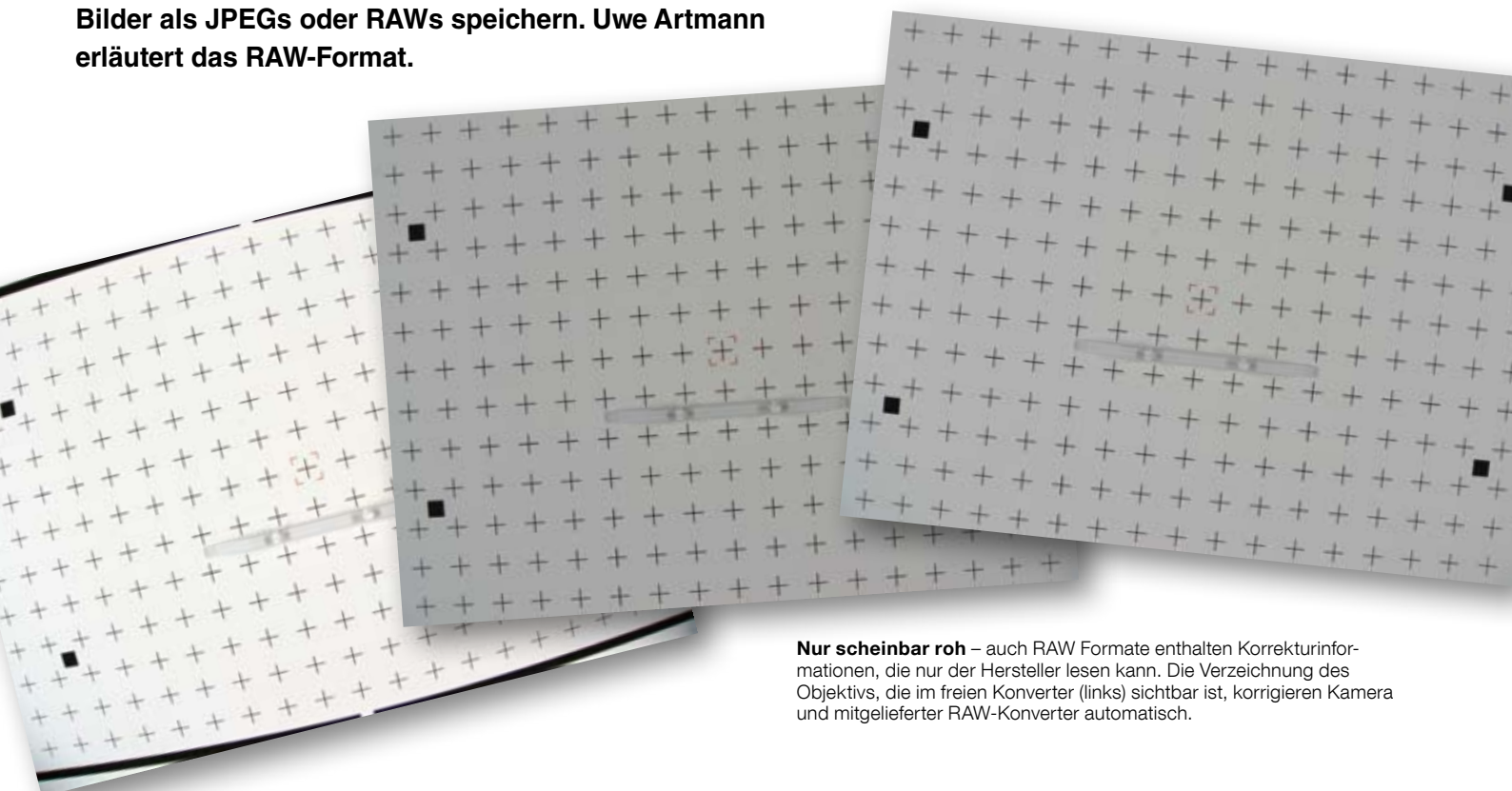


# Wie roh ist RAW?

**RAW oder JPEG? Wer mit Spiegelreflexkameras fotografiert, hat die Wahl und kann seine Bilder als JPEGs oder RAWs speichern. Uwe Artmann erläutert das RAW-Format.**



**Nur scheinbar roh** – auch RAW Formate enthalten Korrekturinformationen, die nur der Hersteller lesen kann. Die Verzeichnung des Objektivs, die im freien Konverter (links) sichtbar ist, korrigieren Kamera und mitgelieferter RAW-Konverter automatisch.

