehen von den unterschiedlichen Größen der Farbräume, können sie sich auch bei weiteren Merkmalen voneinander unterscheiden. Neben den RGB-Eckpunkten der Arbeitsfarbräume sind im Profil noch Schwarz- und Weißpunkt, sowie die Kurven für den Helligkeitsverlauf hinterlegt. In der Fachliteratur werden diese Kurven **Tone Reproduction Curve (TRC)** genannt. Sie bestimmen die Verteilung der verfügbaren Zahlenwerte über den gesamten Helligkeitsverlauf. Je nach Kurve stehen z.B. für die dunklen Tonwerte mehr oder weniger Zahlenwerte zur Verfügung. Bei Geräteprofilen werden diese Kurven üblicherweise nicht durch mathematische Kurven beschrieben, sondern durch eine Vielzahl an konkreten Messpunkten. Bei Arbeitsprofilen kann diese Kurve oft durch einen einzelnen Zahlenwert ($\gamma = \text{Gamma}$) definiert werden.⁴

AdobeRGB verwendet eine Kurve mit dem Gammawert $\gamma = 2,2$. Die Kurve des sRGB-Farbraumes verläuft grundsätzlich gleich, allerdings weicht sie in den Schattenbereichen davon etwas ab. ProPhoto verwendet den davon stark abweichenden Gammawert von $\gamma = 1,8$.

³Meiner Erfahrung nach kann es bei der Verwendung von Programmen, welche nicht von Adobe stammen, Probleme bei der Bearbeitung von DNG-Dateien geben. Man sollte das deshalb vorher unbedingt testen!

⁴Details zu Gammakurven sind im Anhang ab Seite 37 zu finden.

Farbräume

Ein niedriger Gammawert hat zur Folge, dass für Schattenbereiche weniger Zahlenwerte zur Verfügung stehen, dafür aber mehr für die helleren Töne.

eciRGB verwendet ebenfalls eine Tone Reproduction Curve. Diese wird jedoch nicht durch eine Gammakurve beschrieben, sondern verwendet den Helligkeitsverlauf des LAB-Farbraumes. Diese entspricht der menschlichen Wahrnehmung am besten. Das ist also eine Kurve, welche sich nach menschlicher Wahrnehmung linear verhält. In der Fachliteratur findet man diese Kurve unter der Bezeichnung L^* .

Die folgende Abbildung zeigt die Verläufe der drei Arbeitsfarbräume sRGB, AdobeRGB und ProPhoto.



Die Darstellung zeigt deutlich, dass der kleinere Gammawert des ProPhoto-Farbraumes dazu führt, dass der Großteil der Zahlenwerte für hellere Bereiche reserviert ist. AdobeRGB und sRGB unterscheiden sich lediglich bei den dunkleren Bereichen voneinander.⁵

Bei der Umwandlung von Farbräumen werden diese unterschiedlichen Helligkeitsverläufe Dank der mathematischen Algorithmen des Farbmanagements automatisch korrekt behandelt. Bei der Bildbearbeitung machen sich diese Unterschiede jedoch manchmal mehr oder weniger stark bemerkbar. Beim folgenden Bildbeispiel habe ich dasselbe Bild einmal im AdobeRGB- und im ProPhoto-Farbraum exakt identisch bearbeitet. Und zwar habe ich einfach die Funktion „Auto-Farbe“ von Photoshop angewandt.



⁵Unter folgenden Links können Bilddateien mit Graustufen 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 Farbprofils.

Farbräume

Vor der Bearbeitung mit „Auto-Farbe“ sahen beide Bilder exakt gleich aus, danach sind deutliche Unterschiede feststellbar - links AdobeRGB, rechts ProPhoto. Ähnlich unterschiedliches Verhalten zeigt sich auch bei der Anwendung von Gradationskurven oder sogar bei der Umwandlung in ein Schwarzweiß-Bild.

Besonders darauf achten muss man dann, wenn man Vorlagen oder selbst erstellte Photoshop-Aktionen (oder ähnliches) verwendet. Das Ergebnis kann je nach vorhandenem Farbraum unterschiedlich aussehen!

Farbraumumwandlung

Im Verlauf der Bearbeitungskette eines Fotos müssen Farbräume mehrmals geändert werden. Dem rohen Bild des Kamera- bzw. Scanner-Sensors muss mittels Geräteprofil der Bezug zu den korrekten Farben zugewiesen werden, während der Bildbearbeitung muss das Bild mittels Bildschirmprofil korrekt am Bildschirm zur Anzeige gebracht werden und am Ende möchte man das Foto in korrekten Farben auf Papier drucken. Dabei sind ein Menge Vorgänge beteiligt, welche leicht zur Fehlerquelle werden können.

Umwandlung vs. Zuweisung

Das folgende Bild zeigt eine bunte Blumenwiese. Dieses Foto wurde im sRGB-Farbraum abgespeichert und wird nun auch unter Berücksichtigung des sRGB-Farbprofils korrekt dargestellt:



Nun sehen wir uns die beiden folgenden Darstellungen desselben Fotos noch einmal an.

Farbräume



Wir sehen deutliche Unterschiede im Vergleich zum ursprünglichen Bild. Das linke Bild wirkt flau und etwas zu dunkel. Beim rechten Bild sind hingegen die Farben übertrieben kräftig und unnatürlich. - Was ist passiert?

Zunächst zum linken Bild:

Hier wurde das ursprüngliche Bild vom sRGB- in den ProPhoto-Farbraum umgewandelt. Nach dieser Umwandlung sah das Bild noch völlig korrekt aus. Dann allerdings habe ich dieses Bild ohne Farbprofil gespeichert. Das führt dazu, dass das Bild so interpretiert wird, als handle es sich um ein sRGB-Bild. Das also sind die Folgen, wenn ein eingebettetes Farbprofil fehlt oder nicht berücksichtigt wird. Beim Hochladen eines Bildes ins Internet werden Farbprofile von manchen Dienstleistern entfernt (wahrscheinlich, um Platz zu sparen). Manche Programme können mit eingebetteten Farbprofilen nicht umgehen bzw. ignorieren diese. Einige Druckdienst-Anbieter verlangen, dass die Bilddateien im sRGB-Farbraum geliefert werden. Hält man sich nicht daran, kann das Ergebnis ebenfalls so oder ähnlich aussehen.

Nun zum rechten Bild:

Hier ist genau das Gegenteil passiert. Die Bilddatei lag im sRGB-Farbraum vor, aber sie wurde so interpretiert, als wäre es ein ProPhoto-Bild. Genau das passiert, wenn einem Bild ein *Farbprofil zugewiesen* wird, anstatt es in ein Profil umzuwandeln. Da es sich bei sRGB um einen kleinen Farbraum handelt, sind die Farben trotz großer Zahlenwerte nur mäßig intensiv. Die großen Zahlenwerte befinden sich immer nah an der Außenhaut des jeweiligen Farbraumes. Das Zuweisen eines Farbprofils ändert die Zahlenwerte nicht! Dieselben Zahlenwerte beschreiben jedoch in einem großen Farbraum wiederum jene Farben nahe dessen Außenhaut. Und bei einem großen Farbraum sind dies sehr gesättigte Farben.

Es ist äußerst wichtig, den Unterschied zwischen „Profil zuweisen“ und „In Profil umwandeln“ zu verstehen!

Folgendes Experiment soll dieses Verständnis weiter festigen.

Wir öffnen das Bildbearbeitungsprogramm (hier beschrieben für Photoshop). Darin erstellen wir eine neue Bilddatei (Datei -> Neu...). Je nach Voreinstellung wird automatisch ein Farbraum gewählt - bei mir war das in diesem Fall sRGB. Nun füllen wir die Fläche mit irgendeiner Farbe eigener Wahl. Ich habe die RGB-Werte 80/150/50 gewählt

Farbräume

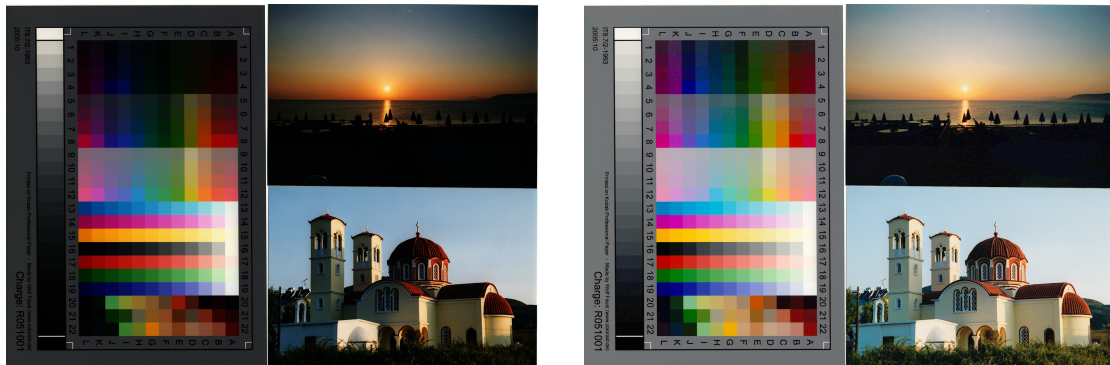
- das ergibt einen Grünton. Wenn wir nun dieses Bild in einen anderen Farbraum umwandeln (Bearbeiten -> In Profil umwandeln ...), bleibt die Farbe unverändert.⁶ Fährt man nun mit der Maus über die Farbfläche, kann man im Info-Feld die zugehörigen RGB-Werte ablesen und wird feststellen, dass sich diese geändert haben. Das Umwandeln in einen anderen Farbraum erhält das Aussehen der Farben nach Möglichkeit. Das führt jedoch zu einer Änderung der Zahlenwerte.

In Profil umwandeln	sRGB			AdobeRGB			ProPhoto-RGB		
	R = 80	G = 150	B = 50	R = 106	G = 149	B = 61	R = 88	G = 125	B = 56
Profil zuweisen	sRGB			AdobeRGB			ProPhoto-RGB		
	R = 80	G = 150	B = 50	R = 80	G = 150	B = 50	R = 80	G = 150	B = 50

Wählt man stattdessen Bearbeiten -> Profil zuweisen, bleiben die Zahlenwerte erhalten, aber die Farben ändern sich.

Im Zuge der Bildbearbeitung will man üblicherweise Farben möglichst originalgetreu erhalten und wird deshalb wahrscheinlich immer „Umwandeln“ wollen.

Das „Zuweisen“ verändert Farben, weshalb es für die Korrektur von Farben angewandt wird. Das geschieht im Zuge der Erstellung eines Farbprofils für ein Gerät. Eine nützliche Verwendung der Zuweisung eines Profils zeigt folgendes Beispiel.



Links sind die Rohdaten eines Scans zu sehen. Solange die Bilddatei kein Farbprofil enthält, existiert keine Zuordnung der Zahlenwerte zu den wahren Farben. Erst die

⁶Man sollte idealerweise mit sRGB starten, da dies der kleinste Farbraum ist. Startet man nämlich mit einer intensiven Farbe eines großen Farbraumes, kann diese eventuell nicht im kleineren Farbraum abgebildet werden und das Experiment würde misslingen.

Zuweisung des passenden Geräteprofils ermöglicht die korrekte Darstellung.

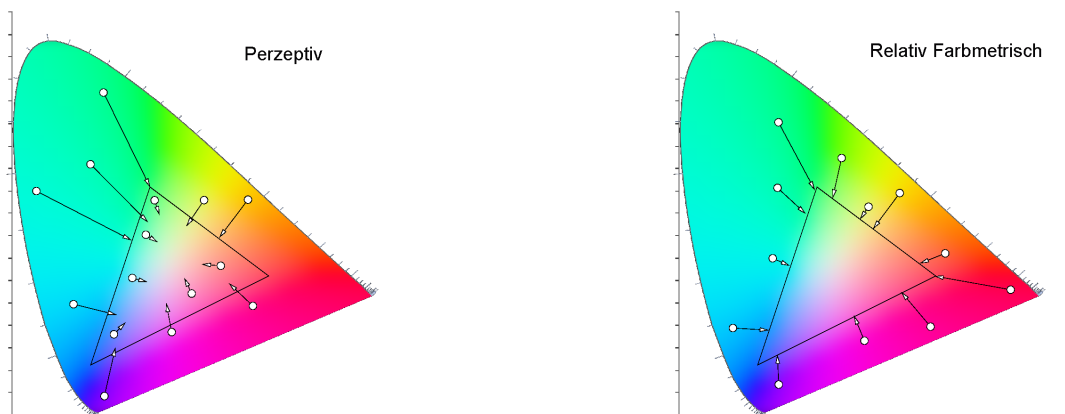
Die Zuweisung des passenden Profils erfolgt üblicherweise automatisch durch die Scan-Software. Manche Scanner-Programme erlauben es, eigene Farbprofile zu erstellen und anzuwenden. Damit kann man u.U. höhere Farbgenauigkeit erreichen, als das mit den mitgelieferten bzw. fix integrierten Farbprofilen möglich ist.⁷

Umwandlungsmethoden - Rendering Intents - Render Prioritäten

Vor allem bei Umwandlungen von einem größeren in einen kleineren Farbraum steht man vor dem Problem, was mit jenen Farben passieren soll, welche im Zielfarbraum nicht abgebildet werden können. Das ICC (International Color Consortium) beschreibt vier unterschiedliche Vorgangsweisen, um Bilddaten in einen anderen Farbraum umzuwandeln - jede davon verfolgt unterschiedliche Ziele.

Grundsätzlich lassen sich die Methoden in zwei Gruppen einteilen. Einerseits *Perzeptiv* und *Sättigung* und andererseits *Absolut Farbmetrisch* und *Relativ Farbmetrisch*. Der Unterschied lässt sich recht bildlich mit folgendem Vergleich darstellen:

Bekommt man die Aufgabe, einen Schwamm in einem zu kleinen Behälter aufzubewahren, stehen grundsätzlich zwei verschiedene Methoden zur Verfügung. Entweder man presst den Schwamm so zusammen, dass er im Behälter Platz hat, oder man schneidet alles weg, was zu groß ist. Das Zusammenpressen beschreibt die beiden Methoden Perzeptiv und Sättigung. Das Wegschneiden passiert bei den beiden farbmetrischen Methoden.



Wird die perzeptive Methode angewandt, werden alle Farben verschoben und verändern sich mehr oder weniger. Vorteil ist jedoch, dass auch dann noch farbliche Unterschiede zu erkennen sind (und damit auch noch Zeichnung erhalten bleibt), wenn größere Bildflächen im Zielfarbraum nicht mehr dargestellt werden könnten.

⁷SilverFast oder VueScan sind Beispiele derartiger Software. VueScan erlaubt allerdings nur Farbprofile, welche mit VueScan selbst erstellt wurden - ob dies auch für SilverFast zutrifft, weiß ich nicht. Da sich die Scans mit VueScan aber als Rohdaten speichern lassen, kann man qualitativ hochwertigere Farbprofile, welche mit anderen Mitteln erstellt wurden, z.B. in Photoshop zuweisen.

Farbräume

Bei den farbmtrischen Methoden werden alle außerhalb des Zielfarbraums liegenden Farben durch die ähnlichste Farbe ersetzt, welche der Zielfarbraum gerade noch darstellen kann. Dafür bleiben aber all jene Farben erhalten, welche sich ohnehin im Zielfarbraum befinden.

