

Gutschein
Kamera-Schlitten
Für 3D-Aufnahmen mit jeder Kamera

02/11 Österreich € 9,90 • Schweiz CHF 16,50 • Benelux € 9,90
April–Juni

€ 8,90



www.ctspecial.de

special c't Digitale Fotografie

DVD

Vollversionen

DrawPlus, PagePlus,
PhotoAcute Studio,
PhotoPlus X2

Video-Tutorial

3D-Fotografie

E-Book (PDF)

Das Filmhandbuch

Testbilder

Kameratest, Objektiv-
Verzeichnung

DSLR-Video-Workshop

Einzelszenen,
Ton und Film

Olympus E-5, Pentax K-5 ...

Kameratest

Mit Serienaufnahmen entauschen

Tricks mit Fotostapel

Objektiv-Verzeichnungen: Software-Test

Verzernte Bilder korrigieren

Workshop: Vom Storyboard zum Film

DSLR-Videos drehen

Wieviel Bit braucht das Bild?

Farbtiefen-Know-how

Datenträger enthält
**Info- und
Lehrprogramme**
gemäß § 14 JuSchG

Praxis, Kameras, Bildschirme Software

Fotografieren in 3D



Ralph Altmann

Farbtiefe

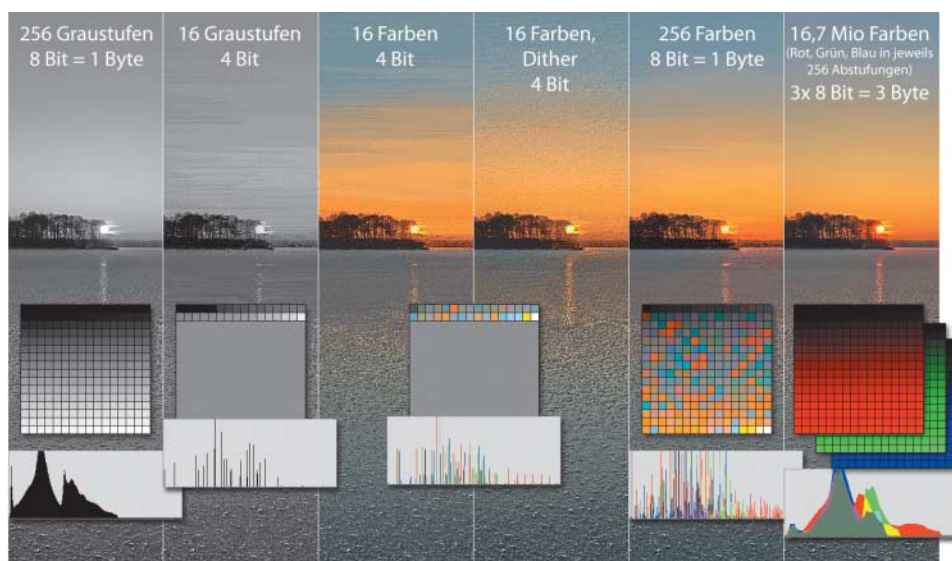
passend auswählen

JPEG-Bilder haben 8 Bit Farbtiefe, doch besser seien 16 Bit, die man aus Raw-Dateien gewinnen kann, heißt es. Und ein HDR-Bild bietet sogar 32 Bit. Was hat es mit diesen Bezeichnungen auf sich – und was gewinnt man wirklich mit mehr Bits?

Ein Foto soll möglichst genau den Eindruck wiedergeben, der den Fotografen zur Aufnahme veranlasst hat. Aus technischer Sicht benötigt man dazu, neben einer ausreichenden Auflösung, zweierlei: Eine originalgetreue Wiedergabe der Farben sowie eine möglichst ebenfalls originalgetreue, wenigstens aber adäquate Wiedergabe des Helligkeitsumfangs des Motivs. Das alles soll noch möglichst wenig Speicherplatz, also wenige Bit pro Pixel benötigen.

Mit den 8 Bit der klassischen Informationseinheit „Byte“ lassen sich $2^8=256$ Werte darstellen. Das genügt für die Helligkeitswerte eines hochwertigen Graustufenbildes. Ordnet man den Digitalwerten keine Graustufen, sondern Farben zu, erhält man ein „Palettenbild“, das als GIF-Bild im Internet immer noch sehr verbreitet ist. Grafiken, aber auch kontrastreiche Fotos enthalten oft nur wenige Farben und lassen sich so Speicherplatz sparend kodieren.