Die meisten Fotografen speichern ihre Bilder im praktischen JPEG-Format. Das ist effektiv, bietet eine gute Qualität, und auf jedem Rechner gibt es eine Software, die JPEGs öffnet. Die – bessere? – Alternative ist das RAW-Format, von manchen auch als digitales Negativ bezeichnet. Dieser Vergleich geht fraglos zu weit, aber das RAW-Format bietet dem Fotografen mehr Korrekturmöglichkeiten, da die Kameras beim RAW-Format deutlich weniger bearbeitete Datensätze ablegen. Unbearbeitet sind aber auch RAW-Bilder nicht. Dies gilt sowohl für Entrauschprozesse auf dem Sensor wie für spätere Eingriffe. Allerdings ist das RAW-Format nicht standardisiert. Jeder Hersteller entwickelt sein eigenes RAW-Format, das sich von einer zur nächsten

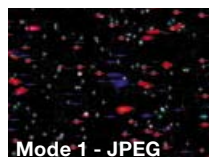
Kamerageneration ändern kann und von einigen Herstellern auch nicht offen gelegt wird. Der Sensor in einer Digitalkamera, egal ob CCD- oder CMOS-Bauweise, erfasst das auftreffende Licht und wandelt es in ein digitales Signal um. Dieses Signal wird in einer langen Signalkette für den menschlichen Betrachter aufbereitet und zu einem Bild gemacht.

## Sensorkorrekturen

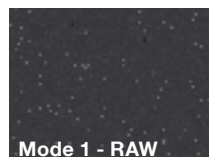
Der erste Schritt ist die Bereinigung des Signals von allen Eigenschaften, die nicht direkt vom aufgetroffenen Licht erzeugt wurden. Je nach Aufbau und Funktionsweise des Sensors und der Art und Weise, wie dieser ausgelesen wird, können leichte Ungleichmäßigkeiten entstehen. Über eine meist bei der

Herstellung gespeicherte Korrekturtabelle werden diese dann im direkten Anschluss an die Aufnahme reduziert. So werden z. B. einzelne ausgefallene Pixel oder Pixelzeilen korrigiert oder die Daten von verschiedenen Analog/Digitalwandlern in einem CCD-Sensor aneinander angehängt. Dunkelstrom beschreibt den Signalanteil, der nicht durch Licht-

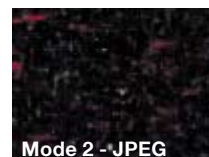
## Canon 500D



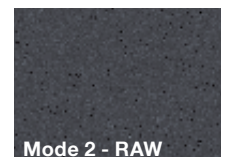
Mode 1 - JPEG



Mode 1 - RAW



Mode 2 - JPEG



Mode 2 - RAW

**Ohne Rauschreduktion:** Bei einer extremen Langzeitbelichtung (5 Minuten bei ISO 1600) wird der Dunkelstrom stark sichtbar. Einzelne Pixel zeigen hohe Digitalwerte, was im Bild zu bunten Flecken führt.

**Mit Rauschreduktion:** direkt nach der Belichtung wird ein Dunkelbild mit gleicher Belichtungszeit aufgenommen und zur Korrektur genutzt. Die Rauschreduktion wird vor dem Speichern des RAW-Bilds angewendet.

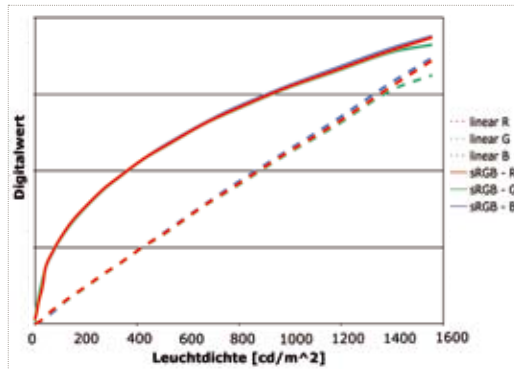
sondern meist durch Wärmeenergie, also auch ohne Licht entsteht. Dieser wird umso größer, je länger belichtet wird. Bei kurzen Belichtungszeiten ist er gering, doch bei Langzeitbelichtungen wird es ein störender Faktor.