In der englischsprachigen Fachliteratur werden diese Umwandlungsmethoden *Rendering Intents* genannt. Im deutschsprachigen Umfeld spricht man meist von *Render Prioritäten*. Im Zusammenhang mit Fotobearbeitung werden meist nur *Perzeptiv* und *Relativ Farbmtrisch* verwendet. Die Methode *Sättigung* ist für Fotobearbeitung überhaupt nicht gedacht - die Priorität liegt dabei nämlich nicht bei maximaler Farbtreue, sondern es soll maximale Farbsättigung erreicht werden. Das ist zum Beispiel für die grafische Darstellungen von Statistikdaten interessant. Manche Programme, wie z.B. Photoshop, stellen alle vier Methoden zur Verfügung. Bei Lightroom z.B. hat man jedoch nur Perzeptiv und Relativ Farbmtrisch zur Auswahl.

Welche der beiden Varianten die Bessere ist, lässt sich nicht pauschal beantworten. Es hängt insbesondere davon ab, wie groß der Anteil von nicht im Zielfarbraum darstellbaren Farben in einem Bild ist. Sind keine Bildinhalte von einer allfälligen Beschneidung betroffen, ist Relativ Farbmtrisch mit hoher Wahrscheinlichkeit die bessere Wahl. Auch dann, wenn nur kleinflächige Bildteile den Zielfarbraum überschreiten, kann Relativ Farbmtrisch besser sein, da kleine Ausreißer vielleicht gar nicht auffallen.

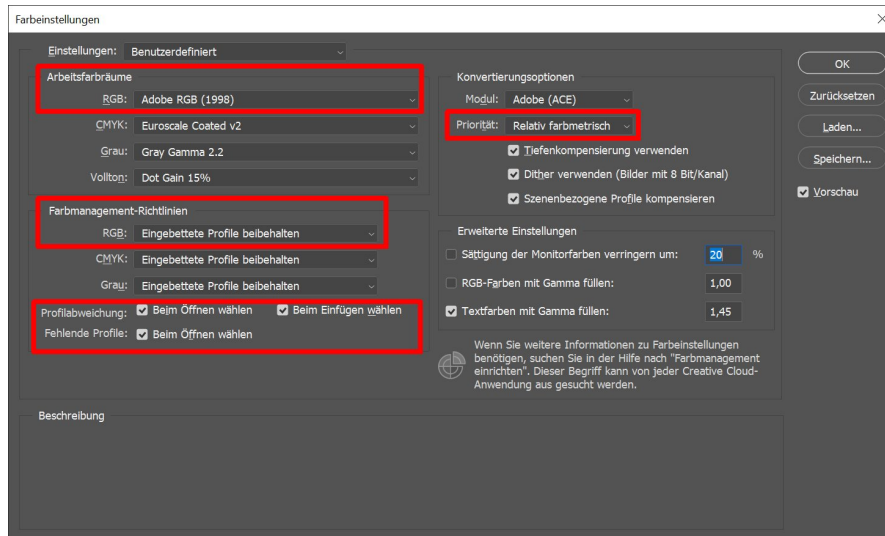
Bevor ich die Methoden anhand von Beispielen näher vorstelle, möchte ich auf etwas sehr Wichtiges hinweisen. Die Regeln, wie ein Bild in den Zielfarbraum umgewandelt wird, stecken immer im Profil! Es wird keinerlei Rücksicht auf den tatsächlichen Bildinhalt genommen! Egal, ob ein Bild Farbwerte außerhalb des Zielfarbraumes enthält oder auch nicht, die Umwandlung erfolgt immer auf dieselbe Art und Weise. Das hat zur Folge, dass die Render Priorität *Perzeptiv* auch dann alle Farben verändert, wenn der gesamte Bildinhalt im Zielfarbraum Platz hätte.

Damit eine perzeptive Umwandlung überhaupt möglich ist, muss im Profil eine Tabelle für perzeptive Umwandlung enthalten sein. Dies ist meist nur für Geräteprofile gegeben, da man hierfür ein sogenanntes LUT-Profil benötigt. Arbeitsprofile und auch Bildschirmprofile enthalten meist nur erforderliche Daten für farbmtrische Umwandlung.⁸ Leider weist Photoshop nicht darauf hin, sondern lässt die perzeptive Methode auch dann wählen, wenn nur die relativ farbmtrische Umwandlung möglich ist. Diese wird dann auch stillschweigend ausgeführt.

Welchen Arbeitsfarbraum und welche Render Priorität Photoshop standardmäßig verwendet, kann unter Bearbeiten -> Farbeinstellungen definiert werden.

⁸Siehe Details ab Seite 35

Farbräume



Die für Fotografen relevanten Einstellungen sind vor allem:

Arbeitsfarbräume Damit werden Farbräume definiert, welche beim Erzeugen eines neuen Dokuments standardmäßig verwendet werden sollen

RGB RGB-Farbräume sind jene Farbräume, womit man als Fotograf zu tun hat. Mehr zur Wahl des „richtigen“ Farbraumes auf Seite 6.

CMYK CMYK-Farbräume werden von Druckmaschinen verwendet. Als Fotograf wird man damit kaum in Berührung kommen, es sei denn, man beauftragt eine Druckerei und diese verlangt, dass Bilddateien im CMYK-Farbraum geliefert werden müssen. In diesem Fall kann diese die korrekte Einstellung nennen.

Grau Schwarzweiß-Bilder kann man in Farbräumen speichern, welche lediglich einen Helligkeitswert je Bildpunkt definieren. Farbbilder benötigen 3 Werte je Bildpunkt (für Rot, Grün und Blau). Damit lässt sich Speicherplatz sparen. Allerdings verbaut man sich damit die Möglichkeit, alle Photoshop-Funktionen verwenden zu können. Bildbearbeitungsprogramme setzen üblicherweise einen RGB-Farbraum voraus.

Vollton Für Fotografen vermutlich nicht relevant - dies hat mit dem Umgang von sogenannten Schmuckfarben bei Druckmaschinen zu tun

Farbmanagement-Richtlinien Damit wird bestimmt, ob in Bilddateien eingebettete Farbprofile beibehalten werden sollen (eine vernünftige Voreinstellung), oder das Bild in den oben festgelegten Arbeitsfarbraum umgewandelt werden soll. Die Umwandlung kann eventuell sinnvoll sein, man muss jedoch in Kauf nehmen, dass bei einer Farbraumänderung immer Bildinformationen

Farbräume

verloren gehen können. Die Einstellung „aus“ ist selten sinnvoll, weil die Bildbearbeitung dann ohne Berücksichtigung eines Farbprofils erfolgt und schwer abgeschätzt werden kann, wie das Ergebnis letztendlich aussehen wird.

Profilabweichung Stimmt das eingebettete Farbprofil einer soeben geöffneten Bilddatei nicht mit dem vorhin definierten Arbeitsprofil überein, kann man sich ein Auswahlfenster anzeigen lassen. Beim Einfügen eines Bildes in die aktuelle Arbeitsfläche wird das einzufügende Bild normalerweise automatisch in den verwendeten Farbraum umgewandelt. Auch hier kann man sich bei Abweichungen ein Auswahlfenster anzeigen lassen.

Fehlende Profile Die Option „Beim Öffnen wählen“ ist eine sinnvolle Standardeinstellung

Konvertierungsoptionen Auf Windows-Rechnern kann als Modul zwischen *Adobe (ACE)* und *Microsoft ICM* gewählt werden. Die Standardeinstellung *ACE* sollte man belassen.

Priorität Hier kann zwischen den vorhin besprochenen Render Prioritäten (Farbraum-Umwandlungsmethoden) gewählt werden. Für Fotografen sind die Methoden *Perzeptiv* oder *Relativ farbmetrisch* sinnvoll. Eine detailliertere Beschreibung dieser Methoden folgt weiter unten.

Tiefenkompression Ein Aktivieren dieser Option wirkt sich normalerweise nur für die Methode *Relativ Farbmetrisch* aus. Falls aktiv, werden dunkle Töne, welche am Zielmedium nicht darstellbar sind, nicht beschnitten, sondern der Schwarzpunkt wird an den Zielfarbraum angepasst. Bei der perzeptiven Methode passiert das unabhängig von dieser Einstellung.

Dither verwenden Bei Speicherung von Bildern mit sehr feinen Farbübergängen kann es zum Auftreten von Farbbändern kommen, da Farben nur in Ganzzahlenwerten gespeichert werden können und keine Zwischentöne möglich sind. Dies kann bei Speicherung der Bilddateien mit nur 8 Bit auftreten. Dithering fügt bei solch kritischen Bereichen, welche Zwischenwerte benötigen würden, ein „Rauschen“ mit andersfarbigen Bildpunkten ein, damit der Eindruck eines sanften Überganges entsteht.

Szenenbezogene Profile kompensieren Dies ist eine Einstellung im Zusammenhang mit Videobearbeitung - dazu fehlt mir jegliche Erfahrung

Erweiterte Einstellungen

Sättigung der Monitorfarben verringern Überschreitet eine Bilddatei den Farbumfang des Bildschirms, kann man die Sättigung verringern. Dadurch werden zwar die Farben entsättigt angezeigt,

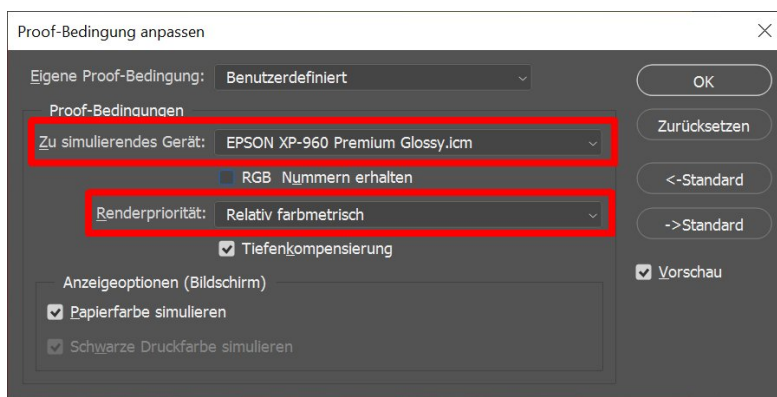
Farbräume

aber man kann wenigstens beurteilen, ob das Bild grundsätzlich in allen Bereichen Zeichnung hat.

RGB-Farben mit Gamma füllen Mir fehlt jegliche Erfahrung dazu - diese Option ist bei mir per Default deaktiviert

Textfarben mit Gamma füllen Mir fehlt jegliche Erfahrung dazu - diese Option ist bei mir per Default aktiviert und enthält den Wert 1,45

Softproof und Gamut- bzw. Farbumfang-Warnung Damit man beurteilen kann, welcher der „Rendering Intents“ das jeweils beste Ergebnis liefert, stellen Bildbearbeitungsprogramme üblicherweise Hilfsmittel zur Verfügung. Dabei handelt es sich einerseits um den sogenannten *Softproof* und andererseits um die *Gamut Warnung* bzw. *Farbumfang-Warnung*.



Mit Hilfe des Softproofs lässt sich am Bildschirm darstellen, wie ein Bild nach der Umwandlung in einen Zielfarbraum aussehen wird. Dazu benötigt man das Farbprofil des Zielfarbraumes. In Photoshop findet man diese Einstellung unter Ansicht -> Proof einrichten -> Benutzerdefiniert (siehe Abbildung oben). Hier wählt man sowohl das Farbprofil („Zu simulierendes Gerät“), wie auch eine der verschiedenen Render Prioritäten. Bei aktivierter *Vorschau*, wird die Darstellung sofort angepasst. Sobald diese Einstellung vorgenommen wurde, kann die Farbumfang-Warnung aktiviert werden (ebenfalls unter Ansicht). Diese zeigt dann jene Stellen im Bild farblich markiert an, welche im Zielfarbraum nicht dargestellt werden können. In welcher Farbe diese Bereiche markiert werden, kann unter Bearbeiten -> Voreinstellungen -> Transp./Farbumfang-Warnung gewählt werden.

Das folgende Beispiel zeigt eine praktische Anwendung der Farbumfang-Warnung. Die blaue Markierung zeigt alle Stellen im Bild, welche den Farbraum des Zielmediums deutlich überschreiten. Fast die gesamte rote Fläche der Mohnblüte ist davon betroffen.

Farbräume



Farbraumumwandlung in der Praxis Die folgende Auswahl an Bildern soll die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der verschiedenen Render Prioritäten (Umwandlungsmethoden) sichtbar machen.

Ich habe ganz bewusst ein Ausgabemedium gewählt, welches einen stark eingeschränkten Kontrastumfang hat. Einerseits, um die nötigen Voraussetzungen zu schaffen, dass sich die verschiedenen Methoden überhaupt voneinander unterscheiden und andererseits, um die unterschiedlichen Ergebnisse auch hier in diesem Dokument sichtbar machen zu können. Es handelt sich bei diesem Material um „Alu Dibond“, auch „Alu-Verbund“ genannt, welches sich gut für großformatige Wandbilder eignet. Durch die matte Oberfläche hat dieses Material allerdings die Eigenschaft, dass Schwarz nicht komplett schwarz und Weiß nicht komplett weiß dargestellt werden kann. Der Schwarzwert liegt bei einer gemessenen Luminanz von $L=25$ (anstatt 0) und das Weiß bei $L=90$ (anstatt 100).⁹

Falls man nicht selbst druckt, sondern Bilder, Fotobücher etc. nur bei Dienstleistern in Auftrag gibt, wird man keine Farbumwandlungen durchführen müssen. Gibt man Drucke in Auftrag, hat man üblicherweise auch keine Wahlmöglichkeit bzgl. Umwandlungsmethode. Dennoch kann es sehr hilfreich sein, das unterschiedliche Verhalten zu kennen und zu wissen, wie man das Aussehen im Softproof überprüfen kann. Gute Dienstleister stellen die Farbprofile aller angebotenen Druckmedien zur Verfügung und informieren darüber, welche Render Priorität beim Softproof eingestellt werden muss, um das zu erwartende Ergebnis prüfen zu können. Wer damit umgehen kann, hat die Möglichkeit, eventuell auf ein für das jeweilige Bild gefälligeres Ausgabemedium zu wechseln bzw. die Bildbearbeitung optimal für das gewählte Medium anzupassen.

Wer selbst druckt, hat den gesamten Prozess unter eigener Kontrolle. Dann sind Verständnis und Wissen über Farbmanagement von ganz besonderem Wert. Man kann

⁹Damit sind die Helligkeitswerte im LAB-Farbraum gemeint, welche von 0 bis 100 reichen. 0 entspricht komplettem Schwarz und 100 entspricht perfektem Weiß.

Farbräume



Man kann das unterschiedliche Verhalten dieser drei Methoden recht deutlich erkennen. Absolut-Farbmtrisch (Links) schneidet ohne Rücksicht auf Verluste alles ab, was nicht in den Zielfarbraum passt. Riesige Flächen wurden ersetzt durch den ähnlichsten Maximalwert, den der Zielfarbraum ermöglicht und dadurch geht sehr viel Zeichnung verloren.

Die Perzeptiv-Methode (Mitte) verändert die Farbintensität am stärksten. Dafür bleiben Zeichnung und Farbabstufungen aber ziemlich gut erhalten.