Während die „Palette“ eines Graustufen- oder GIF-Bildes bereits die maximal möglichen 256 Farben enthält, beruhen RGB-Farbbilder auf einem anderen Prinzip. In der verbreiteten Form mit 8 Bit „Farbtiefe“ enthalten sie jeweils 256 Helligkeitsabstufungen (Tonwerte genannt) der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau. Diese kann man sich ebenfalls als „Paletten“ vorstellen, die eigentliche Farbe entsteht aber erst durch Mischung von je einer Farbe aus jeder Palette. Mit 3×256 Farben lassen sich $256^3=16,7$ Millionen Farben mischen – das ist die berühmte „True Color“-Zahl. Der Siegeszug der elektronischen Bildbearbeitung begann, als True Color zum Standard in Mac- und Windows-PCs wurde. Nur noch historische Bedeutung haben „High Color“ (65 536 Farben) und andere Varianten, die ebenfalls mit RGB-Grundfarben, aber geringerer Zahl an Tonwerten arbeiten.

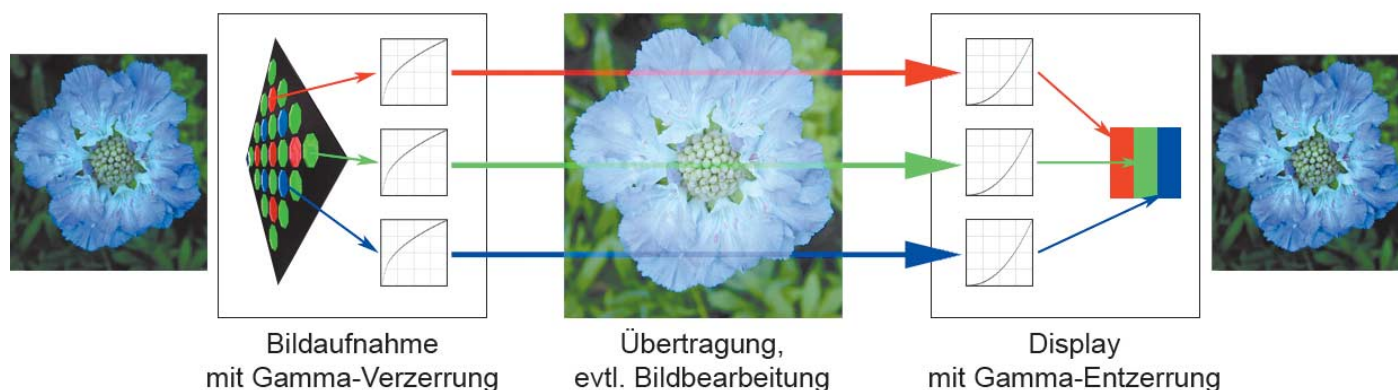


Mit 256 Graustufen lassen sich qualitativ hochwertige Graustufenbilder darstellen, bei Inkaufnahme sichtbarer Abstufungen genügen auch weniger. Benutzt man Farben statt Graustufen, lassen sich so auch Farbbilder darstellen, allerdings selbst mit Tricks (Dithering – das zufällige Streuen von Farben, um Abstufungen zu mildern) nur unbefriedigend. Erst die 16,7 Millionen möglichen Farben eines RGB-Bildes bieten genügend Reserven, um auch weiche Übergänge wie hier im Himmel stufenlos darstellen zu können.