## Interpolation

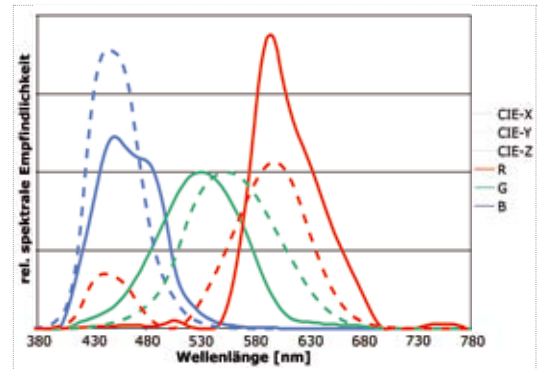
Einzelne Pixel eines Sensors können, mit Ausnahme des Foveon-Sensors in Sigma-Kameras, nur die Intensität des auftretenden Lichts erfassen, nicht dessen Farbe. Um trotzdem Farbbilder zu erhalten, wird auf den Sensor ein nach seinem Erfinder benanntes Bayer-Muster von Farbfiltern aufgebracht. Ein einzelnes Pixel erfasst somit nur eine der drei Grundfarben der additiven Farbmischung (Rot, Grün oder Blau). Da der grüne Lichtanteil für die Helligkeitsbeurteilung besonders wichtig ist, gibt es doppelt so viele grüne wie blaue und rote Filter. Ein Sensor mit 10 Millionen Bildpunkten erfasst also mit 5 Millionen Pixel den grünen Anteil einer Szene und mit jeweils 2,5 Millionen den roten bzw. blauen Anteil. Die fehlenden Farbinformationen werden zu jedem Bildpunkt aus den jeweils benachbarten interpoliert, um am Ende für jeden Bildpunkt Informationen über alle drei Farbkanäle zu erhalten.

## Farbverarbeitung

Der Farbreiz im menschlichen visuellen System setzt sich aus drei Komponenten zusammen: die spektrale Reflexion der Oberfläche, die spektrale Emp-



**Im linearen Sensorsignal** führt eine Änderung der Leuchtdichte zu einer fixen Änderung des Digitalwerts. Im sRGB-Bild ist dies unterschiedlich in den Lichtern und Schatten.



**Die Empfindlichkeit** der Kamera (RGB) und des visuellen Systems des Menschen (CIE-XYZ) für Lichtfarben unterscheiden sich. Mit einer Farbmatrix wird dies korrigiert.

findlichkeit des Empfängers und die spektrale Verteilung der Beleuchtung. Ändert sich also das Licht, verändert sich auch der Farbreiz. Allerdings ist unser Gehirn in der Lage, dieses insoweit zu kompensieren, dass wir zum Beispiel eine weiße Fläche auch als solche erkennen, egal ob bei Kerzenlicht oder strahlendem Sonnenlicht betrachtet. Kameras müssen diese Eigenschaft simulieren. Zusätzlich muss ausgeglichen werden, dass ein Sensor eine andere spektrale Empfindlichkeit hat als unser Auge. Der Weißabgleich sorgt dafür, die Eigenschaften des Lichts und des Sensors zu kompensieren. Um dies zu realisieren, muss die Lichtquelle und die Empfindlichkeitsverteilung der Farbkanäle bekannt sein. Die Lichtquelle stellt der Benutzer ein (manueller Weißabgleich) oder die Kamera muss diese abschätzen (automatischer Weißabgleich). Die spektrale Empfindlichkeit kennt der Hersteller und speichert diese in der Kamera.

Die spektrale Empfindlichkeit ist eine individuelle Eigenschaft der Kamera, somit sind die resultierenden RGB-Werte auch das individuelle Ergebnis der Kamera. Um vergleichbare Farben von verschiedenen Kameras zu erhalten, werden die Farbwerte von den individuellen RGB-Werten auf einen genormten Farbraum abgebildet. Dies erfolgt in zwei Schritten: Aus dem gerätespezifischen Farbraum (RGB) wird mittels einer Farbmatrix in einen geräteunabhängigen Farbraum gewandelt. Hier wird meist die von der CIE genormte spektrale Empfindlichkeit eines Normbeobachters (CIE-XYZ) genommen. Von diesem wird wiederum in den gewünschten Zielfarbraum umgerechnet. Die erste Farbmatrix wird vom Hersteller aufgrund der Kameraeigenschaft erstellt, die zweite ist genormt. So kann gewählt werden, ob in den meist verwendeten Farbraum sRGB gewandelt werden soll oder in einen anderen, zum Beispiel Adobe RGB.