Das Resultat von Relativ-Farbmtrisch (Rechts) ist deutlich stärker gesättigt als das perzeptive Ergebnis, zeigt aber in manchen Bereichen etwas weniger Zeichnung. Meinem Geschmack nach finde ich es aber dennoch besser als die perzeptive Variante. Warum aber unterscheiden sich die beiden Methoden Absolut- und Relativ-Farbmtrisch so deutlich voneinander? Bei diesem Bild liegt es in erster Linie daran, dass sich die relativ farbmtrische Variante an den Weißpunkt des Zielmediums anpasst. Da die Oberfläche von Alu Dibond nicht das gesamte Licht reflektiert, kann kein perfektes Weiß dargestellt werden. Dasselbe gilt auch für das äußerst intensive Rot in diesem Bild. Dadurch aber, dass der Weißpunkt auf den etwas niedrigeren Wert dieses Mediums umgerechnet wird, können mehr Farben in den Zielfarbraum übernommen werden. Was selbst das noch überschreitet, wird bei Relativ Farbmtrisch jedoch ebenfalls abgeschnitten und durch die ähnlichste Farbe des neuen Farbraumes ersetzt.

Man ist jedoch nicht alleine auf diese Methoden angewiesen, um ein möglichst gutes Druckergebnis zu erreichen. Durch manuelle Reduktion von Sättigung und/oder Helligkeit lässt sich eventuell ein besseres Ergebnis erzielen, als es diese starren Algorithmen ausführen. Selbst hat man ja die Möglichkeit, ganz gezielt gewisse Bereiche eines Bildes zu bearbeiten. Das Ergebnis eines solchen Versuches ist hier zu sehen.

Farbräume



Das Bild ist zwar dunkler als alle anderen Varianten, dafür ist aber in allen Bereichen deutlich mehr Zeichnung erhalten geblieben. Ob das nun besser ist oder nicht, bleibt wohl Geschmackssache. Die Bearbeitung habe ich im Raw-Konverter bei aktivierter Softproof-Anzeige durchgeführt, um direkte Kontrolle zu haben. Zunächst wurde die Helligkeit der Rottöne insgesamt reduziert, dafür aber die Mitten etwas angehoben. Dadurch ging zwar im hellsten Rot wieder etwas Zeichnung verloren, aber es gelang mir, die Sättigung einigermaßen zu erhalten. Um das Ergebnis hier präsentieren zu können, habe ich das für den Druck vorbereitete Bild letztendlich als sRGB-Bilddatei exportiert (da es sich bei sRGB um ein Matrixprofil handelt, welches keine Daten für eine perzeptive Umwandlung zur Verfügung stellt, wurde Relativ Farbmtrisch angewandt). Bei diesem Vorgang kam es zu keinen nennenswerten Änderungen mehr, sodass hier wirklich das zu sehen ist, was meiner Vorstellung entspricht - vorausgesetzt, Sie betrachten diese Seiten mit einem Bildschirm, der den sRGB-Farbraum korrekt abbildet. Mit zusätzlichem Aufwand hätte man's vielleicht sogar noch weiter verbessern können - mir persönlich gefällt die manuelle Anpassung dennoch am besten.

Damit ich einigermaßen sicher sein kann, dass diese Ergebnisse hier auch von allen Betrachtern gleich wahrgenommen werden, musste ich die Ergebnisse anschließend alle in den sRGB-Farbraum umwandeln. Da die in diesen Ergebnissen enthaltenen Farben den sRGB-Farbraum nicht mehr überschreiten (nachdem sie auf den relativ kleinen Alu-Dibond Farbraum reduziert wurden), war dieser Schritt kein großes Problem mehr. Was man also hier sieht, stimmt ziemlich exakt mit den Softproofs in Photoshop überein.

Beispiel 2 - Helligkeitskontrast überschreitet Kontrastumfang des Zielmediums

Die folgende Bilddatei mit der Schneelandschaft bereitet selbst kleinen Arbeitsfarbräumen, wie sRGB keine Probleme. Keine der darin enthaltenen Farben ist so intensiv gesättigt, dass sie nicht in irgendeinem der üblichen Arbeitsfarbräume darstellbar wäre. Aber wie schon vorhin erwähnt, können Papiere oder sonstige Druckmaterialien nie das gesamte Licht reflektieren. Ein Teil wird immer absorbiert und reduziert dadurch das maximal mögliche Weiß. Ebenso ist keine Tinte so schwarz, dass nicht trotzdem etwas Licht reflektiert wird.

Dieses Bild eignet sich deshalb hervorragend, um das Verhalten der verschiedenen Methoden in Bezug auf Schwarz- und Weißpunkt zu untersuchen.

Die Abbildungen zeigen die Umwandlungsmethoden Absolut-Farbmetrisch (links oben), Perzeptiv (rechts oben), Relativ-Farbmetrisch ohne Tiefenkompensierung (links unten) und Relativ-Farbmetrisch mit Tiefenkompensierung.



Links oben ist sofort erkennbar, dass im Schnee keinerlei Zeichnung mehr vorhanden ist. Die absolut farbmetrische Methode hat alle Lichter, welche sich jenseits des Ziel-Weißpunktes liegen, abgeschnitten. Bei allen anderen Varianten ist die Struktur der Schneeoberfläche erkennbar.

Weiters fällt auf, dass das Kirchendach bei den beiden linken Bildern fast komplett schwarz ist. Das Bild links unten ist insgesamt merklich dunkler als alle anderen Varianten. So, wie die Lichter bei der absolut farbmetrischen Methode abgeschnitten werden, werden auch die Schatten abgeschnitten, wenn sie dunkler sind, als das dunkelste

Farbräume

Schwarz, welches im Zielfarbraum darstellbar ist. Dies gilt für Absolut Farbmtrisch und auch für Relativ Farbmtrisch, falls Tiefenkompensierung nicht aktiv ist. Aus diesem Grund wurden viele der dunklen Stellen am Kirchendach und bei den Zweigen abgeschnitten. Abgeschnittene Stellen werden am Bildschirm entweder komplett weiß oder komplett schwarz dargestellt - so, wie hier zu sehen ist. Würde man im Softproof die Option *Papierfarbe simulieren* aktivieren, so würde das Schwarz zu jenem Dunkelgrau werden, welches schwarze Tinte am Druckmedium hinterlässt und Weiß würde zum Papierweiß werden (selbst das weißeste Papier schluckt immer ein wenig Licht und ist somit nicht zu 100% weiß).

Bei den beiden rechten Bildern wurde offensichtlich sowohl der Weiß- als auch der Schwarzpunkt des Zielmediums berücksichtigt und die Helligkeiten daran angepasst. Es sind leichte Unterschiede erkennbar. Für meinen Geschmack sieht das Ergebnis der perzeptiven Methode (rechts oben) natürlicher aus. Man müsste das jedoch im Softproof mit aktivierter Papiersimulation noch vergleichen.

Dieses Beispiel zeigt, dass mit gutem Grund ausgerechnet die beiden Methoden Perzeptiv und Relativ Farbmtrisch mit aktivierter Tiefenkompensierung die wählbaren Varianten der meisten Bildbearbeitungsprogramme sind.

Beispiel 3 - keinerlei Überschreitung von Kontrast und Farbumfang Das nun folgende Bild enthält keine Inhalte, welche vom Zielmedium nicht darstellbar wären. Es existieren keine Farben, welche den Farbraum von Alu Dibond überschreiten und auch keine Lichter und Schatten, welche trotz eingeschränktem Kontrastumfang nicht gedruckt werden könnten. Die neblige Herbststimmung sorgt für gedämpfte Farben, Lichter und Schatten. Wir werden feststellen, dass bei der Umwandlung in den Alu-Dibond-Farbraum auf den Bildinhalt keinerlei Rücksicht genommen wird.



Quell-Farbraum war in allen Fällen ProPhoto-RGB. Links oben ist das Original-Bild im sRGB-Farbraum zu sehen. Die Umwandlung vom ProPhoto- in den sRGB-Farbraum führt zu keinerlei Veränderung, da weder Schwarz- noch Weißpunkt angepasst werden müssen¹⁰ und alle Farben im sRGB-Farbraum darstellbar sind. Die anderen fünf Ab-

¹⁰Der Vollständigkeit halber eine kleine Ergänzung: Da sich ProPhoto auf Licht der Farbtemperatur von

Farbräume

bildungen zeigen die Softproof-Ergebnisse der Farbraumumwandlung mit verschiedenen Methoden - jeweils mit aktiviertem „Papierfarbe simulieren“. Rechts oben - Absolut Farbmétrisch, Mitte links - Perzeptiv, Mitte rechts - Relativ Farbmétrisch mit Tiefenkompensierung, Rechts unten - Relativ Farbmétrisch ohne Tiefenkompensierung.

Wie leicht zu erkennen ist, verändert die perzeptive Umwandlung das Aussehen am stärksten, die absolut farbmétrische Umwandlung ist kaum vom Original zu unterscheiden und dazwischen befindet sich die relativ farbmétrische Umwandlung. Bei der absolut farbmétrischen Umwandlung (Rechts oben) weichen lediglich die hellsten Stellen im Geäst links vom Original ein wenig ab. Da das Medium keinen Farbstich aufweist, hat sich auch der gesamte Farbeindruck nicht verändert. Die Kontraste sind komplett erhalten geblieben, da die Helligkeitswerte innerhalb dessen liegen, welches das Medium darzustellen vermag.

Beim Ergebnis der relativ farbmétrischen Umwandlung mit Tiefenkompensierung (Mitte rechts) leidet der Kontrast ein wenig und das Bild wirkt insgesamt etwas dunkler aufgrund der Weißpunkt-Anpassung an das Zielmedium. Bei der farbmétrischen Umwandlung ohne Tiefenkompensierung (Rechts unten) werden die dunkelsten Farben beschnitten. Da es keine so dunklen Farben im Bild gibt, wird keine Bildinformation abgeschnitten. Aber die dunklen Stellen werden noch dunkler und somit der Kontrast verstärkt - der Nebel wird ein wenig geschwächt.

Die perzeptive Farbraumumwandlung (Mitte links) führt bei diesem Bildbeispiel zum größten Kontrastverlust. Die neblige Stimmung wird noch verstärkt - wiederum Geschmackssache, ob das günstig ist oder nicht.

Beim Bild links unten hatte ich vor der perzeptiven Umwandlung vier Farbfelder eingefügt. Das linke schwarze Feld enthielt die ProPhoto-RGB-Werte 0/0/0 (also komplett Schwarz), dann folgt das grüne Feld mit 0/255/0, Rot mit 255/0/0, Blau mit 0/0/255 und zuletzt Weiß mit 255/255/255. Damit wollte ich testen, ob sich Farben im Bild, welche den Zielfarbraum bei weitem überschreiten, Einfluss auf die Farbraumumwandlung haben oder nicht. Wie man sehen kann, beeinflusst das die perzeptive Umwandlung nicht im geringsten - der Rest des Bildes sieht exakt gleich aus, wie die perzeptive Umwandlung direkt oberhalb in der Mitte links. Dasselbe gilt auch für die anderen Umwandlungsmethoden - ich habe es getestet, aber aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht auch noch abgebildet. Dieser Test bestätigt, dass der Bildinhalt nicht relevant ist für die Farbraumumwandlung. Relevant ist lediglich, was in den jeweiligen Farbprofilen hinterlegt ist.

Obwohl es überhaupt nicht nötig wäre, Sättigung und Kontrast zu verringern, führen die Umwandlungsmethoden die Arbeit stur nach den starren Regeln durch.

5000K bezieht, sRGB aber auf 6500K, wird dies bei der Umwandlung berücksichtigt. Das hat aber keinen Einfluss auf das Aussehen auf Bildschirm oder Druck.

Optimierung der Arbeitsumgebung

Damit Fotos letztendlich so präsentiert werden können, wie man es sich als Fotograf wünscht, müssen sich alle Glieder in der Kette der Verarbeitung korrekt nach den Regeln des Farbmanagements verhalten. Dazu gehört, dass alle verwendeten Programme die Farbprofile der beteiligten Geräte und Dateien richtig interpretieren und umwandeln können, dass die beteiligten Geräte dazu passend kalibriert sind und auch, dass die Arbeitsplatzbeleuchtung passend abgestimmt ist.

Bildschirm-Kalibrierung und Bildschirmprofil

Dreh- und Angelpunkt bei der Bildbearbeitung ist immer der Bildschirm, auf dem Bilddateien für die Präsentation, welche am Ende des Prozesses steht, aufbereitet wird. Am Bildschirm wird Gut von Schlecht getrennt, werden Format und Bildausschnitt gewählt und Farben, sowie Helligkeit und Kontraste beurteilt und bei Bedarf korrigiert. Wenn man dem, was man bei dieser Arbeit sieht, nicht trauen kann, ist alles Weitere pures Glücksspiel.

Wie unterschiedlich Fotos auf verschiedenen Bildschirmen aussehen können, kann man beim Besuch eines Elektronik-Händlers im Einkaufszentrum erleben. So unterschiedlich, wie die Bilder auf den Fernsehgeräten dargestellt werden, so unterschiedlich können sie auch auf Computer-Bildschirmen zu sehen sein.

Aus diesem Grund ist es notwendig, dass der eigene Bildschirm zumindest kalibriert und zusätzlich möglichst auch profiliert wird.

Kalibrierung Darunter versteht man das Einstellen eines Gerätes. Das können bei einem Bildschirm oder Beamer die Helligkeit, Kontrast, Farbsättigung und Farbtemperatur sein.

Profilierung ist der Vorgang, die Farbwerte zu messen, welche der Bildschirm produziert und anhand der Abweichungen vom Sollwert ein Farbprofil zu erstellen, welches letztendlich ermöglicht, Farben korrekt wiederzugeben.

Laptop-Bildschirme lassen in der Regel gar keine Kalibrierung zu. Erschwerend kommt hinzu, dass Laptops oft in unterschiedlichstem Umgebungslicht betrieben werden. Trotzdem kann seriöse Bildbearbeitung auch auf Laptops durchgeführt werden, wenn man ein Farbprofil erstellt und auf das Umgebungslicht achtet.

Bei vielen Desktop-Bildschirmen lassen sich neben Helligkeit, Kontrast und Sättigung auch die Farbtemperatur einstellen und damit auch an die Lichtverhältnisse der Umgebung anpassen. Für Bildpräsentationen im Internet mag das ausreichen, weil der

größte Teil der Besucher einer Homepage selbst ebenfalls vor einem Bildschirm sitzt, der einfach nur ist, wie er eben ist und weder Kalibrierung, geschweige denn eine Profilierung hinter sich hat. Sobald Bilder gedruckt werden, bin ich aber der Meinung, dass das Erstellen von Farbprofilen zwingend nötig ist. Nur so lässt sich vorab feststellen, welches Aussehen das Foto am Papier haben wird.

Um ein Farbprofil für den Monitor zu erstellen, benötigt man ein Colorimeter (oder Spektrometer)¹. Die Vorgangsweise ist üblicherweise folgende: Man installiert die zum Messgerät zugehörige Software, steckt das Messgerät am Computer an und startet die Software. Normalerweise wird man dann Schritt für Schritt geführt und bekommt Unterstützung beim Kalibrieren des Bildschirms. Man wird aufgefordert, das Messgerät auf dem Bildschirm zu platzieren und die 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 Sollwert die erforderlichen Korrekturwerte. Am Ende wird ein Farbprofil (das Geräteprofil für den Bildschirm) erstellt und abgespeichert. Die Messung führt man am besten abends im dunklen Raum durch, um Streulicht zu vermeiden.

Je nach Software wird man u.U. gefragt, ob man ein Farbprofil der Version 2 oder Version 4 erzeugen möchte. Im Zweifelsfalle ist V2 die sichere Variante, Profile der Version 4 werden leider nicht von allen Programmen unterstützt. Das äußert sich dann so, als würde gar kein Farbprofil existieren. Moderne Bildbearbeitungsprogramme (z.B. Photoshop) unterstützen jedoch Version 4 ICC-Farbprofile. Manche Bilddatenbanken oder Photo-Anzeigeprogramme unterstützen keine ICC-Farbprofile der Version 4. Man kann sich zur Not extra für diese Programme zusätzlich ein V2-Profil anfertigen - das klappt aber nur, wenn es das jeweilige Programm zulässt, das V2-Farbprofil fix in dessen Konfiguration einzutragen.