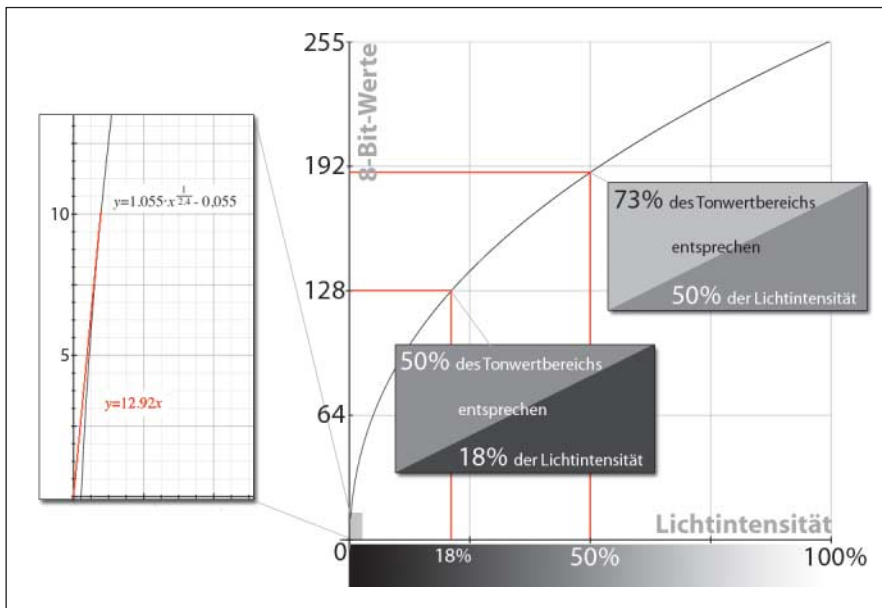
Das Auge sieht mehr

Bilder in True Color enthalten weit mehr Farben, als unser Auge unterscheiden kann, liest man oft, und das ist richtig. Es gilt jedoch nicht für den Helligkeitsumfang des Bildes. Schon ohne Adaption, also der Anpassung der Empfindlichkeit an unterschiedliche Helligkeiten beispielsweise durch Pupillenverengung, liegt der Dynamikumfang des Auges deutlich über dem,

was sich mit 8 Bit pro Farbe bei einer einfachen linearen Einteilung in jeweils 256 Helligkeitsstufen darstellen lässt. Der Dynamikumfang ist das Verhältnis vom kleinsten noch unterscheidbaren Helligkeitsunterschied zum größtmöglichen Helligkeitsunterschied. Wenn wir letzteren, also den Unterschied zwischen Schwarz und Weiß, mit 100 Prozent annehmen, dann unterscheidet das Auge teilweise noch Helligkeitsdifferenzen von unter einem Promille – allerdings



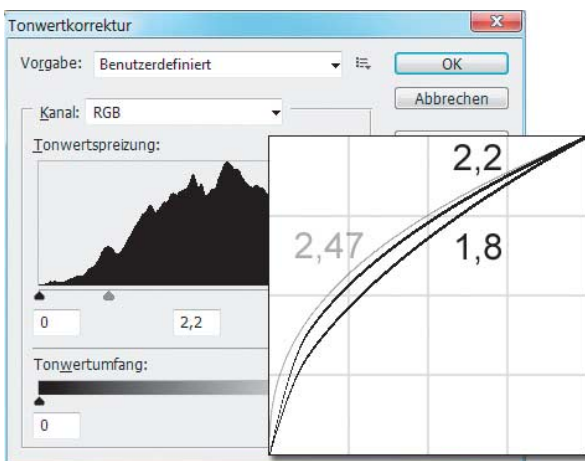
Die Anhebung der Helligkeitswerte geschieht geräteintern sofort nach der Aufnahme und wird bei der Wiedergabe wieder rückgängig gemacht.



Die tatsächliche „Gammaverzerrung“ eines Digitalbildes verläuft im unteren Bereich linear und darüber nach einer modifizierten Exponentialfunktion mit dem Exponenten 1/2,4 (linkes Bild). Näherungsweise entspricht dies einer Exponentialkurve mit 1/2,2, weshalb man von einem Gamma von 2,2 spricht. Das verschiebt alle Helligkeiten auf der Tonwertkala nach oben, ganz analog zur Aufhellung, die unser Auge vornimmt (graue Rechtecke rechts).

nur bei geringen Helligkeiten. Je heller, desto schlechter wird das Differenzierungsvermögen. In den hellen Bereichen eines Bildes können wir gerade noch Abstufungen von einem Prozent erkennen. Diese nicht-lineare Helligkeitswahrnehmung lässt uns eine Graufäche mit 18 Prozent Reflexionsvermögen schon als „mittleres“ Grau empfinden und ein Grau mit 50 Prozent der Maximalhelligkeit als ausgesprochen hell.

