



Farben als Bits und Bytes 1

- in einer digitalen Kamera
von Adrian Ahlhaus, 11.12.2006

Zusammenfassung: *Über Farben und Farbräume wird zwar viel geschrieben, doch dies ist eher ein Indiz dafür, wie komplex die Materie ist, als dass einsichtige, weil verständliche Zusammenhänge beschrieben werden.*

Der Blick auf das Eigenleben eines Bildsensors, „Rauschen“ genannt, verdeutlicht, wie unerhört schwierig Farben in einer als „präzise“ gelobten digitalen Bildaufzeichnung zu beherrschen sind

Welches Spektrum sieht das menschliche Auge und wie wird dieses Spektrum digital umgesetzt?

Wie geschieht die abstrakte Umsetzungen der realen Farbenwelt in Bilddaten und welche Folgen hat dies?

Farben sind in der digitalen Bildaufzeichnung nicht leichter zu beherrschen, als in früheren Zeiten. Im Gegenteil, die vielfältigen Möglichkeiten der Einflussnahme gehen Hand in Hand mit vielfältigen Fehlerquellen, die zu unterdrücken nicht nur ein handwerklich noch präziseres Arbeiten voraussetzt und auch weitaus mehr theoretische Vorkenntnisse verlangt, sollen in der Praxis die realen Farben weitgehend unverfälscht im Bild wiedergegeben werden, so wie dies von der digitalen Technik vorausgesetzt wird.

Dabei ist die Bildaufzeichnung nur der erste Arbeitsschritt im fortlaufenden Prozess bis zum Bild. Doch schon dieser erste Schritt entscheidet über die technische Qualität des künftigen Bildes, denn jede errungene Qualität gilt es so weit als möglich zu erhalten.

Gerne und immer wieder wird über „Farbräume“ in der digitalen Fotografie diskutiert. Dabei wird eher übersehen, dass die Übertragung von Farben von den Objekten aus der realen Welt in die Abbildung dieser Objekte auf einem Bild, ob gedruckt oder als Foto-Abzug, schon seit den Anfängen der Lichtbildnerei zu den ältesten und wichtigsten aller Gespräche gehörte, gleichermaßen unter den Fachleuten und den Amateuren.

Unterschieden haben sich die Diskussionen der beiden Gruppierungen immer dann, wenn von einem künstlerischen oder von einem technischen Standpunkt aus über Farbwiedergabe gesprochen wurde.

Denn während die technische Probleme, insbesondere die Reproduzierbarkeit von realen Farben, über den Film hin zum Abzug und auch zum Druck, zu der beruflichen Spezialisierung des Reprofotografie führte, suchten die engagierte Amateurwelt mit der Forderung nach möglichst stetigen, gleichbleibenden Materialien den Weg zu leichter verständlichen Arbeitsschritten. Für beide Seiten galt und gilt: Filme und Papiere sollen Eigenschaften haben, die mit immer gleichbleibenden, prozessiven Eingriffen die Kontrolle über vorhersehbare Resultate ermöglicht.

Die digitale Fotografie schien diese Probleme ganz nebenbei lösen zu können, denn die Bilddaten bleiben bei jedem Arbeitsschritt unverändert, solange nicht neue und korrigierte Bilddaten geschaffen werden.

Auch schien die Weitergabe von Bilddaten völlig unproblematisch zu sein, denn dabei ändert sich nun wirklich nichts. Das ist zwar richtig, aber nichts wirklich bedeutsam. Denn auch bei der Weitergabe von Negativ oder Dia änderte sich nichts. Hochwertige Kopien ohne Qualitätsverluste anzufertigen ist auch kein ernsthaftes Problem.

Man konnte verkürzt denken, weil sich bei der Weitergabe der Bilddaten nichts ändert an den Daten, deshalb hat jeder Nutzer oder Nutzerin die optimale Vorlage, unabhängig von den früherer Unwägbarkeiten der Filme, von schwerlich messbaren oder bestimmbar Gra- und Farbwerten, oder chemische Prozesse, die alles wieder ändern konnten.

Mit der digitalen Technik stehen nun tatsächlich Zuordnungen zur Verfügung, die jeder realen Farbe, ob unbunt oder bunt, einen Wert in Bits zuweisen. Allerdings ist das nicht absolut zu sehen.

Schon bei jeder Kamera gibt es ein individuelles Verhalten des Bildsensors. Dieses Eigenleben ist besser nachweisbar als dies bei einem Fingerabdrucke, weil extrem viele, individuelle Eigenheiten festgestellt werden, die trotz der engen Toleranzen bei der Produktion vorhanden bleiben.

Hier ein Sensor, der ein dunkles Grau erzeugen soll, als reales Abbild.