Das Erstellen von Profilen für Scanner, Drucker und Kameras wird im Anhang noch etwas genauer beschrieben. Das Erstellen eines Farbprofils für einen Beamer gleicht grundsätzlich dem Vorgang beim Bildschirm, erfordert aber ein Messgerät, welches dafür ausgelegt ist.

Bildschirm und Arbeitsplatzbeleuchtung

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

¹Colorimeter besitzen einfache Sensoren, welche nur die Intensitäten der Farben Rot, Grün und Blau messen können. Zum Profilieren von Bildschirmen reicht das. Spektrometer sind in der Lage, die Intensitäten des Lichtes über das gesamte Spektrum zu messen. Zum Erstellen von Drucker-Farbprofilen sind Spektrometer erforderlich.

menschliche Auge darauf ein und erkennt die Farbe des Objektes unabhängig von der Art der Beleuchtung. Gerade die Fähigkeit der "Adaption" kann jedoch auch zur Fehlerquelle im gesamten Bearbeitungsprozess eines Fotos werden.

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. Paradoxe Weise 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 aber 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.² 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 kann auf diese Weise ebenfalls einen Farbtemperaturwert nennen.

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 auf 6500K kalibriert und profiliert wurde! Sitzt man jedoch abends vor demselben perfekt eingestellten 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 bläustichig erscheinen. Würde man versuchen, dem Bläustich entgegenzuwirken und schickt dieses "korrigierte" Bild dann ins Fotolabor, wird die Enttäuschung groß sein. Das Papierbild vom Fotohändler ist nun extrem rotstichig.

Was ich damit verdeutlichen möchte: Es genügt nicht, den Bildschirm auch noch so exakt zu kalibrieren und zu profilieren, wenn das Umgebungslicht im Raum stark von der Farbtemperatur des Bildschirms 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 beur-

²Kelvin oder abgekürzt *K* ist das in der Physik verwendete Temperaturmaß. 0°C entsprechen 273,15K. 0K ist die absolut tiefste, nur theoretisch mögliche Temperatur.

Optimierung der Arbeitsumgebung

teilen, müssen Farbtemperatur des Bildschirms und Farbtemperatur des Umgebungslichtes möglichst genau übereinstimmen!

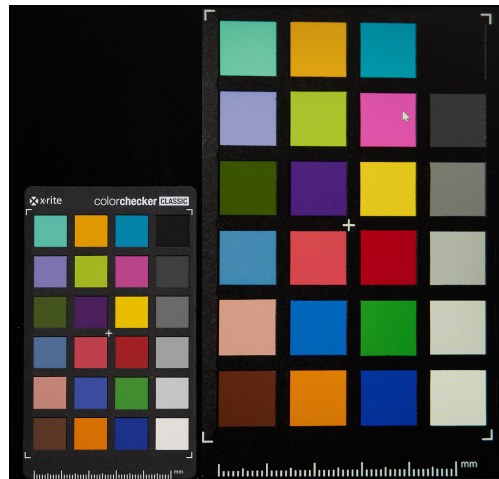
Aber das Umgebungslicht ändert sich ja ständig! Am Morgen scheint das warme Licht der Morgensonne ins Büro, zu Mittag erhellt der blaue Himmel den Raum durchs Dachfenster und abends wird die Tischlampe eingeschaltet. Wie soll man unter solch wechselnden Bedingungen jemals exakte Farben am Bildschirm ermitteln können? Profis, welche davon leben, dass ihre Produkte in den korrekten Farben dargestellt werden, sorgen für das passende Umgebungslicht. In der Druck-Branche werden Monitore häufig auf 5000 Kelvin kalibriert, der Raum wird nur schwach mit Licht derselben Farbtemperatur ausgeleuchtet und zum Vergleich des fertig gedruckten Bildes befindet sich am Arbeitsplatz eine Leuchtbox mit kräftigem Licht, welches ebenfalls einer Farbtemperatur von 5000K entspricht. In diese Box gehaltenes, unbedrucktes Papier hat dieselbe Helligkeit wie der komplett weiße Bildschirm. Das wäre die ideale Arbeitsumgebung.

Ein auf 6500K kalibrierter Bildschirm stimmt zuhause 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.

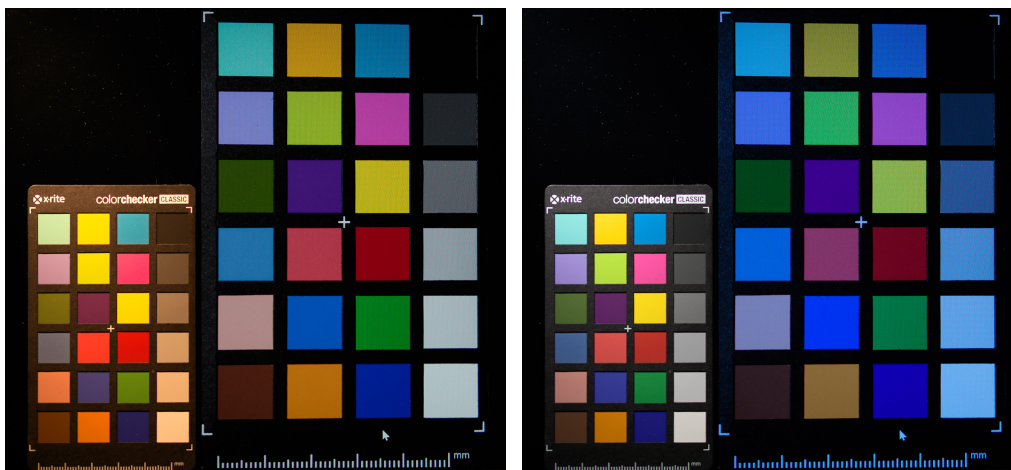
Ich verwende am Abend eine Bildschirm Lampe, deren Farbtemperatur geregelt werden kann. Bildschirme und Lampe sind auf 6500K eingestellt und die Lampe leuchtet nur sehr dezent - bloß, um die Arbeitsfläche ein wenig zu beleuchten. Gedruckte Bilder beurteile ich am liebsten bei Tageslicht am Fenster. Ein Vergleich direkt neben dem Bildschirm ist in meiner Arbeitsumgebung nur eingeschränkt möglich, wenn das Tageslicht gerade zufällig passt bzw. indem ich die Bildschirm Lampe (auf 6500K eingestellt) vorübergehend auf maximale Helligkeit stelle und das Foto direkt darunter halte. Wichtig ist aber vor allem, dass man sich der Problematik bewusst ist und die gedruckten Bilder lieber unabhängig vom Bildschirm direkt am Fenster beurteilt und nicht danach, wie sie am Schreibtisch neben dem Bildschirm aussehen (ausgenommen, man hat die idealen Bedingungen einer Druckerei).

Die folgenden Bilder zeigen den starken Einfluss des Umgebungslichtes auf die Farbwahrnehmung. Bei diesem Experiment habe ich eine Farbtafel auf den Monitor eines Laptops gelegt und rechts daneben ein Foto derselben Farbtafel abgebildet. Der Monitor dieses 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.

Optimierung der Arbeitsumgebung



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.



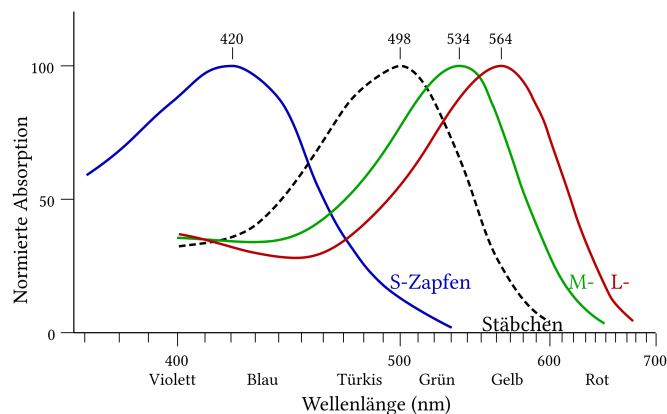
Die Kamera war auf automatischen Weißabgleich eingestellt und hat wohl irgendeinen Wert zwischen den Farbtemperaturen der Halogenlampe und dem Monitor gewählt, wie im linken Bild zu sehen ist. Rechts habe ich den Weißabgleich der Kameraaufnahme manuell auf eines der grauen Felder der Farbtafel durchgeführt. Das führt zwar dazu, dass die Farbtafel nun einigermaßen korrekte Farben zeigt, 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.

Anhang

Farbwahrnehmung des Menschen

Das menschliche Farbsehen wird ermöglicht durch sogenannte *Zapfen*, welche sich auf der Netzhaut im Auge befinden. Davon gibt es drei verschiedene Typen, welche auf unterschiedliche Lichtwellenlängen ansprechen. S-Zapfen (**s**hort) werden durch kurzwelliges, blaues Licht stimuliert, M-Zapfen (**m**edium) reagieren auf grünes Licht mittlerer Wellenlänge und L-Zapfen (**l**ong) dienen der Erkennung von langwelligem roten Licht. Die Wellenlängenbereiche, welche von den Zapfen erkannt werden können, überschneiden sich. Je nach Verteilung des Reizes auf die drei verschiedenen Sinneszellen entsteht dann im Gehirn des Menschen ein Farbeindruck.

Folgende Grafik zeigt die Empfindlichkeitskurve der drei Zapfentypen (Quelle der Grafik: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Cone-response-de\(2\).svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Cone-response-de(2).svg)). Die Maxima der einzelnen Kurven wurden auf 100 normiert. In Wahrheit ist das menschliche Auge für Rot, Grün und Blau nicht exakt gleich empfindlich. Die strichlierte Linie zeigt die Summe aller drei Farbrezeptoren an.



Die Farbwahrnehmung wird also ermöglicht durch lediglich drei verschiedene Typen von Sinneszellen. Das erinnert sehr an das Farbmodell, welches für RGB-Farbräume verwendet wird. Auch da werden Farben durch die jeweiligen Zahlenwerte für Rot, Grün und Blau beschrieben.

Neben den rund 6 Millionen Zapfen, welche für die Wahrnehmung von Farben verantwortlich sind, befinden sich im menschlichen Auge eine noch viel größere Anzahl (etwa 120 Millionen) sogenannter *Stäbchen*. Diese können keine Farben unterscheiden, sind aber deutlich lichtempfindlicher und ermöglichen das Sehen auch bei Dunkelheit.

Im Sehzentrum befindet sich die dichteste Ansammlung an Rot- und Grün-Zapfen. Blau-Zapfen und Stäbchen haben ihre höchste Dichte außerhalb des Sehzentrums. Die höchste Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges befindet sich also außerhalb des Punktes, worauf man fokussiert. Man kann dies in sehr dunkler Umgebung feststellen - sobald man einen gerade eben noch wahrgenommenen Lichtschein fokussieren möchte, verschwindet er.

Während Sensoren gängiger Digitalkameras etwa 12 Blendenstufen Dynamikumfang

bewältigen können, schafft das menschliche Auge ungefähr 20 Blendenstufen.³ Der Kontrastumfang beim Druck auf Papier entspricht ungefähr 5 Blendenstufen.

Unendlich viel mehr Interessantes über den menschlichen Sehsinn kann man aus dem Internet erfahren.

Farbprofile - ein paar Details

Das Wichtigste über Farbprofile wurde bereits in den vorherigen Kapiteln besprochen. Dennoch möchte ich an dieser Stelle auf ein paar Details näher eingehen, um vielleicht die eine oder andere Verständnislücke füllen zu können.

Geräte- und Arbeitsprofile haben wir bereits kennengelernt. Bei den Geräteprofilen wird unterschieden nach Eingabeprofile (*Input*; z.B. Scanner oder Kamera), Monitorprofile (*display*; z.B. Beamer und Bildschirme) und Druckerprofile (*Output*; z.B. Tintendrucker, Offset-Druckmaschinen, digitale Belichter etc.). *Input*-Profile rechnen Farbdaten nur in eine Richtung um - nämlich von den Gerätedaten in den *PCS* (*Profile Connection Space*), wobei PCS entweder CIE XYZ oder CIE LAB (für Profile mit LUT) ist.

Display- und *Output*-Profile rechnen üblicherweise vom *PCS* (XYZ oder LAB) in den Gerätefarbraum um. Damit aber eine Sichtkontrolle mittels Softproof möglich ist, muss auch der umgekehrte Weg berechnet werden können.

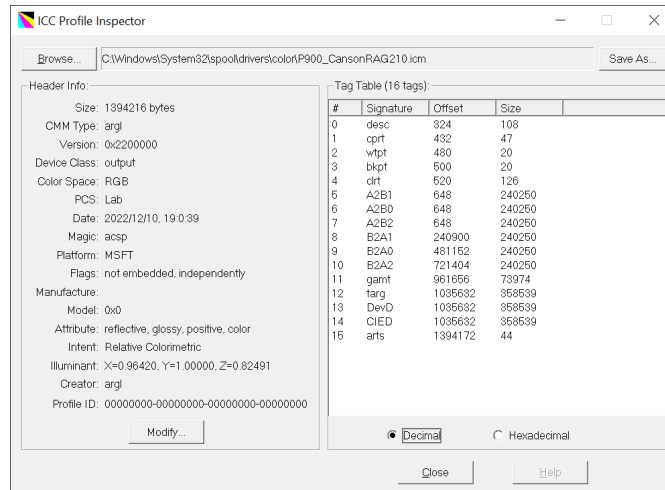
Logisch erfolgt eine Farbraumumwandlung also immer in zwei Schritten über den PCS. Soll eine sRGB-Bilddatei auf einen Drucker ausgegeben werden, so werden dessen Bilddaten zunächst in den CIE XYZ Farbraum und anschließend vom CIE XYZ in den Druckerfarbraum umgerechnet. Für den Softproof am Bildschirm wird vom Druckerfarbraum in den CIE LAB Farbraum und von dort in den Bildschirmfarbraum umgerechnet. Tatsächlich wird dieser Weg teils/oft/immer(?)⁴ durch sogenannte *Device-Link*-Profile abgekürzt. *Device-Link*-Profile verbinden also zwei Farbräume ohne den Zwischenschritt über einen PCS direkt miteinander. Das vermindert Rundungsfehler und beschleunigt den Rechengang.

Wie schon im Kapitel über Farbraumumwandlung kurz erwähnt, ist eine perzeptive Farbraumumwandlung nur mit LUT-Profilen möglich. Woran liegt das? Matrix-Profile enthalten nur sogenannte *Matrix Tags*, welche lediglich farbmetrische Umrechnungen ermöglichen.

LUT-Profile enthalten üblicherweise mehrere Tabellen, welche von den unterschiedlichen Farbraum-Umwandlungsmethoden (*Rendering Intents*) benutzt werden. Hier ein Beispiel eines Drucker-Profils, welches mit dem Tool *ICC Profile Inspector* geöffnet wurde:

³Dieser Wert gilt dann, wenn die Veränderung der Pupille ebenfalls berücksichtigt wird. Ohne Veränderung der Pupille sind es etwa 13 bis 14 Blendenstufen.

⁴Es ist mir leider nicht gelungen eine Antwort darauf zu finden, ob *Device-Link* Profile immer erzeugt werden oder ob diese Profile bei Bedarf bewusst erstellt werden müssen.