Auch bei der Umsetzung der realen Helligkeitswerte in die Computersprache ist deshalb eine nichtlineare Kennlinie von Vorteil: Würde man den 256 Stufen einer 8-Bit-Werteskala (also eines Bytes) die Helligkeiten linear zuordnen, wäre der kleinstmögliche Helligkeitsunterschied (auch Quantisierungsschritt genannt) immer genau 1/255, also ungefähr 4 Promille, was zumindest im dunklen Bereich zu grob für unser Auge ist. Deshalb



Die zwei Standard-Gammawerte, simuliert mit dem Tonwertkorrekturdialo von Photoshop. Auch Photoshop dämpft hier den starken Anstieg der Exponentialfunktion mit einem linearen Teil, dies ist der flache Bereich im unteren Viertel der Kurven. Zum Vergleich ist die mathematisch exakte Kurve für ein Gamma von 2,47 (näherungsweise das „Augen-Gamma“) grau dargestellt.

hebt man meist sofort nach der Aufnahme eines Bildes die gewonnenen (Spannungs-) Werte entsprechend einer exponentiell ansteigenden sogenannten Gammakurve an, sodass die Quantisierung bei den dunklen Helligkeitswerten in kleineren Schritten erfolgt als bei den helleren. Die Gammakurve hat die mathematische Form $y = x^{(1/\gamma)}$, gebräuchliche Werte für das „Gamma“ sind 1,8 (bis vor Kurzem noch die Mac-Voreinstellung) und 2,2 im PC- und Videobereich. Bei der Wiedergabe muss die Gamma-Verzerrung wieder rückgängig gemacht werden, was Röhrenmonitore beinahe schon von allein leisten: Bei diesen folgt der Zusammenhang zwischen Steuerspannung und Bildpunkthelligkeit einer „umgekehrten“ Gammakurve mit einem Gamma von etwa 1/2,4. Die Differenz zum Standardgamma wurde früher über Widerstandsnetzwerke und wird heute digital über Tabellen (Look-Up-Table, LUT) beseitigt. Aus der Tatsache, dass uns 18 Prozent der Maximalhelligkeit als mittlere Helligkeit erscheinen, lässt sich ein mittleres „Augen-Gamma“ von 2,47 errechnen. Die Empfindlichkeitskurve des Auges ist allerdings keine reine Exponentialfunktion, sondern recht komplex.

Auch bei der technischen Umsetzung ist eine reine Gammakurve nicht ideal, wie eine kurze Rechnung zeigt: Wenn wir den kleinstmöglichen Schritt von 1 Tonwert am unteren Ende der Tonwertskala, also zwischen 0 und 1, betrachten, so entspricht er auf einer 8-Bit-Skala 1/255 des Maximalwerts. Der davon repräsentierte Helligkeitsunterschied (Quantisierungsschritt) ist aber $(1/255)^{2.2}$, das sind rund fünf Millionstel vom maximalen Helligkeitswert, woraus sich ein viel zu großer Dynamikbereich von 1:200 000 errechnet, der praktisch gar nicht verwertbar ist. Übliche RGB-Farbräume wie sRGB und Adobe RGB verwenden deshalb eine etwas modifizierte Gammakurve, die über die untersten 10 Tonwerte des Digitalbildes linear verläuft. Dadurch beträgt der (theoretische) Dynamikumfang in den Schattenbereichen etwa 1:3300 oder 11,7 EV-Stufen („Blenden“). Das ist auch ziemlich genau das, was sich aus modernen Sensoren heute an Dynamikumfang herausholen lässt.

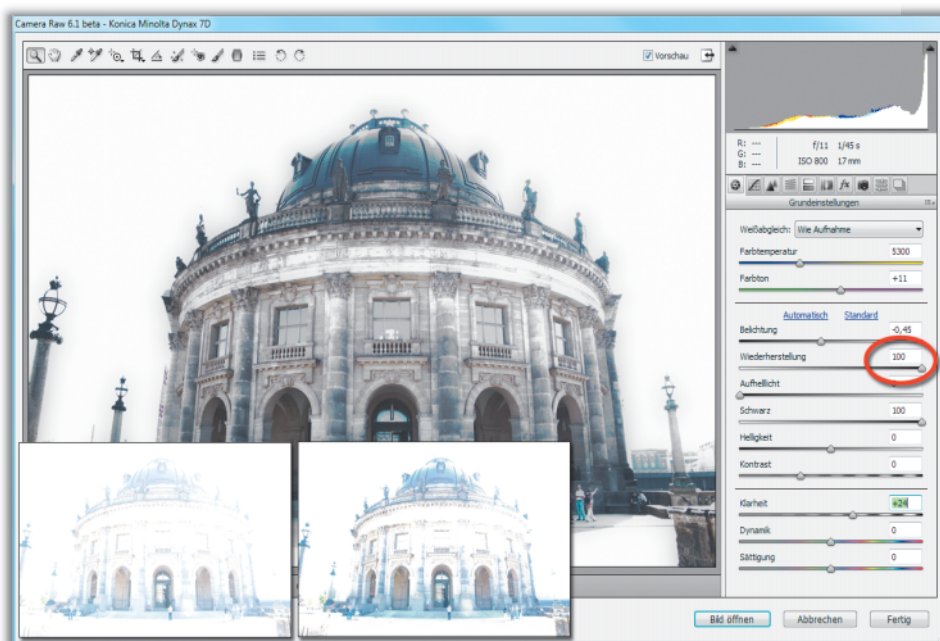
Der gleiche Schritt am oberen Ende der Skala, also von 254 zu 255, entspricht bei einem Gamma von 2,2 nur noch einem Helligkeitsunterschied von knapp einem Prozent, die (lokale) Dynamik sinkt also auf nur noch etwas mehr als 1:100. Aber das entspricht ja gerade dem Auflösungsvermögen des Auges für Unterschiede im Hellen – das 8-Bit-RGB-Bild mit modifizierter Gammaverzerrung scheint fotografischen Belangen optimal angepasst. Was wollen wir mehr?