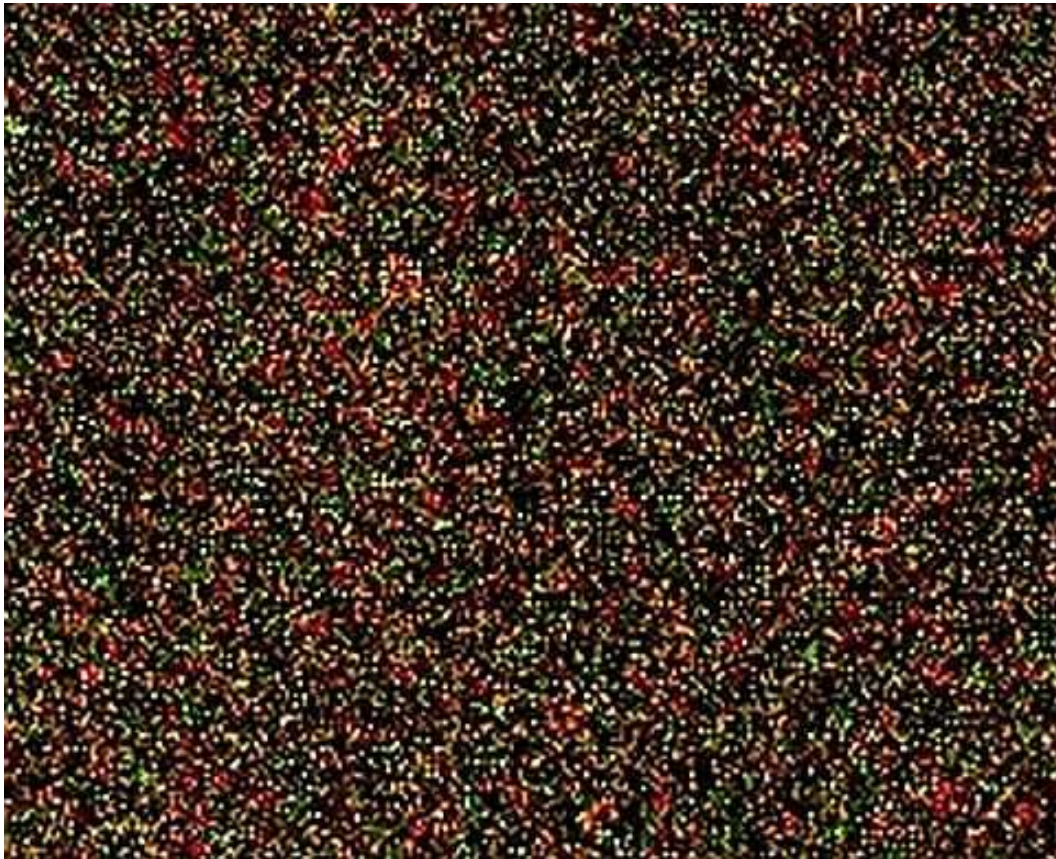


Es handelt sich um die verkleinerte Kopie eines Bildsensors, wie dieses von der Kamera ausgezeichnet wird. Das sichtbare Eigenleben erzeugt ungleichmäßige Helligkeiten und Farben. Deutlich sichtbar: Die Ungleichmäßigkeit tendiert ausgeprägt nach Rot. Man kann also vermuten, dass eine solche Farbverschiebung in jedem Bild sichtbar wird. In der Praxis zeigt dieser Chip ein stärkeres Rauschen in der Farbe rot, als in den anderen Farbanteilen.

Wer genau hinsieht erkennt eine großflächigere Struktur. Diese ist der individuelle „Fingerabdruck“ des Bildsensors. Das sichtbare Muster ist typisch für allein diesen Bildsensor. Sein Muster lässt sich fortan aus Milliarden anderer Bilder herausfiltern und allein diesem Bildsensor zuordnen, selbst wenn die Bilder verkleinert oder

sonstwie bearbeitet wurden.

Noch ein Blick auf einen Ausschnitt, weil wohl kaum jemand die Daten eines Sensor so genau als Bild gesehen hat. (Es handelt es sich um das Abbild eines RAW-Formates. Die geringe Schärfe ist ein Ergebnis der starken Bearbeitung für dieses Dokument, um eine extrem lange Ladezeit zu vermeiden.)



Beim Blick auf den Bildsensor verfliegt jede Illusion über die Präzision von gerechneten Farbwerten, die angeblich jederzeit reproduzierbar seien.

Zugleich ist dieser Anblick ein Argument für ein Farbmanagement und dafür, dass jeder Hersteller eine eigene Software zur Konvertierung von RAW-Formaten, sowie generell zur Rauschminderung anbieten sollte, denn Bildsensor und Software haben einen erheblichen Einfluss auf die Ausgabedaten eines Bildes. Die Hersteller sollten eigentlich am besten Wissen, wie die wildgewordenen Einzelsensoren eines Chips zu einem möglichst präzisen Bild zusammen gerechnet werden können.

