

1 Photography

Copyright © 2010-2016 Dr. Heinz Czapla, www.heinzczapla.de
Alle Rechte vorbehalten.
v3 12.08.2016Cz, v2 22.2.2013, v1 15.7.2010

Inhaltsverzeichnis

- 5 Über Farbmodelle, Farbräume, Bit-Tiefe und andere Unverständlichkeiten
- 5.1 Anlass
- 5.2 Pixel und Auflösung
- 5.3 Pixel oder Dot
- 5.4 Beschnitt
- 5.5 Geradestellung
- 5.6 Farbmodell
- 5.7 Pixel und Farbkanäle
- 5.8 Sensor-Technik: CCD und CMOS
- 5.9 Sensoren liefern farbige Bilder – oder?
- 5.10 Sensoren: Je mehr Pixel, desto besser?
- 5.11 Farbraum
- 5.12 Farbtiefe und Bit-Tiefe
- 5.13 Farbumfang oder Gamut
- 5.14 Zusammenfassung
- 5.15 Literatur

5 Über Farbmodelle, Farbräume, Bit-Tiefe und andere Unverständlichkeiten

5.1 Anlass

In kaum einem Bereich der digitalen Fotografie besteht mehr Verwirrung um Begriffe und Abkürzungen als bei den theoretischen und praktischen Grundlagen. Was haben *RGB* und *sRGB* miteinander zu tun? Beschreiben die Farbtiefen von *16bit* und *48bit* den gleichen Sachverhalt? Vieles bedarf einer Klarstellung, um die Bedeutung richtig erfassen zu können. Nachfolgend wird eine Auswahl behandelt, die einige für den Anwender wichtige Grundlagen der digitalen Fotografie erläutert. Manche andere Begriffe werden in den Kapiteln besprochen, in denen sie verwendet werden.

5.2 Pixel und Auflösung

Das von einem digitalen Fotosensor aufgenommene Bild besteht aus einer Anzahl von **Pixeln**. Mit Pixel bezeichnet man also sowohl die kleinste darstellbare Bildeinheit an sich als auch die kleinste lichtempfindliche Einheit des Sensors. In diesem Sinne wird der Begriff Pixel auch bei Displays, Printern und anderen bildgebenden Geräten und Verfahren angewendet.

Die **Auflösung** bezeichnet die Bildgröße in Pixel. Dabei kann einmal die Bildgröße über die Kantenlänge (Format) angegeben werden, z.B. 3876x2584 Pixel, oder als Ergebnis der Multiplikation mit hier 10,02 Millionen Pixel oder ca. 10 Megapixel (10 MP) benannt werden. Zum Vergleich: Ein Bildschirm im HD-Format hat ca. 2,05 Megapixel. Aus diesen Zahlen lässt sich auch das maximale Druckformat bestimmen.

Auflösung und Druckformat bei einer 10Megapixel-Kamera:

Bei einer Auflösung von z.B. 3876x2584 Pixel und bei einem gängigen Ausgabewert von 240ppi (Pixel per Inch) ist das maximale Druckformat $(3876/240) \times (2584/240) = 16,15" \times 10,77"$ bzw. 41,02 x 27,36cm. Bei Ausgabe mit 180ppi vergrößert sich das Druckformat auf 21,53" x 14,36" bzw. 54,69 x 36,47cm (circa-Maße, 1 Inch = 1 Zoll = 1" = 2,54cm).

Bei einer **Herabsetzung der Auflösung** bleibt die Bilddarstellung erhalten, lediglich wird der gleiche Bildinhalt mit einer geringeren Anzahl von Pixeln dargestellt. Im obigen Beispiel könnten dies nun 1080 x 720 Pixel sein (empfohlene höchste Auflösung für Internet, Bildformat 2:3).

Eine **Heraufsetzung der Auflösung** ist nicht unproblematisch, da der Algorithmus zur Erzeugung neuer Pixel zweifelhaft ist. Die von uns verwendete Bildbearbeitungssoftware (Photoshop) erlaubt eine Heraufsetzung um den Faktor 1,5 (nach anderen Quellen Faktor 2). Für noch größere Faktoren ist Spezialsoftware erforderlich, die allerdings sehr effektiv sein kann. Desweiteren ist zu bedenken, dass größere Bilder aus einem größeren Abstand betrachtet werden. Dann können weniger Pixel pro Inch dargestellt werden, ohne den Schärfeeindruck zu schwächen. Aus diesen Gründen ist es möglich, mit einer hochwertigen 10MP-Kamera sogar Bilder für Plakate zu erstellen.