8 Bit genügen nicht

Zwei Tatsachen blieben bei diesen Überlegungen unberücksichtigt: Zum einen sind bei einem Foto, das von der Kamera als 8-Bit-JPEG gespeichert wird, oft nachträgliche Kontrastkorrekturen notwendig. Aber schon eine stärkere Tiefenaufhellung macht sichtbar, dass es bei der ursprünglich perfekten Abstimmung zwischen Digital-Tonwerten und Motiv-Helligkeiten keine Reserven gibt: Die Spreizung der dunklen Tonwerte wirkt sich als Abstufung in Farbverläufen aus, im Histogramm entstehen Lücken. Zum anderen spielt bei realen Fotos das Rauschen eine große Rolle, es schränkt den nutzbaren Dynamikumfang vor allem bei hohen ISO-Werten drastisch ein. Auch in völliger Dunkelheit generieren Fotosensoren geringe zufällige Spannungswerte, das heißt, es entstehen Elektronen, welche die nachgeschaltete Elektronik (die ebenfalls nicht rauschfrei ist) nicht von solchen Elektronen unterscheiden kann, die von einfallenden Photonen erzeugt wurden. Erst, wenn das Nutzsignal über diesem Grundrauschen liegt, erhält man ein verwertbares Signal.

Bei einer Aufnahme mit ISO 100 entstehen in jeder Fotozelle des 16-Megapixel-Sensors der Canon 1D MarkIV durchschnittlich 22,2 Elektronen durch Rauschen. Die Sättigung der Zelle (die Grenze zur Überbelichtung) wird bei 55 600 Elektronen erreicht. Der Quotient beider Werte ergibt den Dynamikumfang, hier also 1:2505 oder 11,3 EV-Stufen (Quelle: <http://www.clarkvision.com/articles/evaluation-canon-1div/index.html>). Wenn man sehr geschickt „mapped“ und mit der Digitalisierung erst oberhalb des Rauschpegels beginnt (einige Nikon-Kameras arbeiten so), passt diese Dynamik gerade noch in ein 8-Bit-sRGB-Bild. In der Regel belässt man aber das Rauschen in den untersten Bits (wichtig für Spezialzwecke: Durch Überlagerung mehrerer verrauschter Bilder lassen sich noch Details herausholen), was den nutzbaren Dynamikumfang eines 8-Bit-Bildes weiter einschränkt. Um alle Tonwerte aufzuzeichnen, welche die Sensoren besserer Kameras erfassen können, brauchen wir mehr Bits. Doch wie viele?

Die Analog-Digital-Wandler guter DSLRs digitalisieren heute mit 12, teilweise mit 14 Bit. Letzteres bedeutet, dass 16 384 Werte pro Farbkanal zur Verfügung stehen. Damit lässt sich ein Dynamikumfang von 12 und mehr EV locker abbilden, und das sogar ohne Gamma-Verzerrung. Die Kamera-Raw-Dateien, in denen allein sich diese höhere Datenmenge speichern lässt (JPEG ist auf 8 Bit pro Farbe beschränkt), sind mit einem „linearen Gamma“ von 1 kodiert, also unverzerrt. Bear-



Raw-Reserven: Mit der Lichter-Wiederherstellung lässt sich aus einer völlig überbelichteten Raw-Aufnahme zwar kein gutes Farbbild machen, jedoch noch erstaunlich viel Information herausholen. Das Original ist links unten zu sehen, daneben der analoge Versuch, aus der JPEG-Datei der Kamera die Lichter wiederherzustellen.