Allerdings beweisen verschiedene Hersteller mit ihren Kameramodellen, dass da noch vieles zu tun ist. So las ich bei „dpreview“ von einem eher wertlosen RAW-Konverter, siehe hier:

www.dpreview.com/reviews/samsungpro815/page16.asp

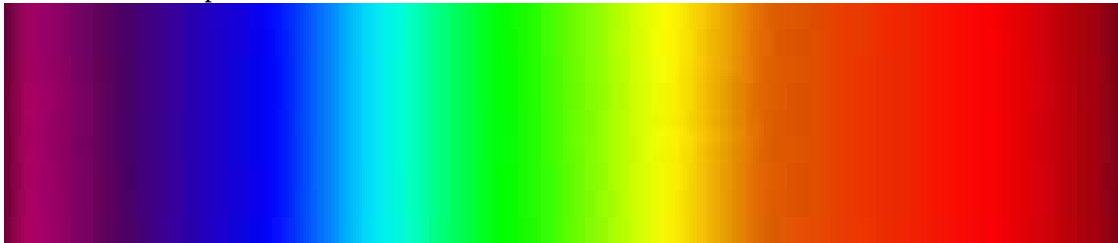
Das die Software in Kameras tatsächlich nicht gut funktionieren muss, kann nachgelesen werden, wenn in leider vielen Tests beispielsweise von sichtbaren, „aquarellartigen“ Effekten geschrieben wird. (Eine Umschreibung für: nahezu unbrauchbar.)

Die stetige, elektrische (analoge) Ladung von Einzelsensoren auf dem Bildsensor wird durch einen Prozessor für die digitale Bearbeitung in abgestufte Farbwerte übersetzt.

Allein die Abstufungen entscheidet über die Zuordnung der Signale zu Farbwerten und damit über die maximal mögliche Qualität aller analog erfassten Bilddetails. Dabei ist es den Herstellern der Kameras über die letzten Jahre gelungen, mit Hilfe unkritischer Amateure, den kritischen Blick von der Qualität der A/D- Wandlung abzuwenden, auch, weil es kein separates Bauelement dafür gibt. Dabei wäre allein die Qualität dieser Datenwandlung schon ein Maßstab für das Differenzierungsvermögen der Hardware. Es gibt die mit dieser Aufgabe betrauten elektronische Bauteil innerhalb der CPU jeder Kamera. Jedes Auslesen der Daten eines Bildsensors hat die Funktion der Diskretion. (In Foren wie bei „www.digicamfotos.de“ gibt es sogar Leutchen, die einen A/D-Wandler leugnen – Aber sie „beraten“ intensiv andere...)

Wie sieht es auch, wenn Farben in Abstufungen zerlegt werden? (Natürlich kann ein üblicher Monitor mit einer 8-Bit-Darstellung, mit „nur“ über 16 Mill. Farben, nicht die feineren Abstufungen darstellen. Diese sind in den Bild unten quasi simuliert wiedergegeben.)

Das sichtbare Spektrum:



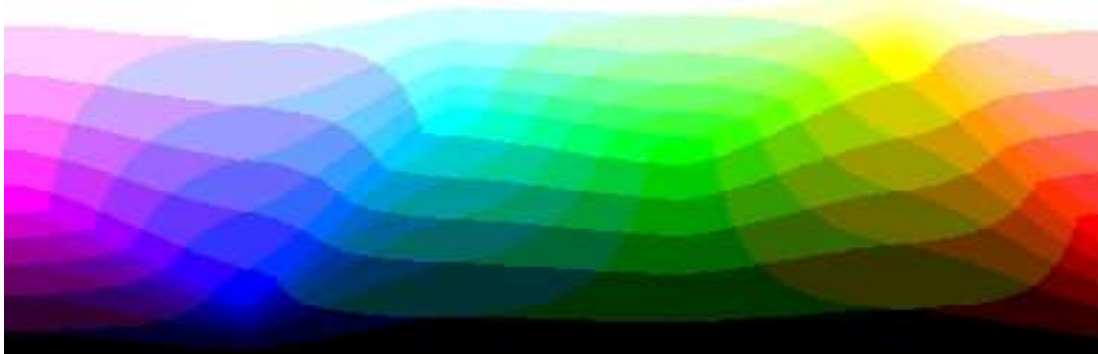
Das Spektrum in einer Abstufung von 24 Bit
(von oben – hell – nach unten – dunkel)