In der linken Spalte finden wir den Eintrag *PCS: Lab*. Dies bedeutet, dass CIE LAB als Profile Connection Space dient - das ist üblich für LUT-Profile, welche die perzeptive Farbraumumwandlung ermöglichen. Für die Umwandlung sind die sogenannten *LUT Tags* A2B0, A2B1 und A2B2, sowie B2A0, B2A1 und B2A2 zuständig. Folgende Tabelle zeigt deren jeweilige Funktion.

A2B0 *Perzeptive* Umwandlung Gerätefarbraum -> LAB

A2B1 *Farbmetrische* Umwandlung Gerätefarbraum -> LAB

A2B2 Umwandlungsmethode *Sättigung* Gerätefarbraum -> LAB

B2A0 *Perzeptive* Umwandlung LAB -> Gerätefarbraum

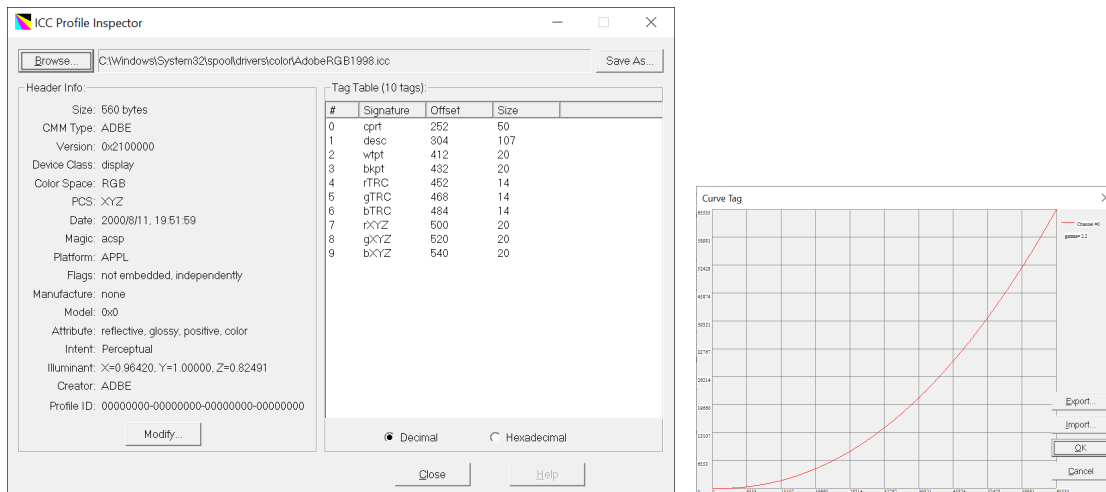
B2A1 *Farbmetrische* Umwandlung LAB -> Gerätefarbraum

B2A2 *Sättigung* LAB -> Gerätefarbraum

Fehlt die Tabelle B2A0, so ist keine perzeptive Umwandlung möglich. Photoshop zeigt das jedoch nicht an, sondern führt stattdessen die Relativ Farbmetrische Methode aus.

Wie früher schon erwähnt, beinhalten LUT-Profile meist große Tabellen, welche entsprechend viel Speicherplatz belegen. Das eben gezeigte Drucker-Profil hat eine Größe von mehr als 1 Megabyte.

Sehen wir uns im Vergleich dazu das Matrix-Profil des Arbeitsfarbraumes AdobeRGB an:



Anstatt der großen LUT-Tabellen finden wir in Matrix-Profilen die XYZ-Koordinaten der drei Grundfarben dieses RGB-Farbraumes - *Primärvalenzen* genannt. Es handelt sich dabei um das für den jeweiligen RGB-Farbraum am stärksten gesättigte Rot, Grün bzw. Blau. Weiters enthält das Profil die sogenannten *Tone Reproduction Curves* - jene Kurven, welche die Tonwertverteilung bestimmt (siehe rechte Abbildung). Beim AdobeRGB-Farbprofil ist dies ein einzelner Zahlenwert - nämlich das γ (Gamma) der sogenannten *Gammakurve* (siehe nächstes Kapitel). Abgesehen von einer *Description* (das ist der Name, womit das Profil in der Liste der Farbprofile des Bildbearbeitungsprogrammes aufscheint) und einem *Copyright* werden üblicherweise auch die XYZ-Koordinaten für Schwarz- und Weißpunkt angegeben. Als Profile Connection Space (PCS) dient Arbeitsprofilen üblicherweise der CIE XYZ Farbraum.

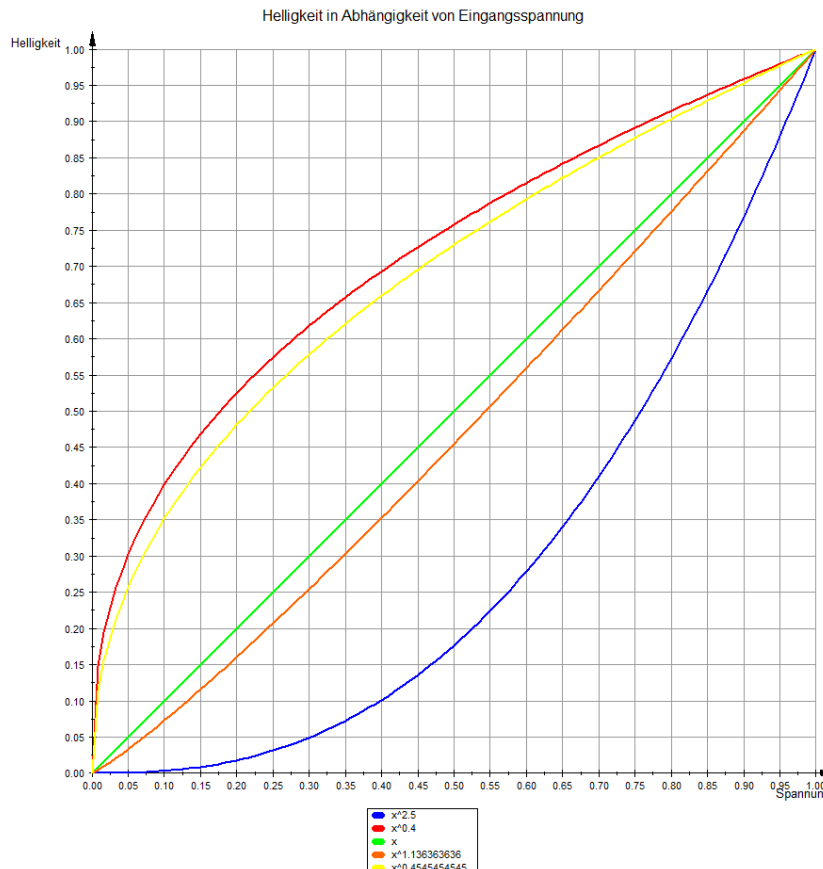
Gammakurven

Der Begriff *Gamma* und *Gammakurve* taucht im Zusammenhang mit Farbprofilen immer wieder auf. Aber was genau sind *Gammakurven*? Um das zu verstehen, muss man in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts zurückblicken - lange bevor noch über 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 Bildschirms aufzuschlagen. Dort befand sich eine Schicht eines Materials, welches beim Einschlag dieser Elektronen Licht aussandte. Gelenkt wurden die Elektronen mit-

tels 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. Letzt-

endlich 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 1:1.000.000!

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.

Kunstlicht - Farbwiedergabeindex

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.

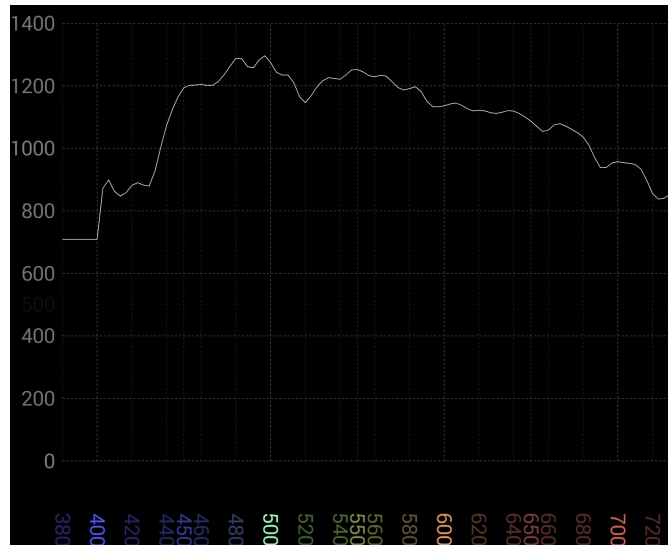
Glühlampen (dazu gehören auch Halogenlampen) erzeugen als Wärmestrahler ebenfalls ein sehr kontinuierliches Spektrum. Aufgrund der niedrigeren Temperatur im Vergleich zur Mittagssonne jedoch mit geringerem Blauanteil und dafür aber mit verhältnismäßig höherem Rotanteil.

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 Bildschirms.

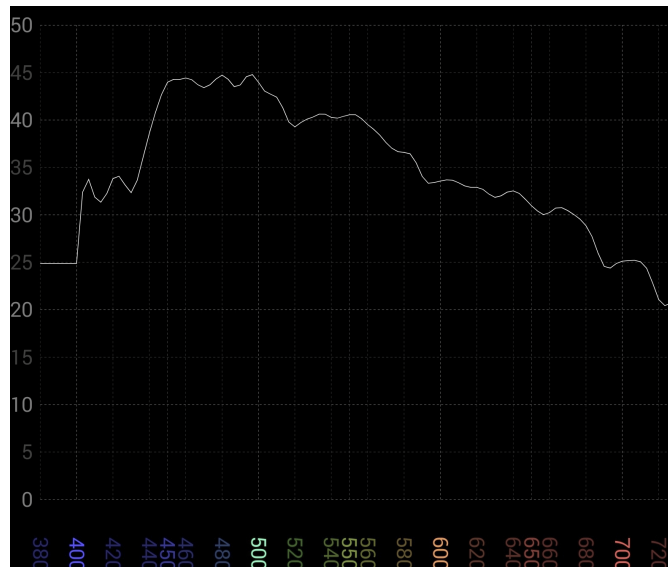
Weil Lichtquellen einen ganz massiven Einfluss auf die Farbwahrnehmung haben, wurde ein Maß entwickelt, welches die Güte einer Lichtquelle beschreibt. Je höher der Wert, desto mehr ähnelt das Licht dem Sonnenlicht. Ein Wert von 100 wäre perfekt.

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**elevisi**o**n **L**ight **C**onsistency **I**ndex.

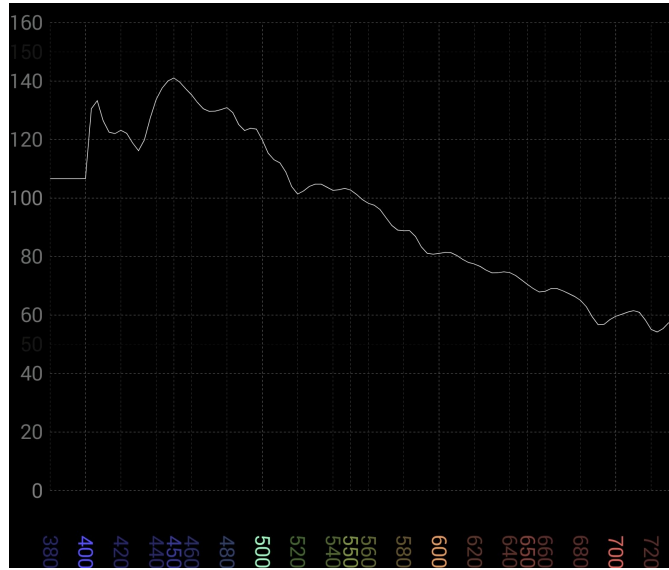
Die folgenden Bilder zeigen einige mit einem Spektrometer ermittelten Messdaten verschiedener Lichtquellen. Dazu angegeben sind auch Farbtemperatur und TLCI-2012 Index.



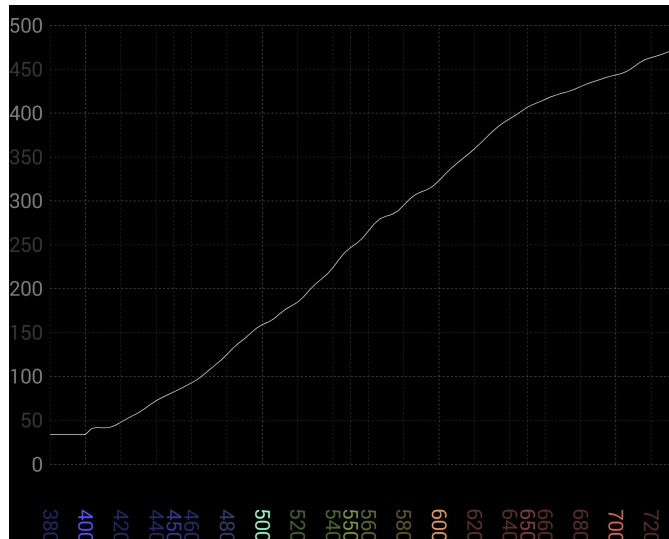
Mittagssonne - Farbtemperatur 5548K, TLCI-2012 = 100



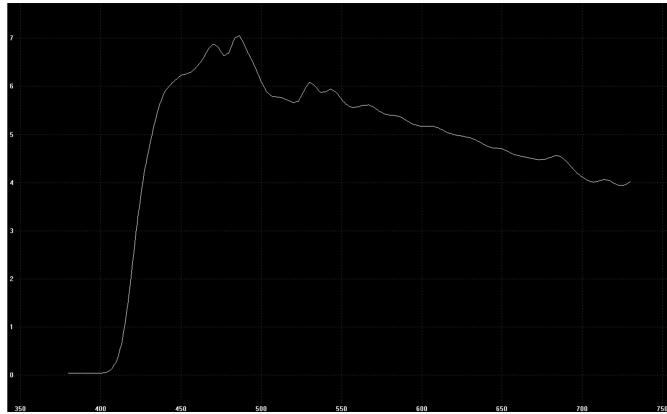
Bedeckter Himmel - Farbtemperatur 6479K, TLCI-2012 = 100



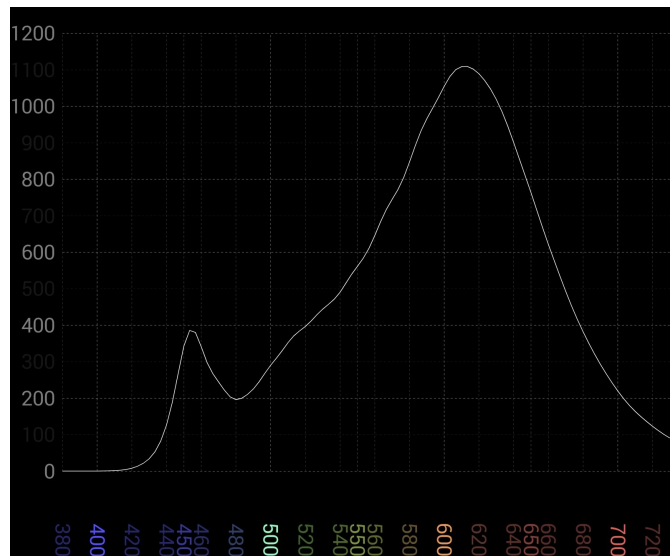
Im Schatten bei wolkenlosem Himmel - Farbtemperatur 8476K, TLCI-2012 = 100