5.3 Pixel oder Dot

Die Begriffe **ppi (Pixel per Inch)** und **dpi (Dots per Inch)** unterscheiden sich wie folgt: ppi bezeichnet die Anzahl der Pixel, die entlang der horizontalen bzw. der vertikalen Richtung auf dem Papier gedruckt werden. Auf einem Tintenstrahldrucker sind zur Darstellung einer Farbe aber mehrere Tintenpunkte ('dots') nötig, die erst in ihrer Zusammenwirkung dem Auge den gewünschten Farbeindruck vermitteln. Oft sind dies ca. 1440 'dots per inch' (daher dpi). Zur Abbildung 1 Pixels sind bei z.B. 240ppi also $6 \times 6 = 36$ dots nötig ($1440 \text{dpi} / 240 \text{ppi} = 6$ Dots pro Pixel). Hierbei ist die Fläche zur Darstellung eines Pixels quadratisch. Es gibt auch Systeme, in denen diese Fläche rechteckig ist, was für uns aber keine Bedeutung hat und hier nicht weiter betrachtet werden soll. Nicht selten findet man die Bezeichnungen **Pixel und Dot verwechselt**.

5.4 Beschnitt

Beim **Beschnitt** eines Bildes wird ein Ausschnitt als ein neues Bild festgelegt. Die Pixel innerhalb eines Ausschnittes werden übernommen. Das neue Bild hat insgesamt weniger Pixel als das alte. Die Auflösung ist also geringer, bezogen auf das ursprüngliche Bild. Wird jedoch für den Druck der ppi-Wert beibehalten, ergibt sich ein gleichgroßer Ausschnitt aus dem ursprünglichen Bild mit gleicher Auflösung.

5.5 Geradestellung

Die **Geradestellung** des Horizontes oder die senkrechte Ausrichtung z.B. einer Gebäudekante sind nichts anderes als kantenparallele Ausrichtungen von Bildinhalten. Da Geradestellung durch Verdrehen des Bildes erreicht wird, ist sie immer auch mit einem Beschnitt verbunden. Ähnliches gilt für das lineare Verzerren (Entzerren) von Bildern

5.6 Farbmodell

Das **Farbmodell** bezeichnet das Verfahren, nach dem Farbe beschrieben wird und ist bei unseren Anwendungen immer **RGB** (Red-Green-Blue). RGB ist die Farbdarstellung auf dem PC und den mit ihm verbundenen Eingabe- und Ausgabegeräten, wie Digital-Kamera, Scanner, Bildschirm, Beamer und Fotodrucker. Es gibt auch andere Farbmodelle, z.B. hat **CMYK** (Cyan-Magenta-Yellow-Key (schwarz = black)) aus technischen Gründen besondere Bedeutung in der professionellen Drucktechnik. Wir beschränken uns bei unseren Anwendungen auf das Farbmodell RGB, das auch das einzige Farbmodell unserer Geräte ist.

Additive und subtraktive Farbmodelle:

Das **RGB-Farbmodell** beruht auf einer **additiven** Farbmischung. Einem schwarzen Hintergrund wird Licht beigelegt um Farben zu erzeugen. Die Farben Rot, Grün und Blau erzeugen zusammen Weiß. Ursprung ist die Simulation der Farberzeugung auf einem Monitor.

Das **CMYK-Farbmodell** beruht auf einer **subtraktiven** Farbmischung. Die CMY(K) Pigmente subtrahieren farbliche Wellenlängen einfallenden Lichts, wodurch andere Farben reflektieren. Cyan reflektiert rote, Magenta grüne und Yellow blaue Bestandteile des Lichts. CMY ergeben zusammen Schwarz. Der Vorgang findet vor einem weißen Hintergrund statt. Da die Farbmischung in der Praxis aber oftmals nicht das gewünschte Tiefschwarz ergibt, steht Schwarz als eigene Farbe separat zur Verfügung. Ursprung ist die Farberzeugung beim Druck auf Papier.