Das Spektrum in einer Abstufung von 16 Bit



Das Spektrum in einer Abstufung von 8 Bit

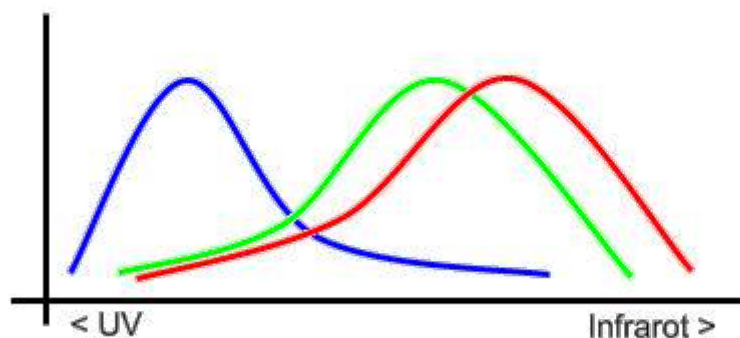


Zwischen 24 und 16 Bit mag man auf den ersten keinen Unterschied erkennen. Erst der Blick auf die Differenzierung im Farbbereich blau macht sichtbar, worauf zu achten ist: Auf die Übergänge der Farben. Dann sieht man bei 16 Bit deutlich weniger differenzierte Abstufungen.

Das Ziel jeder diskreten Darstellung sollte sein, eine der menschlichen Wahrnehmung ähnliche Farbdarstellung zu bieten. Dabei erfassen die im Auge vorhandenen drei Rezeptoren für farbiges Licht, die Zäpfchen, nicht gleichermaßen das Lichtspektrum von etwa 350 bis etwa 750 nm (Nanometer).

(Es gibt zu den Eckwerten leicht unterschiedliche Angaben in der Literatur. Einig ist man darin, dass das sichtbare Spektrum irgendwo von blau bis rot reicht.)

Die spektrale Empfindlichkeit des Auges



Da die höchsten Empfindlichkeiten für Rot und für Grün enger beieinander liegen, diese Mischung gelb ergibt, lässt sich festhalten, dass die höchste Empfindlichkeit des Auges für die Farbwahrnehmung des Lichts im gelben Bereich des Spektrums liegt.

Um eine möglichst optimale Qualität für die Bearbeitung von Bildern zu erhalten, sind die höheren Auflösungen in differenzierteren Abstufungen zu bevorzugen, insbesondere, wenn man bedenkt, dass bei jedem Schritt der Bearbeitung ein Anteil von Bilddetails und Farbinformationen verloren geht.

Je besser also die Qualität der ursprünglichen Bilddaten ist, desto mehr Differenzierung kann verloren gehen, ohne dass die Verluste im Bild sichtbar werden.

Tatsächlich kann ein Auge nur etwa 10 Millionen Farben unterscheiden. Ein Farbraum mit 8 Bit ist vollkommen ausreichend für eine hervorragend realistische Farbdarstellung, wie dies mit dem Farbraum von „sRGB“ existiert, bei den üblichen

Monitoren. Die Beschränkung des Farbraum auf 8 Bit besteht auch bei den Bilddateien in JPG und in 8-Bit-TIFF, ebenso für Drucker.

Eine bessere Qualität wird immer dann benötigt, wenn mehrere Arbeitsschritte bis zum endgültigen Bild notwendig sind. Dies liegt vor sobald ein Bild bearbeitet werden muss, um beispielsweise Tonwerte, Kontraste und Gamma anzugleichen oder Bilddaten von einem in einen anderen Farbraum konvertiert werden müssen.

Bleibt ein Bild im selben Farbraum, zum Beispiel „sRGB“, braucht man keine besserer Qualität, als dies mit dem Format JPG oder TIFF in 8 Bit bereits geboten wird. Das ist der Fall, wenn ein Bild von der Kamera oder einem Speichermedium direkt auf einem Bildschirm übertragen und angesehen wird.

Erst ein wiederholtes Abspeichern in JPG mindert die Qualität von Mal zu Mal durch die fortwährende Komprimierung der Bilddaten, die regelrecht „eingedampft“ werden. Beim Format TIFF (auch TIF geschrieben) geschieht diese Minderung der Qualität nicht.

Eine Wechsel des Farbraums findet auch dann statt, wenn ein Bild ausgedruckt wird. Hier wechselt der Farbraum von den RGB-Farben (rot/grün/blau) zu denen des Drucks in CMYK (türkis/purpur/gelb/schwarz). Dabei geht ein Teil der Farbinformation bei jedem Bild verloren, denn nicht alle selbstleuchtenden Farben von RGB können in die reflektierenden Farben für den Druck, in CMYK, übertragen werden.

Die Kontrolle über jene Farben, für die es keine gleichwertigen Farbwerte in einem anderen Farbraum gibt, ist eine der wesentlichen Aufgaben eines Farbmanagements.

Bei jedem Ausdruck eines Bildes tritt dieses Problem auf.

(c) 2006 Adrian Ahlhaus, Göttingen