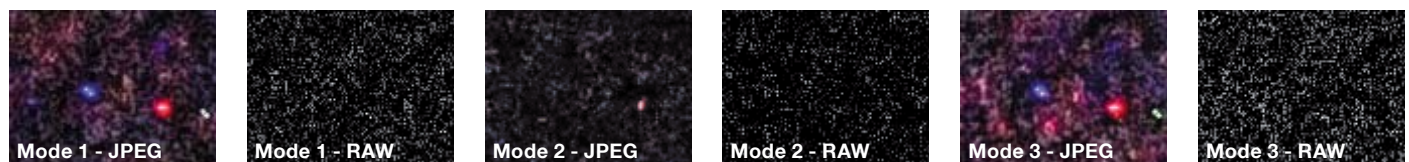
## Gamma

Verdoppelt sich die Lichtmenge die auf einen Sensor trifft, verdoppelt sich auch der resultierende Digitalwert im Sensorsignal. Das Verhältnis von Leuchtdichte im Objekt und Digitalwert ist also linear. Da sich unser Auge hier deutlich unterscheidet, wird das Signal mit einer so genannten Gammafunktion belegt. Dadurch erreicht man eine Annäherung an die Wahrnehmung einer realen Szene durch den Menschen. Wie diese Funktion aussieht, ist für den Zielfarbraum normiert. Als Resultat werden Unterschiede in den dunklen Bildpartien deutlich besser sichtbar.

## Bildoptimierung

All die oben genannten Aspekte muss eine Kamera berücksichtigen, um aus den Signalen des Sensors ein JPEG-Farbbild zu berechnen. An vielen Punkten werden noch Komponenten der Bildoptimierung eingeschoben, um Schwächen der Technik zu

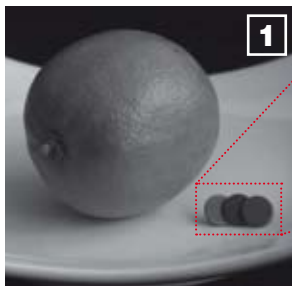
## Nikon D3x



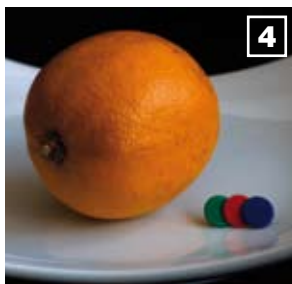
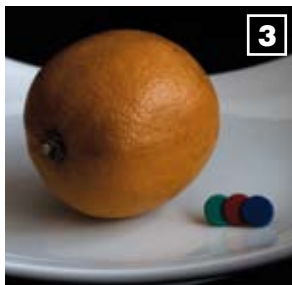
**Ohne Rauschreduktion:** Beim Profimodell wurde 5 Minuten lang bei ISO 6400 ohne Licht „belichtet“, um den Dunkelstrom deutlich sichtbar zu machen. Wärmeenergie führt zu einem bunten Bild.

**Mit Rauschreduktion:** Auch die Nikon nimmt bei eingeschalteter Rauschreduktion ein Dunkelbild gleicher Belichtungszeit auf und korrigiert damit die Aufnahme noch vor dem Speichern des RAW-Bilds.

**Mit Rauschreduktion und Unterbrechung:** Wird die Kamera während der Dunkelaufnahme ausgeschaltet, schreibt sie die Daten ohne Korrektur in die RAW-Datei. Auch die Aufnahme ohne Rauschreduktion (Mode 1) wurde leicht entrauscht.



**Farbenblind:** Jedes Pixel registriert nur rot, grün oder blau, die fehlende Information muss errechnet werden.



**Der Demosaicking genannte Prozess** wandelt das Sensorsignal [1] zum RGB-Bild [2]. Beim Weißabgleich [3] wird das Verhältnis der Kanäle zueinander angepasst. Die kameraspezifischen RGB-Werte werden in den sRGB-Farbraum [4] gewandelt und mit einer Gammafunktion belegt [5].

reduzieren (Rauschreduktion) oder um den Bildeindruck zu verbessern (komplexe Tonwert- und Farbkorrekturen, Schärfung). Die hier angewendeten Verfahren sind ein gut gehütetes Geheimnis der Hersteller. Prinzipiell gilt auch hier: Je besser man die physikalischen Eigenschaften der Kamera kennt, desto besser lassen sich Fehler korrigieren.

## Ist RAW unbearbeitet?

Bei einem RAW-Bild erwarten die meisten Fotografen, statt der fertig berechneten JPEG-Datei einen unbearbeiteten Datensatz mit den Originalsignalen des Sensors. Das macht technisch aber keinen Sinn, da bestimmte Rauschreduktionen am wirkungsvollsten arbeiten, wenn der Hersteller sie in den Ausleseprozess des Sensors integriert.