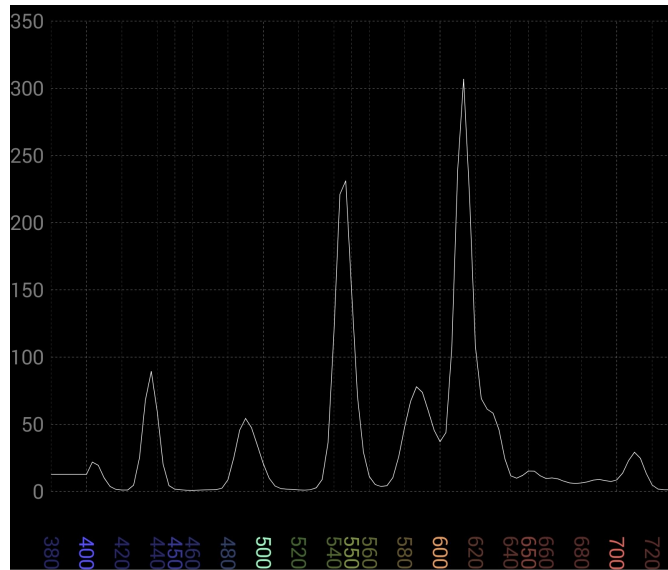
Halogenlampe 300W - Farbtemperatur 2931K, TLCI-2012 = 99,8



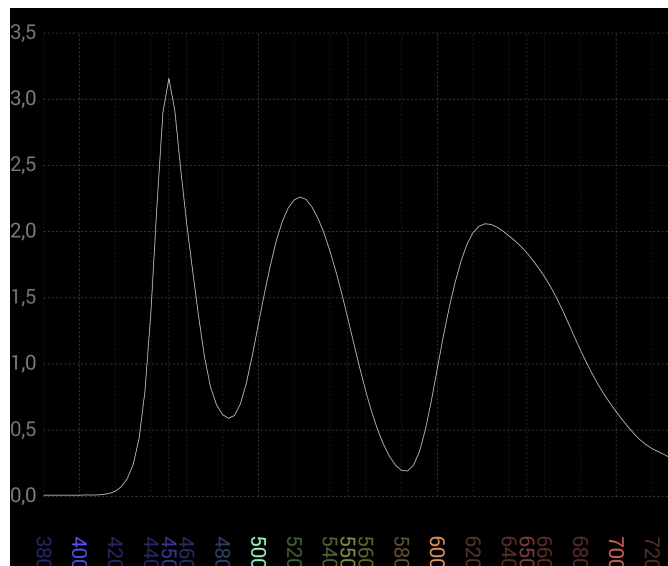
Kamera-Blitz - Farbtemperatur 6144K, TLCI-2012 = 99,0



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 Lichtquellen mit hohem Farbwiedergabeindex kann man mittels Weißabgleich recht gute Ergebnisse erzielen, da größere Farbabweichungen ja lediglich durch unterschiedliche Farbtemperaturen zustande kommen.

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 selten so ausgeprägt, aber dennoch erkennbar. In diesen Fällen helfen 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 so massiven, von der Lichtquelle abhängigen Farbänderung von *Metamerismus*.

Unterschiedliche Lichtverhältnisse führen zu unterschiedlicher Verteilung der Spektralfarben. Dies wiederum hat Auswirkung auf das Verhalten der Kamerasensoren. Zusammenfassend muss man zur Kenntnis nehmen, dass Kameraprofile genaugenommen immer nur für jene Lichtverhältnisse exakt passen, wofür das Profil auch erstellt wurde. Im Fotostudio 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.

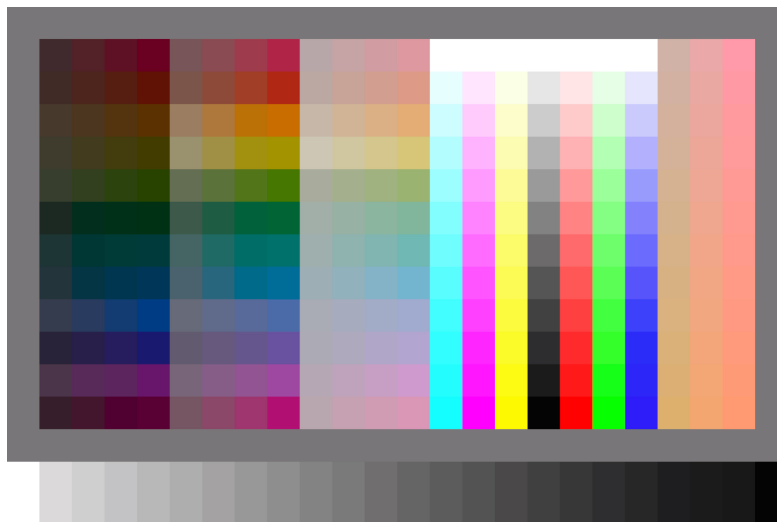
Apropos Weißabgleich - die in den verschiedenen RAW-Konvertern angezeigten Farbtemperaturen beim Weißabgleich sind lediglich grobe Werte und stimmen zwischen den

Programmen nicht überein. Es ist nicht zielführend, die von einem Spektralmessgerät ermittelte Farbtemperatur auf z.B. Lightroom oder Capture One zu übertragen!

Farbprofile für Scanner

Jedem Scanner wird üblicherweise die zum Gerät passende Software beigelegt, um rasch und einfach Dokumente scannen zu können. Diese vom Hersteller mitgelieferte Software erfüllt meist die Erwartungen eines Anwenders. Legt man aber besonderen Wert auf eine korrekte Wiedergabe, führt wohl kein Weg an Scan-Software vorbei, welche selbst erstellte Farbprofile unterstützt. Die Software meines Scanners unterstützt dies nicht. Sie bettet nicht einmal Farbprofile in die erzeugte Bilddatei ein, obwohl es dafür eine Option gäbe. Es dürfte sich jedoch um Bilddateien im sRGB-Farbraum handeln.

Zum Erstellen eines Scanner-Geräteprofils benötigt man eine Farbtafel mit zugehörigen Referenzdaten. Üblicherweise ist dies eine sogenannte IT8.7 Farbtafel im DIN-A4 Format. Folgende Abbildung zeigt eine solche Tafel.



Entweder unterstützt die Scan-Software selbst die Erstellung eines Geräteprofils oder sie bietet die Möglichkeit, die vom Sensor gelieferten Daten im Rohformat als TIFF- oder DNG-Datei abzuspeichern. Die so erzeugte RAW-Bilddatei kann nun in einem Programm geöffnet werden, welches Farbprofile erstellen kann.

Ich selbst verwende VueScan, welches das Erstellen von Farbprofilen unterstützt. Es handelt es sich dabei um simple Matrix-Profile, welche bereits deutliche verbesserte Scan-Ergebnisse möglich macht. Für höchste Ansprüche sind LUT-Profile erforderlich, welche von VueScan selbst jedoch nicht verwendet werden können. Dies ist allerdings kein großes Problem, da man den von VueScan erzeugten RAW-Dateien lediglich das entsprechende LUT-Profil zuweisen muss. Das kann entweder mittels Programmen wie

Photoshop erfolgen oder auch mit Werkzeugen wie *exiftool*. *exiftool* ist ein mächtiges Kommandozeilen-Programm, womit man mit einem einzigen Kommandoaufruf z.B. allen Bilddateien in einem Verzeichnis ein Profil zuweisen kann.

Zum Erstellen von LUT-Scannerprofilen habe ich bisher *i1Studio* von X-Rite, sowie *LumaRiver Profile Designer* verwendet. Es ist vermutlich auch mit kostenlosen Werkzeugen wie *Argyll CMS* möglich - damit habe ich persönlich bisher allerdings nur Druckerprofile erstellt.⁵

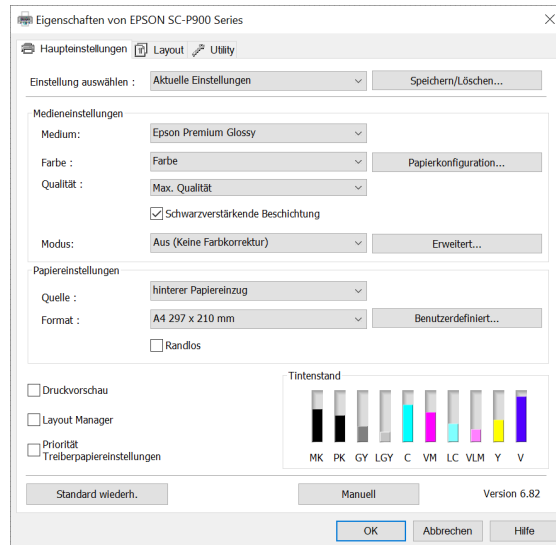
Hat man die Möglichkeit, sollte man für Scanner sogenannte 3D-LUT-Profile erzeugen. Da die Beleuchtung von Scannern ja üblicherweise konstant bleibt, liefern 3D-Profile die exaktesten Ergebnisse. 3D-Profile sind in der Lage, bei der Farbkorrektur auch die Helligkeit zu berücksichtigen. Deshalb werden solche Profile besonders für Reproduktionsfotografie verwendet, wo quasi Laborbedingungen herrschen.

Farbprofile für Drucker

Will man seine Fotos selbst drucken, so benötigt man auch dafür Farbprofile. Da die Eigenschaften der Papiersorten sehr unterschiedlich sein können, ist für jedes Papier ein eigenes Farbprofil erforderlich. Drucker-Hersteller liefern Farbprofile für Papiersorten aus dem eigenen Haus oft mit oder stellen sie zum Download zur Verfügung. Auch Papierhersteller stellen Farbprofile für häufig verwendete Fotodrucker zur Verfügung. Allerdings trifft das nicht für alle Drucker/Papier-Kombinationen zu und zudem sind diese Farbprofile zwar meist bereits gut brauchbar, aber vielleicht nicht ausreichend, um auch noch das letzte Quäntchen an Farbgenauigkeit drucken zu können. Hat man sich in ein Fotopapier verliebt, wofür kein Farbprofil für den eigenen Drucker existiert, muss man sich selbst eines erstellen.

Das Aussehen des Druckes ist stark davon abhängig, welches Papier verwendet wird. Abhängig vom Papier sind aber auch Einstellungen im Druckertreiber nötig. Je nach Papiersorte muss dies beim Druck gewählt werden.

⁵Links zu den genannten Programmen siehe Anhang auf Seite 63.



Als Beispiel dient hier ein Epson-Drucker der Type SC-P900. Auf folgende Einstellungen ist ganz besonders zu achten, wenn man sich selbst ein Farbprofil erstellen möchte:

Medium Die Einstellung der Papiertyp muss unbedingt mit dem verwendeten Papiertyp übereinstimmen. Diese Einstellung steuert nämlich die Tintenmenge, welche aufs Papier aufgetragen wird. Je nach Oberflächenbeschaffenheit wird mehr oder weniger Tinte benötigt. Das hat selbstverständlich großen Einfluss auf das Druckergebnis. Bekannte Papierhersteller wie z.B. Hahnemühle, Canson, Ilford etc. liefern Informationen dazu, welcher Medium-Typ bei den diversen Druckerherstellern zu wählen ist. Falls nicht, muss man selbst den am besten passenden Typ wählen.

Je nach Wahl des Papiertyps können zusätzliche Einstellmöglichkeiten erscheinen.

Qualität Auch diese Einstellung hat Einfluss auf das Druckergebnis.

Modus Egal, wie sich dieser Menüpunkt auch nennt, es muss dafür gesorgt werden, dass **keine Farbkorrektur** erfolgt. Der Druckertreiber darf weder Farbkorrekturen durchführen, noch darf er ein Farbprofil verwenden. Einzig das Druckprogramm ist für die Farbverbindlichkeit verantwortlich und deshalb darf auch nur das Druckprogramm das Farbprofil verwenden!

Es ist von großer Bedeutung, dass beim Druck auf ein bestimmtes Papier immer exakt dieselben Einstellungen der oben genannten Parameter verwendet werden, wie sie beim Erstellen des Farbprofils konfiguriert wurden! Manche Druckertreiber erlauben es, Einstellungen zu speichern - wie zum Beispiel bei diesem Drucker. Man findet den Punkt hier in der ersten Zeile unter „Einstellung auswählen“ bzw. „Speichern/Löschen“. Falls das nicht möglich ist, sollte man sich die Einstellungen notieren, welche bei der Erstellung des Profils für ein bestimmtes Papier verwendet wurden.

Es existieren diverse Softwareprodukte, welche den Anwender beim Druck unterstützen, Druckereinstellungen korrekt und immer gleich durchzuführen, gedruckte Projekte

abzuspeichern etc.

Zum Erstellen eines Drucker-Farbprofils, benötigt man ein Spektrometer. Ein Colorimeter, welches für die Bildschirm-Profilierung verwendet werden kann, ist für die Drucker-Profilierung nicht geeignet.⁶ Zusammen mit dem Messgerät erhält man normalerweise auch die nötige Software. Ich persönlich habe Druckerprofile mit i1Studio von X-Rite, sowie Argyll CMS erstellt.

Der Ablauf zur Erstellung eines Druckerprofils ist somit Folgender:

- Druckereinstellungen je nach gewähltem Papier durchführen und notieren bzw. abspeichern (siehe oben)
- Programm für die Erstellung des Farbprofils starten und die damit erzeugten Farbfelder auf das gewünschte Papier drucken
- Mit dem Spektrometer alle Farbfelder messen
- Das Programm errechnet ein Farbprofil, welches die Farben korrigiert
- Das Farbprofil unter einem Namen abspeichern, woraus man auch später wieder erkennen kann, für welchen Drucker und welches Papier es erstellt wurde

Farbprofile für Kameras

Wie bereits mehrfach erwähnt, haben Digitalkameras immer ein Farbmanagement integriert. Nur so ist es möglich, dass fertige Bilddateien mit einigermaßen exakten Farben auf den Speicherkarten gespeichert werden können. Meist sind dies dann Bilder im sRGB-Farbraum. Manchmal hat man die Möglichkeit, AdobeRGB zu wählen.

Möchte man jedoch selbst maximalen Spielraum bei der Bildbearbeitung haben, lässt man die Bilddaten jedoch besser im RAW-Format auf die Speicherkarte schreiben. Weißabgleich und Farbmanagement erfolgen dann anschließend im RAW-Konverter. Der RAW-Konverter enthält eine große Sammlung von Farbprofilen für alle unterstützten Digitalkameras.

Ist höchste Farbtreue gefragt, kann man eigene Kameraprofile erzeugen. 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 (angeblich) mit allen Programmen verwendet werden können, welche DNG-Profile unterstützen.

⁶Umgekehrt kann aber ein Spektrometer auch zum Erstellen eines Bildschirm-Profiles verwendet werden.

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-Profiles, gibt es von der Firma *X-Rite* ein kostenloses Programm namens *ColorChecker Camera Calibration*, welches den *colorchecker CLASSIC* (oder *PASSPORT*) unterstützt ([X-Rite Color Checker Camera Calibration](#)). *ColorChecker Camera Calibration* kann auch als Plugin direkt aus *Lightroom* gestartet werden.

Eine Alternative ist der ebenfalls kostenlose *DNG Profile Editor* von *Adobe*: (<https://helpx.adobe.com/at/photoshop/digital-negative.html>). Auch dieses Programm benötigt die 24 Farbfelder des *colorchecker CLASSIC* (oder *PASSPORT*).