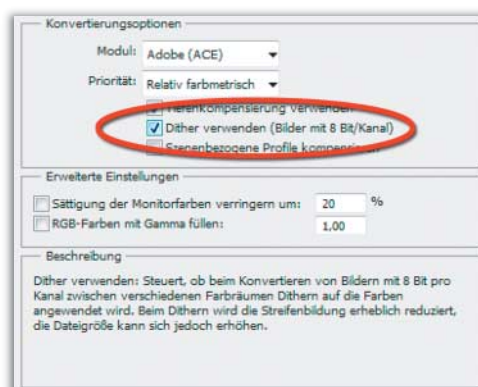
beitet man die Bilder gleich in diesem linearen Farbraum, beispielsweise mit Lightroom, vermeidet dies gewisse Fehler und Artefakte, die bei der Arbeit an gammaverzerrten Bildern auftreten können.

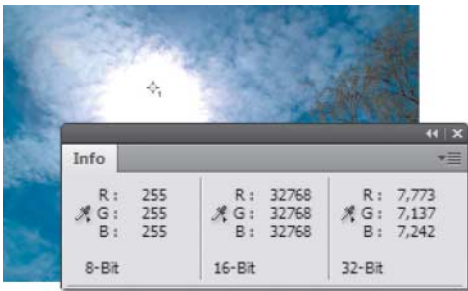
Erst bei der Raw-„Entwicklung“ wird die Gammakurve aufgeprägt, und dies nicht nur den 8-Bit-, sondern üblicherweise auch den 16-Bit-Dateien, welche Raw-Konverter ausgeben. 16-Bit-Daten sind hier, anders als der Name sagt, sowieso nicht drin, es ist nur so schön praktisch, mit zwei kompletten Bytes zu rechnen statt mit anderthalb. Schon die 12 oder 14 Bit in der Raw-Datei sind für die meisten Fotos reine Platzverschwendung – würde

man die Digitalisierungstiefe jeweils am Kontrastumfang des konkreten Fotos ausrichten, ließen sich Speicherplatz einsparen und die Bildfolgezeiten erhöhen.

Ein Bild in 16 Bit Farbtiefe unterscheidet sich in keiner Weise von einem 8-Bit-Bild, außer in der Feinheit der Quantisierung. Die wirkt sich aber überhaupt erst aus, wenn stärkere Bearbeitungen vorgenommen werden, die eine (teilweise) Spreizung des Histogramms bewirken, beispielsweise bei der Tiefenaufhellung – oder wenn der Kontrastumfang des Motivs deutlich über 11 Blendenstufen liegt und (!) der Dynamikumfang der Kamera mindestens ebenso groß ist. Deshalb

Damit die Farbverluste bei Umrechnungen in und zwischen 8-Bit-Farbräumen nicht sichtbar werden, streut Photoshop standardmäßig zufällige Störungen ein. Dies lässt sich im Dialog Bearbeiten>Farbeinstellungen>Erweitert deaktivieren.





Wo ein 8-Bit- oder Pseudo-16-Bit-Bild nur noch ausgefressene Lichter zeigt (alle RGB-Werte haben den Maximalwert von 255 bzw. 32 768), kann ein 32-Bit-HDR-Bild noch Detailinformationen enthalten. Hier ist dies an den unterschiedlichen 32-Bit-Werten erkennbar.

wird man meist enttäuscht, wenn man hofft, im 16-Bit-Modus aus einem Foto mehr Tiefzeichnung herausholen zu können. Wenn die unteren 8 Bit des 16-Bit-Bildes lediglich Rauschen enthalten, verstärkt man nur dies.

Dennoch ist der 16-Bit-Modus für manche Bildbearbeitungen sehr wichtig, selbst dann, wenn das Bild selbst ihn gar nicht ausnutzt.