Sicher bei einem RAW-Bild ist nur, dass die enthaltenen Bilddaten noch nicht interpoliert wurden, also die Farbinformationen für jedes Pixel noch errechnet werden müssen. Ansonsten definieren die verschiedenen Hersteller „RAW“ sehr unterschiedlich und greifen mehr oder weniger stark in die Sensordaten ein. Um hier ein wenig mehr Klarheit zu erhalten, haben wir mit verschiedenen Kameras Langzeitbelichtungen in absoluter Dunkelheit durchgeführt. Je nachdem ob eine Rauschreduktion für Langzeitbelichtungen aktiviert war, unterschieden sich die Daten im RAW-Format. Zur Korrektur des Dunkelstroms erstellen viele Kameras direkt im Anschluss einer Aufnahme eine

weitere, ohne den Verschluss zu öffnen. Das zweite, so genannte Dunkelstrombild wird vom ersten abgezogen und dieses damit korrigiert. Interessant bei Nikon: Schaltet man während der Dunkelstromaufnahme die Kamera aus, wird der Zwischenspeicher in die Datei geschrieben, ein Bild welches sehr wenig korrigiert wurde.

Welche Korrekturen insgesamt angewendet wurden, liegt im Ermessen des Herstellers und lässt sich nur schwer beurteilen. Daraus folgt auch, dass eine vergleichende Beurteilung einer Kamera aufgrund ihrer in den RAW-Dateien enthaltenen Daten sehr schwierig ist. So kann es, je nach Signalverarbeitung, besser sein, im RAW-Bild mehr Rauschen zuzulassen, statt dieses schon zu reduzieren und in seinen Eigenschaften zu verändern.

## Dateiformat

Neben den eigentlichen Bilddaten befinden sich Meta-Daten in der Datei. Diese „Daten über Daten“ beinhalten die Informationen, die für eine korrekte Darstellung nötig sind. Da die Farbverarbeitung in vielen Punkten auf den individuellen Eigenschaften des Sensors beruht, müssen diese Informationen mit der Datei gespeichert werden. Darüber hinaus werden alle Informationen gespeichert, die für die Verarbeitung interessant sein können. Ist bekannt, auf welchen Punkt der Benutzer fokussiert hat, kann die Tonwertkorrektur auf diese Region im Bild hin optimiert werden.

Leider ist es bisher noch nicht geglückt, einen einheitlichen Standard für dieses Dateiformat zu schaffen, den der Großteil der Hersteller akzeptiert und breite Verwendung findet.

So müssen Dritthersteller von RAW-Konvertern für jede neue Kamera das gespeicherte Format und die enthaltenen Daten analysieren und versuchen, es zu

verstehen. Gelingt es nicht, die Meta-Daten zu extrahieren, müssen die Ergebnisse eigener Untersuchungen in der Software gespeichert werden, und man muss auf die Verwendung der Meta-Informationen aus der Kamera verzichten. Hier liegt auch ein Hauptgrund, warum Kamerahersteller wenig Interesse an einem offenen Format für RAW-Daten haben. Sie würden ihren Wissensvorsprung bei der Verarbeitung der Daten aufgeben.

Der genaue Aufbau der verschiedenen RAW-Dateiformate ist für jeden Hersteller und manchmal sogar für Kameras aus dem gleichen Hause unterschiedlich. Die meisten Formate sind Abwandlungen des TIFF oder TIFF/EP Formats (ISO Standard 12234-2). Einen Grundaufbau haben alle Dateien gemeinsam:

### ■ Kopfnote (Header)

Diese enthält Informationen über die Datenstruktur und den Aufbau der Datei.

### ■ Kamera- und Sensor-Meta-Daten

Hier werden alle Informationen gespeichert, die für die Bildverarbeitung benötigt werden. (Farbmatrix, Weißabgleichsinformationen usw.)

### ■ Bild-Meta-Daten

Meist nach EXIF-(Exchangeable Image File Format)-Standard aufgebaute Struktur mit Informationen z. B. über Belichtungszeit, Blende und Brennweite.

### ■ Miniaturansicht

Eine stark verkleinerte Vorschau der beinhalteten Bilddaten.

### ■ Bilddaten

Die eigentlichen Bilddaten. Diese können wiederum in verschiedenen Formen gespeichert werden. Neben der komplett unkomprimierten Form gibt es auch Formate, die die Daten mittels einer verlustfreien Variante der JPEG-Kompression speichern oder es dem Benutzer überlassen, verlustbehaftet zu komprimieren.