Allerdings gibt es noch ein Farbmodell, das wir erwähnen sollten: das **Lab-Farbmodell** (CIE L*a*b). Es basiert auf der menschlichen Farbwahrnehmung. Da das Lab-Modell beschreibt, wie eine Farbe aussieht, anstatt fest-

zulegen, wie viel eines bestimmten Farbstoffs ein Gerät (Monitor, Drucker, Digital-Kamera) zur Darstellung von Farben benötigt, gilt das Lab-Modell als *geräteunabhängiges* Farbmodell. Das Lab-Modell kann als Farbreferenz verwendet werden, um eine Farbe zuverlässig von einem Farbraum in einen anderen zu transformieren. Anwendung findet es z.B. bei der Kalibrierung von Monitor und Drucker.

5.7 Pixel und Farbkanäle

Ein Pixel besteht aus lichtempfindlichen Zellen, die jeweils nur Rot, Grün oder Blau aufnehmen können. Ein Pixel hat in seiner Grundfläche aus geometrischen Gründen genau 4 solcher jeweils gleich großen Zellen. Da Grün auf der Erde besonders oft vorkommt, sind 2 Zellen grünempfindlich, die beiden anderen Zellen sind für Rot bzw. Blau zuständig.

Es ist auch ein Pixel vorstellbar, bei dem die Dioden für Rot, Grün und Blau übereinander liegen. Jede einzelne Diode ist dann praktisch so groß wie der Pixel selbst und die Lichtausbeute könnte entsprechend größer sein. Oder der Pixel ist bei gleicher Größe des Sensors entsprechend kleiner, wodurch die Auflösung steigen würde. Für handelsübliche Fotoapparate ist diese Konstruktion aber nach unserem Wissen bislang nur von Sigma verwendet worden. Bei unseren Überlegungen wird sie daher in den nachfolgenden Abschnitten nicht weiter berücksichtigt.

Insgesamt ergeben sich also in jedem Fall 3 Farbkanäle, jeweils einer für Rot, Grün oder Blau.

Die Aufteilung eines Pixels in horizontal - oder vertikal - getrennte Teilflächen führt zu einer verfahrensbedingten Unschärfe, die später durch Schärfen des Bildes (in Photoshop z.B. *Unschärf maskieren*) behoben wird.

5.8 Sensor-Technik: CCD und CMOS

CCD-Sensoren können die Bilddaten ausschließlich für ein fotografiertes Bild auslesen. Auf dem rückseitigen Display der Camera können daher nur die bereits abgespeicherten Bilder angezeigt werden.

CMOS-Sensoren können die Bilddaten des Sensors immer wieder erneut auslesen. CMOS-Sensoren sind die Voraussetzung dafür, dass auf dem Display der Camera ständig angezeigt wird, was der Sensor gerade sieht. Dies nennt man landläufig Live-View. Nur mit CMOS-Sensoren können auch Videos erstellt werden. Die Fähigkeit des ständigen Auslesens erfordert eine aufwändige Verdrahtung der Pixel. Auf diese Weise ist ein erheblicher Anteil der Sensorfläche für die Lichtaufnahme blockiert.

Auf diese Weise sind die CCD-Sensoren prinzipbedingt den CMOS-Sensoren in der Bildqualität eigentlich überlegen. Mittlerweile hat die Firma Leica jedoch einen CMOS-Sensor entwickelt, der in seiner Art einmalig ist und bisher von dieser Firma verwendeten CCD-Sensoren qualitativ erreicht, wenn nicht übertrifft.

5.9 Sensoren liefern farbige Bilder, oder?

Wenn man die zig-Millionen von bunten digitalen Fotografien bedenkt, die täglich ins Internet hochgeladen werden, so könnte man zu dem Ergebnis kommen, dass die Sensoren farbige Bilder erzeugen. Dies ist aber nicht der Fall. Die Sensoren können nur Graustufen zwischen Schwarz und Weiß erkennen. Dies gilt, obwohl wir von den drei Farbkanälen Rot, Grün und Blau gesprochen haben. Die Grauwerte in den drei Farbkanälen werden nach Auslesen des Sensors durch den in der Camera eingebauten Computer und geeignete Software in die entsprechenden Farbwerte umgerechnet und dann als Bilddatei abgelegt. Die Sensoren können also tatsächlich nur Schwarz/Weiß.

Will man als Ergebnis Schwarz/Weiß-Bilder haben, muss man diese durch (nachträgliche) Bildbearbeitung erzeugen. Dazu werden die Farbbilder z.B. entsättigt. Man geht also immer den Umweg über Farbbilder, obwohl im Sensor doch bereits die Graustufeninformationen vorgelegen hatten.