Kostenlose Programme zum Erstellen von ICC-Profilen sind z.B. *Argyll* oder *LPROF*. Ich verwende allerdings das kostenpflichtige Programm *Lumariver Profile Designer*. Damit können sowohl DNG-Profile als auch ICC-Profile für diverse RAW-Konverterprogramme erstellt, individuell angepasst und alle vorgenommenen Einstellungen bei Bedarf inklusive Bilddatei als Projekt abgespeichert werden, um später eventuelle Anpassungen und Korrekturen zu ermöglichen. Ich habe damit DNG-Profile für *Lightroom*, ICC-Profile für *Capture One*, sowie ICC-Profile für Scanner generiert, welche zusammen mit *Photoshop* für Scans mit korrekten Farben sorgen.

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 das Mehr an Aufwand und Datenmenge einer 3D-LUT liefert ohnehin 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. Zudem ist zu beachten, dass Programme existieren, welche mit 3D-LUTs nicht umgehen können. Eventuell ein zusätzlicher Grund für die Alltags-Fotografie, einfache Kameraprofile zu verwenden.

Als Beispiel einer praktischen Anwendung zeige ich nun die Erstellung eines Kameraprofils für eine Aufnahme aus dem Botanischen Garten.

Die völlig unbearbeitete Aufnahme ist nicht nur etwas zu dunkel, sondern auch bläulich.

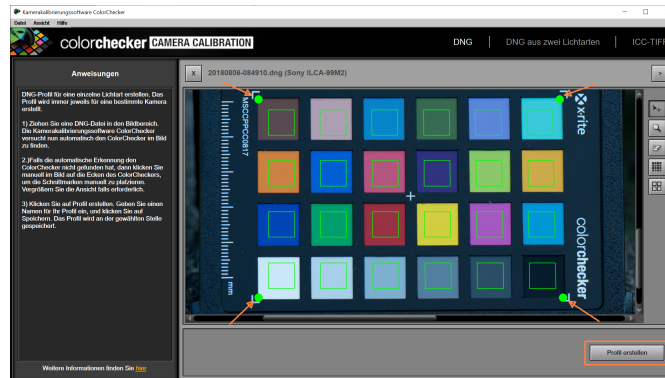


In der Aufnahme selbst existiert keine Fläche, womit ein Weißabgleich möglich wäre. Aus diesem Grund hatte ich zusätzlich am selben Ort eine Aufnahme von meinem *colorchecker PASSPORT* gemacht. Dieses Bild diente mir in Lightroom als Referenz für einen passenden Weißabgleich, den ich auf die Aufnahme mit den Blüten übertrug. Zusätzlich wurde das Bild in Lightroom aufgehellt:

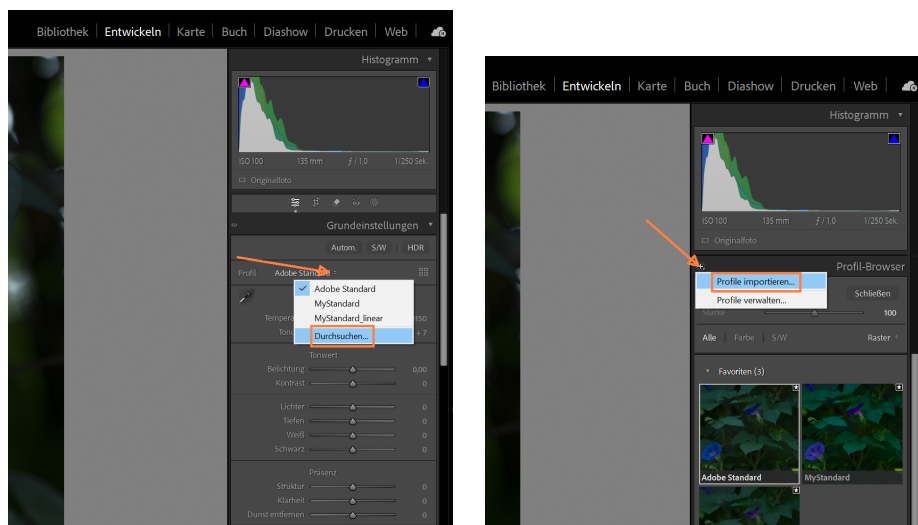


Allerdings hatte ich sowohl die Farbe des grünen Laubes, als auch die der Blütenblätter

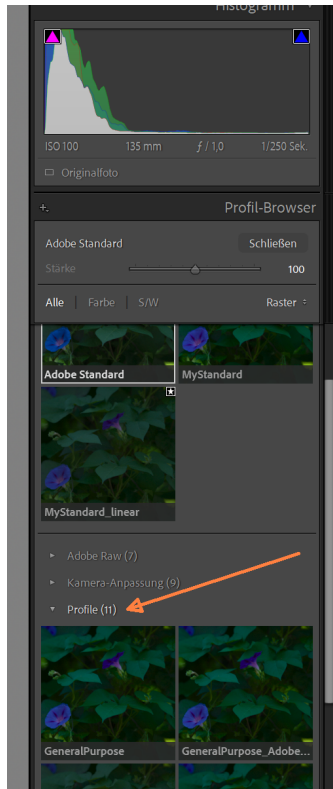
anders in Erinnerung. Aus diesem Grund machte ich mir die Aufnahme der colorchecker Farbtafel zunutze, um ein Kameraprofil für exakt diese Aufnahme zu erstellen. Zu diesem Zweck exportierte ich die RAW-Aufnahme des colorcheckers als DNG-Datei, startete das Programm *colorchecker Camera Calibration* und zog die DNG-Datei per Maus auf dessen Oberfläche. Das Programm erkannte selbst, wo sich die benötigten 24 Farbfelder befinden und zeigte die Messfelder an. Man hätte die Möglichkeit, den Rahmen für die Messbereiche selbst exakt zu justieren, was aber nicht nötig war. Durch Klick auf „Profil erstellen“ wurde ein Kameraprofil mit dem von mir gewählten Namen erstellt.



Nun wechselte ich wiederum zu Lightroom, um das eben erstellte Profil zu importieren.



Damit das importierte Profil zur Auswahl sichtbar wurde, musste ich Lightroom beenden und neu starten. Anschließend konnte ich das Profil in der Liste finden und aktivieren.



Das Ergebnis entspricht damit nun auch dem Farbton, welchen ich in Erinnerung hatte - zum Vergleich noch einmal das Erscheinungsbild mit dem Standard-Profil von Lightroom und dem von mir erstellten Profil.



Selbstverständlich könnte man diese Farbanpassungen auch ohne eigens angefertigtem Kameraprofil durchführen. Aber mit dieser Methode fühle ich mich sicherer, naturgetreue Farben abzuliefern.

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-RGB-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 mit einem "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 Zeitpunkt Juni 2024) 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.

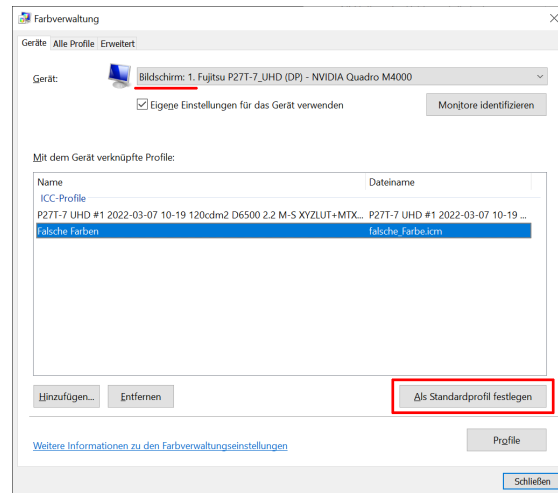
Das war aber erst die eine Hälfte, welche für ein durchgängiges Farbmanagement nötig ist. Mit Hilfe der Test-Bilddatei kann festgestellt werden, ob ein Programm das eingebettete Farbprofil in einer Bilddatei berücksichtigt oder nicht. Wie aber sieht es mit der Berücksichtigung eines Monitor-Profiles aus? Nur wenn bei der Ausgabe auf einen Bildschirm dessen Farbprofil berücksichtigt wird, werden Farben exakt dargestellt.

Bei bereits gut kalibrierten Bildschirmen ist der Unterschied oft nur subtil, ob dessen Farbprofil auch zum Einsatz kam oder ignoriert wurde. Aus diesem Grund fällt es oft lange Zeit oder gar nicht auf, wenn das nicht passiert.

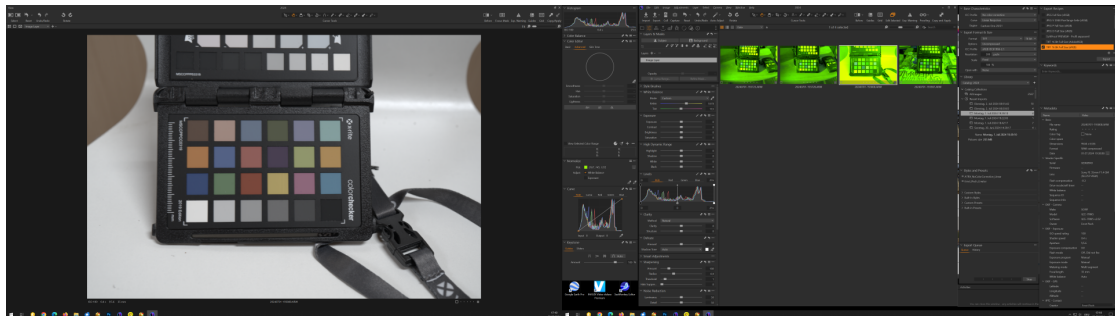
Da ich kein Apple-User bin, kann ich nicht aus eigener Erfahrung sprechen, aber nach meinen Recherchen, dürften Mac-User gegenüber Windows-Usern bzgl. Farbmanagement klar im Vorteil sein.

Windows besitzt zwar eine sogenannte Farbverwaltung, worin Druckern und Bildschirmen ein Farbprofil zugeordnet werden kann. Das ist aber leider nicht viel mehr als nur ein definierter Ort, um Programmierern eine zentrale Stelle zur Verfügung zu stellen, wo nachgeschlagen werden kann, welches Profil verwendet werden soll. Leider wird das bei weitem nicht von allen Programmen genutzt.

Um testen zu können, welche Programme bzw. Windows-Komponenten Bildschirmprofile wirklich benützen, habe ich meinem ersten Bildschirm (ich verwende zwei Bildschirme) ein Farbprofil zugewiesen, welches komplett falsche Farben darstellt. Dadurch ist sofort erkennbar, ob das Profil zum Einsatz kommt oder nicht.⁷



Ein Beispiel für eine vollkommen korrekte Anwendung der Bildschirmprofile ist hier zu sehen:

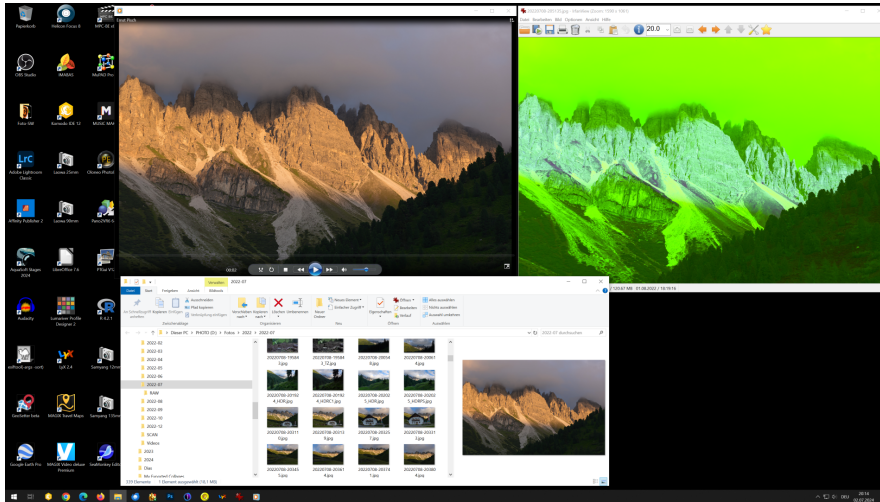


Ich verwende bevorzugt Capture One als RAW-Konverter. Das Bild, welches bearbeitet werden soll, lasse ich mir am linken (zweiten) Bildschirm groß anzeigen. Rechts befinden sich die von mir individuell angeordneten Werkzeuge, sowie der Dateibrowser. Beim rechten Bildschirm habe ich das Falschfarbenprofil im Einsatz. Man sieht es an den falschen, grellen Farben der Bildvorschau. Die Vorschau links ist unverfälscht - es wird hier also ein anderes Farbprofil (das des zweiten Monitors) verwendet. Ziehe ich die große Vorschau vom linken auf den rechten Bildschirm, so verändert sich die Anzeige sofort ebenfalls in die grellen Farben. Daran erkenne ich, dass das Farbprofil

⁷Dieses Farbprofil kann für eigene Tests von hier heruntergeladen werden: https://pisch.at/falsche_Farbe.icm. Nach dem Download kann es mit rechtem Mausklick und *Profil installieren* ins richtige Verzeichnis kopiert werden. Anschließend wählt man in der Farbverwaltung den Bildschirm, auf dem man die Tests durchführen möchte, fügt das Falschfarbenprofil hinzu und klickt auf *Als Standardprofil festlegen*. Sind die Tests abgeschlossen, kann das Profil wieder entfernt werden oder auch nur das Original-Profil wieder als Standardprofil festgelegt werden.

„greift“.

Sehen wir uns an, was Windows-Komponenten mit dem Falschfarbenprofil anstellen:

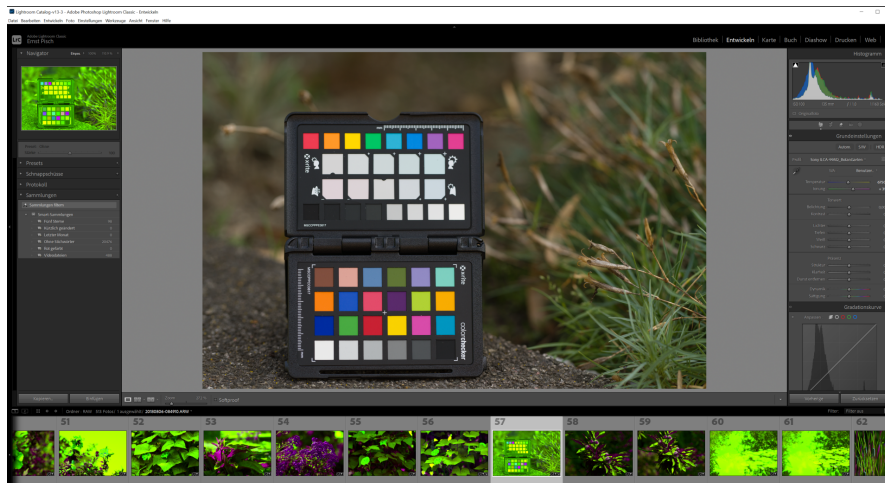


Sofort fällt das Bild rechts oben auf. Es wurde von Irfan View mit aktiviertem Farbmanagement-Plugin dargestellt. Das Bildschirmprofil wurde offensichtlich eingesetzt. Aber der Rest am Bildschirm sieht aus, wie gewohnt. Sowohl der Windows Date Explorer, als auch der Windows Media Player ignorieren das Bildschirmprofil. Auch der Desktop erscheint in unverfälschten Farben. Die Schlussfolgerung daraus:

Nicht einmal Windows selbst nützt die Einstellungen der Windows-Farbverwaltung! Weder die Desktop-Darstellung, noch der Datei-Explorer, auch nicht der Media-Player, sowie Windows Fotoanzeige oder Microsoft Edge Browser kümmern sich um ein Bildschirmprofil (Stand Juli 2024, Windows 10)! Auch eine große Anzahl sonstiger Programme berücksichtigt zwar in Bilddateien eingebettete Farbprofile, aber wenn es um die Bildschirmausgabe geht, erfolgt kein Farbmanagement. Dazu gehören laut meinen Tests (Stand Juli 2024 mit Windows 10) z.B. Adobe Acrobat Reader, Microsoft Word, Microsoft PowerPoint, Microsoft Outlook, Microsoft Teams, VLC Media Player, Quick Time Player, Google Chrome, Libre Office, Aquasoft Stages, Photomatix, Magix deluxe Premium, Pano2VR, Sony Imaging Edge, . . . Bildschirmprofile berücksichtigt werden von Adobe Photoshop, Adobe Bridge, Adobe Lightroom, Affinity Photo 2, Affinity Publisher 2, Capture One, PTGui, DXO Nik Collection, Programme von Topaz-Labs (nur einzelne davon getestet), Irfan View (nur mit aktiviertem Farbmanagement-Plugin), Epson Print Layout und sicherlich viele weitere. Den einzigen kostenlosen Videoplayer mit korrekter Farbverwaltung, welchen ich finden konnte, war **MPC-BE**. Es sieht leider auch unter Windows 11 noch nicht viel besser aus - Paint unterstützt weiterhin keine eingebetteten Farbprofile. Einzige Verbesserung gegenüber Windows 10, welche ich in meiner Arbeitsumgebung feststellen konnte ist, dass die Windows Fotoanzeige nun endlich auch Bildschirmprofile berücksichtigt.⁸

⁸Allerdings findet man dennoch viele Klagen von Windows 11 Anwendern, welche sich über falsche Farben in der Fotoanzeige beschwerten. Microsoft hatte im Jahr 2021 Fehler in deren Win32-API „zu-

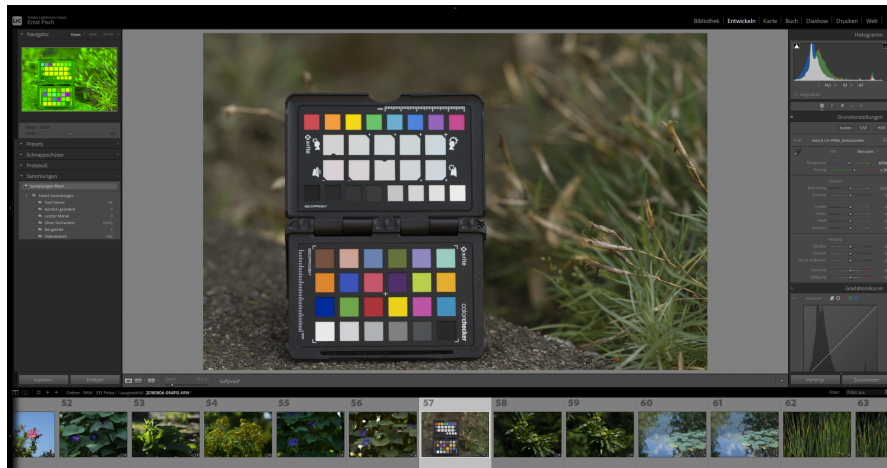
Kurioses hatte ich bei Lightroom festgestellt. Ich hoffe, dass dieses Fehlverhalten nur in der aktuellen Version (V13.3) zu beobachten ist und rasch wieder behoben sein wird. Eventuell tritt dieses Verhalten auch nur in einer Arbeitsumgebung mit zwei Bildschirmen auf.



Wie erkennbar ist, erscheinen die Vorschaubilder alle in den Farben, wie sie aufgrund der Anwendung des Falschfarbenprofils aussehen sollen. Kurioserweise wird aber gerade für die große Darstellung, welche man zum Bearbeiten der Bilddatei verwendet, kein Bildschirmprofil angewandt! Aktiviere ich die „Sekundäranzeige“, so wird diese am zweiten Bildschirm korrekt mit dessen Bildschirmprofil dargestellt. Testweise habe ich das Fenster nun auf meinen zweiten Bildschirm verschoben und sieh da - alle Vorschaubilder unten sehen normal aus, wie man's sich erwartet (beim zweiten Bildschirm ist ja das „richtige“ Profil und kein Falschfarbenprofil eingetragen). **Aber** die Vorschau links oben erscheint noch in den falschen Farben - hier wird offensichtlich immer noch das Profil des anderen Bildschirms angewandt. Eigenartigerweise werden Softproof- und Gamut-Warnung NICHT auf der Sekundäranzeige dargestellt, welche das Bildschirmprofil berücksichtigt und eine exakte Farbdarstellung liefert. Stattdessen werden diese Funktionen am Hauptfenster ohne Bildschirmprofil angewandt - alles in allem sehr verwirrend und unzuverlässig! Offenbar hat Adobe hier einige Fehler zu beheben!⁹

gegeben“. Diese Fehler führen dazu, dass Programme, welche diese Softwareschnittstelle verwenden, falsche Farben anzeigen. Ob dieser Fehler inzwischen behoben ist, weiß ich nicht.

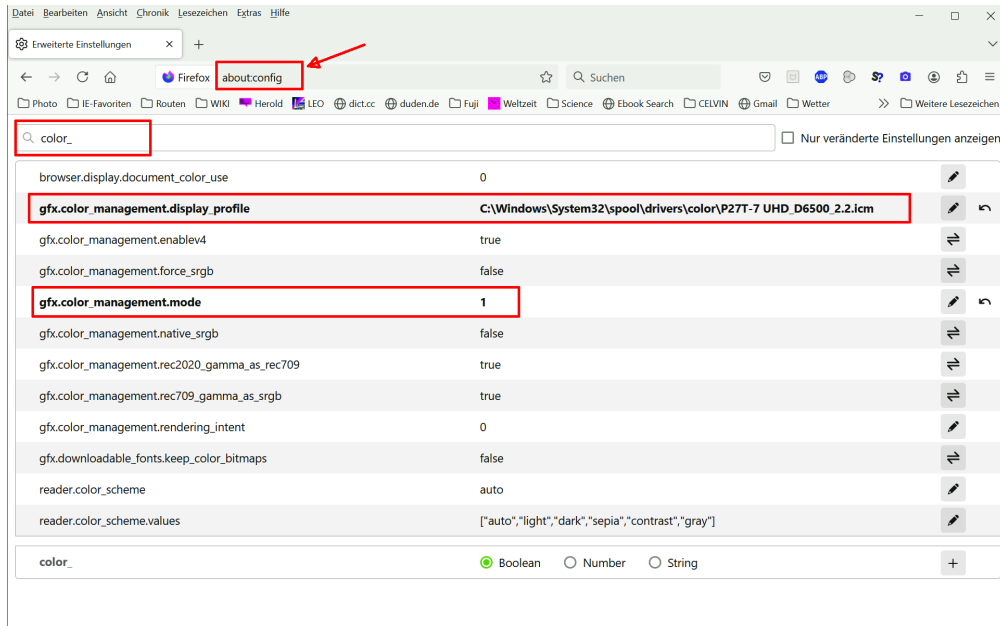
⁹Übrigens! Fällt Ihnen auf, dass die Farben am folgenden Bild weniger kräftig aussehen als oben? Der obere Screenshot stammt vom „billigen“ Bildschirm, der lediglich den sRGB-Farbraum umfasst. Der Bildschirm, welcher im folgenden Screenshot zu sehen ist, schafft AdobeRGB. Beim Screenshot werden die Zahlenwerte offenbar genommen, wie sie sind und es wird ohne Rücksicht auf Verluste einfach sRGB zugewiesen. AdobeRGB ist größer als sRGB -> es erscheint nun alles flauer. Diese Reaktion beruhigt mich, weil es ein Zeichen dafür ist, dass das für den Wide-Gamut Monitor passende Profil für die große Vorschau verwendet wurde. Ein umfangreicherer Test hat diese Vermutung dann auch bestätigt.



Bei Verwendung von mehr als nur einem Bildschirm (oder zusätzlich angeschlossenen Beamer) scheinen Programme generell vermehrt Probleme zu haben. Ich musste feststellen, dass manche Programme zwar beim Start das zum aktuellen Bildschirm passende Farbprofil anwenden, dies aber nicht mehr korrigieren, wenn das Programmfenster auf einen anderen Bildschirm verschoben wird. Andere Programme reagieren gleich, man kann die Verwendung des korrekten Profils aber dadurch bewirken, indem man das Symbol *Maximieren* im Fenster rechts oben betätigt. Manche Programme scheinen das Profil des Hauptbildschirmes zu verwenden, egal auf welchem Bildschirm es gestartet wird. Wiederum andere Programme verlangen, dass man ein Bildschirmprofil in die Programmeigenschaften fix einträgt. Das ist zwar einerseits nicht sehr schön, weil dann immer nur dieses eine Profil eingesetzt wird, egal auf welchem Bildschirm es betrieben wird, andererseits weiß man aber genau, was Sache ist und kann sich dementsprechend verhalten. Es ist also Vorsicht geboten, wenn man Bilddateien bearbeitet und Farben garantiert korrekt beurteilen muss. 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. Es wäre nicht das erste Mal, dass ein Update (egal ob Windows- oder Programmupdate) das Verhalten plötzlich verändert.

Firefox-Browser - Konfiguration für Farbmanagement

Von den drei Browsern Microsoft Edge, Google Chrom und Firefox ist letzterer der einzige Browser, der vollständiges Farbmanagement unterstützt. Dies allerdings nicht in der Standardeinstellung, sondern man muss nachhelfen.



Dazu öffnet man Firefox und trägt anstatt eines üblichen Internet-Links *about:config* ein. Es erscheint dann eine Warnung, welche man quittiert. Um die nötigen Konfigurationsparameter rasch finden zu können, gibt man im Suchfeld *color_* ein. Zwei Konfigurationsänderungen sind zumindest nötig, um Farbmanagement zu aktivieren.

gfx.color_management.mode... 1 Das bewirkt, dass in Bilddateien eingebettete Farbprofile berücksichtigt werden. Anderenfalls werden alle Bilddateien behandelt, als ob es sich um Bilder im sRGB-Farbraum handeln würde.

gfx.color_management.display_profile... *Profilname* Hier ist der Name des Bildschirmprofils inklusive kompletter Pfadangabe einzutragen.

Firefox ist also eines jener Programme, welche nur ein fix eingetragenes Bildschirmprofil anwenden. Wird Firefox auf einem anderen Bildschirm gestartet oder dorthin verschoben, wird ein falsches Profil benützt. Nach der Konfigurationsänderung muss Firefox beendet und neu gestartet werden. Diese Lösung finde ich zwar nicht elegant (verglichen mit dem Verhalten von Photoshop z.B.), ist aber einfach, zuverlässig und robust gelöst. Wichtig ist, dass man weiß, dass Firefox nur auf jenem Bildschirm korrekte Farben zeigt, dessen Farbprofil eingetragen wurde. Wird ein neues Profil erstellt, sollte dies auch wieder in der Firefox-Konfiguration aktualisiert werden.

Exakte Farbwiedergabe durch Weißabgleich?

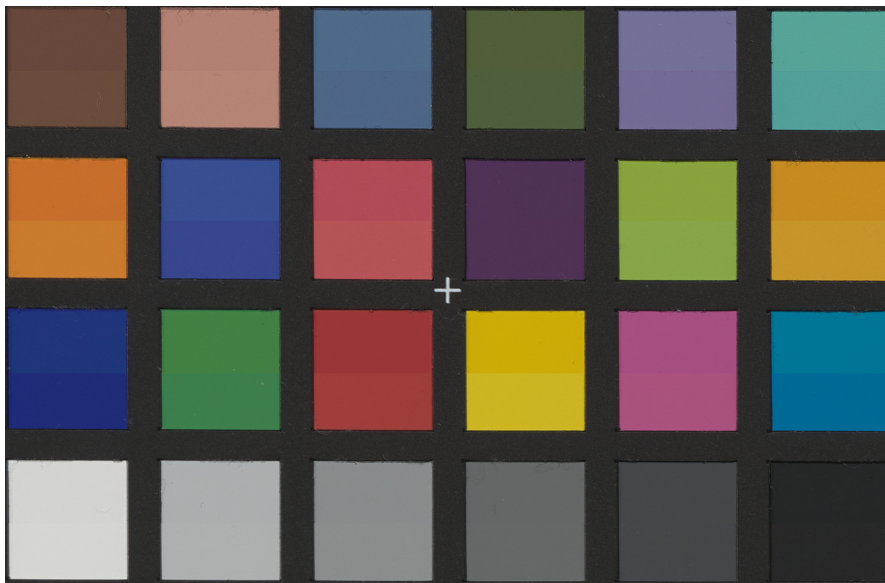
Angenommen, man ist im Besitz eines Kameraprofils, welches speziell für naturgetreue Farbwiedergabe im Fotolabor erstellt wurde. Das Profil sei so perfekt, dass keine Abweichungen vom Original-Kunstwerk feststellbar sind. Kann man mit diesem Profil auch bei anderem Licht exakte Farben wiedergeben?

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.

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 Farbquadrante). 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.

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 perfektste 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.

Internet-Linksammlung

Farbe auf Wisotop Deutschsprachige Seite, die sich ganz allgemein dem Thema Farbe widmet und viele interessante Details und Erklärungen zu Farbmanagement liefert.

International Color Consortium - ICC Hier dreht sich alles um Normen, Profile, Empfehlungen usw. bezüglich Farbmanagement

European Color Initiative (ECI) Das entspricht in etwa dem ICC, aber auf europäischer Ebene

Wikipedia - Farbmanagement Selbstverständlich ist Wikipedia ebenfalls eine interessante Adresse zu diesem Thema. Man suche auch nach *ICC-Profil*, *Farbraum* usw.

Die Windows-Farbverwaltung Informationen über die Windows-Farbverwaltung (bis einschließlich Windows 10)

ICC Profile Conversion Intents Englischsprachige Informationen über Farbraumumwandlung

Black Point Compensation demystified Englischsprachige Information über Tiefenkompensierung

Die Rolle des Profile Connection Space Erklärung der Funktion des PCS

ICC-View Webseite, welche eine 3-D Ansicht von ICC-Farbprofilen ermöglicht (leider nur für Farbprofile der Version V2)

sRGB LUT-Profil sRGB-Farbprofil mit LUT-Tabelle, welche die perzeptive Farbraum-Umwandlung ermöglicht (Nutzungsbedingungen beachten!)

digital dog Englischsprachige Seite rund um digitale Bildbearbeitung

Waveformlighting.com Technisches und Mathematisches rund ums Licht

ICC Profile Inspector Werkzeug zum Anzeigen und Ändern von ICC-Farbprofilen

x-rite Color Checker Camera Calibration Werkzeug zum Erstellen von DNG Kameraprofilen mit Hilfe der Farbtafel *Color Checker*

Adobe DNG Profile Editor Werkzeug zur Erstellung und Bearbeitung von DNG-Kameraprofilen

MPC-BE 'Free Open Source' Video-Player mit Unterstützung von Farbmanagement

Argyll Color Management System 'Free Open Source' Farbmanagementsystem mit vielen Werkzeugen und Anleitungen

ExifTool Kostenloses Werkzeug zum Lesen, Schreiben und Ändern von Meta-Daten in Bilddateien

Lumariver Profile Designer Programm zum Erstellen von ICC-Farbprofilen für Kamera oder Scanner

IrfanView Bildbetrachter mit Unterstützung von Farbprofilen (Freeware für Nicht-Kommerzielle Nutzung!)

cielab.xyz Online-Calculator für diverse Farbraum-Berechnungen