Die Firma Leica hat unseren Wissens die einzige Camera im Programm, mit der ausschließlich Schwarz/Weiß-Fotos direkt aufgenommen und abgespeichert werden können, die Leica M Monochrom. Dabei wird u.a. auf die sonst üblichen Farbfilter vor der Sensoroberfläche verzichtet. Dafür kann in jeder Teilfläche das volle Schwarz/Weiß-Spektrum aufgezeichnet werden. Der offenbare Erfolg gibt der Methode Recht.

5.10 Sensoren: Je mehr Pixel, desto besser?

In der landläufigen Auffassung ist ein Sensor umso ‚besser‘, je mehr Pixel er hat. Dies führt zu der Situation, dass es bereits Smartphones mit 40Megapixel gibt. Tatsächlich ist die Anzahl der Pixel nur ein Parameter von mehreren, der etwas über die zu erwartende Bildqualität aussagt. Es ist sicher leicht nachzuvollziehen, dass bei sonst gleichem Aufwand die zu erwartende Bildqualität prinzipiell umso größer ist, je größer der einzelne Pixel ist. Die Bildqualität steigt also bei gleicher Pixelzahl auch mit der Größe des Sensors. Mit einer hohen Anzahl von Pixeln auf einer möglichst kleinen Sensorfläche nehmen dagegen Störeffekte, wie z.B. Rauschen stark zu. Dies, weil nur noch wenig Licht pro Pixel eingesammelt werden kann. Mit Hinblick auf das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist eine Sensorgröße von 20-30Megapixel völlig ausreichend. Dies hängt natürlich auch von dem gewünschten Vergrößerungsmaßstab und dem Betrachtungsabstand ab. Aber anstelle die Megapixel immer höher zu treiben, wäre eine Verbesserung der Dynamik und des Rauschverhaltens – um nur zwei Faktoren zu nennen – wohl wünschenswerter.

5.11 Farbraum

Der **Farbraum** bezeichnet einen begrenzten Ausschnitt aus der Menge aller denkbaren Farben. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass das menschliche Auge nicht alle Farben sehen kann und, dass Ausgabegeräte nicht einmal alle sichtbaren Farben darstellen können. Aus Gründen der Einfachheit werden die Farbräume zunächst ebenfalls mit den Namen der Farbmodelle, z.B. mit RGB, CMYK oder Lab bezeichnet. Jeder dieser Farbräume hat etwas andere Begrenzungen. **Lab** markiert den größten Farbraum. Innerhalb von **RGB** gibt es nochmals unterschiedliche Varianten. Auf Bildschirmen kann nur der Farbraum **sRGB** (genauer: sRGB IEC61966-2.1) dargestellt werden, auf Druckern auch der größere Farbraum **Adobe RGB 1998 (kurz Adobe RGB, oft nur RGB)**. Mittlerweile gibt es aber auch schon Bildschirme für spezielle Anwendungen, die Adobe RGB zeigen können. Wie bereits erwähnt, ist im professionellen Druck aus technischen Gründen auch der Farbraum **CMYK** verbreitet, der aber nur ein Ausschnitt aus sRGB ist.

Die Bildbearbeitungssoftware (z.B. Photoshop) erlaubt den Wechsel zwischen den Farbräumen. Es ist aber sinnlos von einem kleineren in einen größeren Farbraum zu wechseln, da der größere Farbraum nicht genutzt werden kann. Die Bildbearbeitung erfolgt vorteilhaft immer nur in dem größtmöglichen Farbraum, wie er von der Kamera oder dem Scanner kommt (hier also Adobe RGB oder bei älteren Kameras sRGB). Ist ein kleinerer Ausgabefarbraum erwünscht, erfolgt die Wandlung immer zum Ende der Bildbearbeitung - allerdings vor dem Schärfen (s.u.).

Werden die Bilder mit der Digital-Kamera in einem der **Raw-Formate** gemacht (z.B. **DNG** oder **RAW**), ist der Farbraum gewöhnlich noch etwas größer als Adobe RGB. Bei der Weiterverarbeitung ist dieses Mehr an Daten aber nicht zugänglich.

Wie man sich denken kann, gibt es auch noch andere Farbräume, die aber für den normalen Fotografen kaum Bedeutung haben und daher hier nicht weiter betrachtet werden sollen.

5.12 Farbtiefe und Bit-Tiefe

Die **Farbtiefe** oder **Bit-Tiefe** beschreibt die Größe des Speicherplatzes, in dem die Farbinformation für einen Pixel abgelegt werden kann. Im JPEG-Format beträgt die Farbtiefe immer **8bit/Farbkanal (gesamt 24bit)**, entsprechend 256 Farben pro Kanal bzw. 16,7 Millionen darstellbarer Farben insgesamt. Kameras liefern im Raw-Format (z.B. DNG oder RAW) oft **16bit/Farbkanal (gesamt 48bit)**, ebenso Scanner im TIFF-Format (65.536 Farben/Kanal und unvorstellbare $2,81^8$ Millionen Farben insgesamt). Diese Zahlen werden jedoch dadurch relativiert, dass viele Kameras nur tatsächliche Farbtiefen von 10 bis 12bit/Kanal haben, die dann in 16bit abgelegt werden.

Wenn Eindruck gemacht werden soll, wird oft die größere Gesamtzahl genannt, sonst die Zahl pro Kanal. Auf diese Weise beschreiben die Angabe von 16bit oder 48bit Farbtiefe den gleichen Sachverhalt (16bit/Kanal sind 48bit insgesamt).

Eine Erhöhung der Farbtiefe im Bildbearbeitungsprogramm ist fragwürdig wenn nicht sinnlos, weil der Erzeugung neuer Farben die Basis fehlt. Die Bildbearbeitung erfolgt immer mit der größtmöglichen Farbtiefe, wie sie von der Kamera oder vom Scanner kommt. Eine eventuell gewünschte Herabsetzung der Farbtiefe erfolgt ebenfalls (oft zusammen mit einer Änderung des Farbraums) am Ende der Bildbearbeitung - direkt vor dem Schärfen (s.u.). Beide Farbtiefen lassen sich sowohl in den Farbräumen sRGB als auch Adobe RGB 1998 anwenden.

Auch im LAB-Farbraum lassen sich Bit-Tiefen von wahlweise 8bit oder 16bit verarbeiten. Den drei Farbkanälen in RGB entsprechen jetzt drei Koordinatenwerte.

5.13 Farbumfang oder Gamut

Der **Farbumfang (Gamut)** gibt die Gesamtheit der in einem Farbraum oder von einem Gerät darstellbaren Farben an. Es ist z.B. der Farbumfang von Adobe RGB 1998 größer als von sRGB. Umgekehrt ist der Farbumfang von CMYK kleiner als der von sRGB. Der Gamut einer bestimmten Digital-Kamera kann größer sein als der einer anderen.

5.14 Zusammenfassung

Zum Schluss noch einmal der **Zusammenhang zwischen Farbmodell, Farbraum, Farbtiefe und Farbumfang**. Das **Farbmodell** gibt an, nach welchem Verfahren Farbe beschrieben wird. Der **Farbraum** gibt an, welche Farben prinzipiell dargestellt werden können. Die **Farbtiefe** gibt an, wie viel Zwischentöne dargestellt werden können. Der **Farbumfang** schließlich erlaubt eine Aussage darüber, ob mit einem bestimmten Farbraum oder Gerät mehr oder weniger Farben dargestellt werden können als mit einem anderen.

Als Beispiel: Stellen wir uns einen Farbraum vor, in dem die Farbe Blau nicht enthalten ist. Auch mit noch so großer Farbtiefe lässt sich Blau dann nicht erzeugen. Allerdings lassen sich mit größerer Farbtiefe in den verbleibenden Farben mehr Zwischentöne darstellen als bei geringerer Farbtiefe. Der Farbumfang unseres Beispiel-Farbraumes ist aber kleiner als der unseres Druckers, der auch Blau und seine Mischfarben drucken könnte, wenn sie denn angeliefert würden. In diesem Sinne kann man auch sagen: Der Gamut unseres Druckers ist größer als der von unserem Beispiel-Farbraum.

5.15 Literatur

- [1] Verwenden von Adobe Photoshop CS4. Adobe Systems Incorporated, Part Number 91000989 (10/2008), in weiten Bereichen auch anwendbar für neuere Photoshop-Versionen
- [2] Gulbins, Jürgen, Steinmüller, Uwe: Fine Art Printing für Fotografen. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2009
- [3] Krell, Ron: Color Management unkompliziert! Seminar, Profoto GmbH, Darmstadt, 28.09.2009
- [4] Mühlke, Sibylle: Adobe Photoshop CS6 und CC. Das umfassende Handbuch. Edition Page, Rheinwerk Verlag, Bonn, 2016