Die oft für die Schärfung oder Farbkorrektur in Photoshop empfohlene Konvertierung ins Lab-Farbsystem und zurück vernichtet je nach Farbprofil bis zu 85 Prozent aller Farb-abstufungen, wenn die Farbtiefe nicht zuvor auf 16 Bit erhöht wurde. Ursache ist die schlechte „Effizienz“ des Lab-Farbkoordinatensystems: Nur ein Bruchteil der möglichen L-a-b-Werte entsprechen sichtbaren Farben. Bei 16 Bit Farbtiefe (und damit möglichen 35 Billionen Farben) macht dies nicht viel aus, bei 8 Bit Farbtiefe kann der Verlust sichtbar sein.

Übrigens unterstützt Photoshop 16 Bit Farbtiefe nicht wirklich: Der Wertebereich ist auf „15 Bit + 1 Wert“ beziehungsweise 32 769 Werte (von 0 bis 32 768) beschränkt. Diese Pseudo-16-Bit sind ein Relikt aus der Urzeit der Bildbearbeitung, denn damit ließen sich Berechnungen schneller durchführen. Andere Bildbearbeitungsprogramme wie Paint Shop Pro Photo und Photoline arbeiten intern mit echten 16 Bit (Raw-Konverter sowieso), auch in einer TIFF- oder PNG-Datei werden die Daten mit vollen 16 Bit gespeichert.

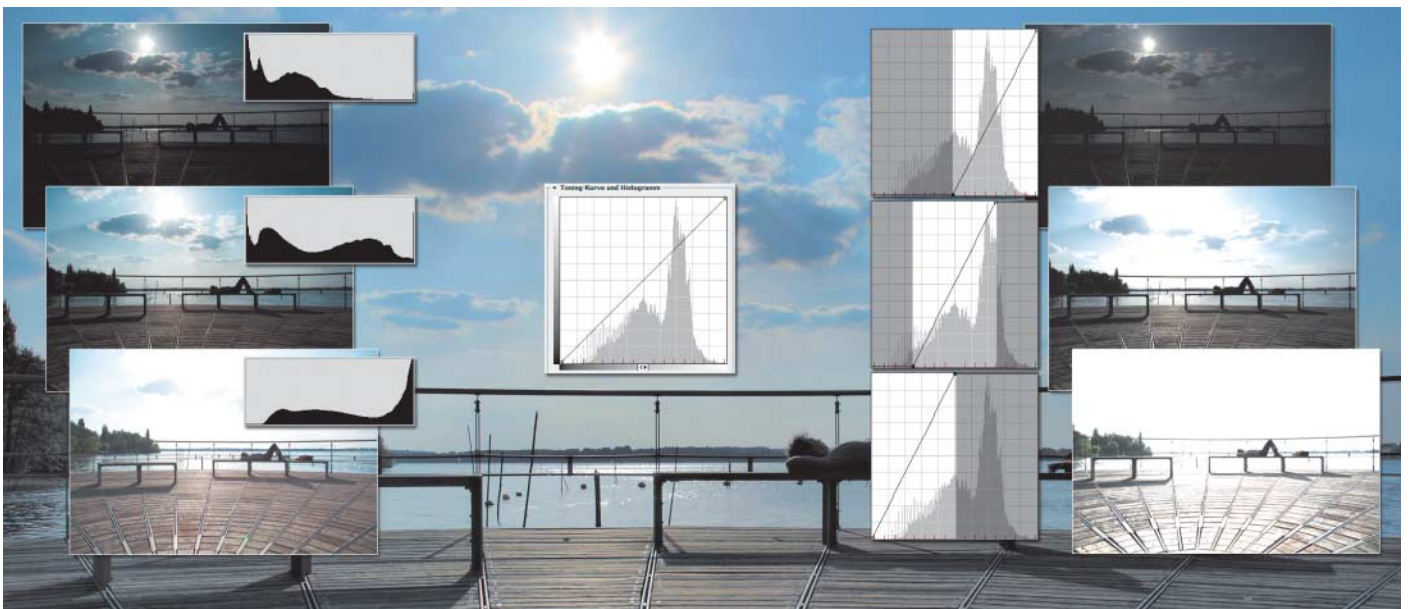
Da bisher keine Aufnahme 16 Bit Farbtiefe wirklich benötigt, spielt die Photoshop-Einschränkung für die Bildqualität keine Rolle. Allerdings ist sie über die offene Plug-in-

Schnittstelle von Photoshop quasi zum Standard für „Photoshop-kompatible“ Plug-ins von anderen Anbietern geworden. Diese funktionieren nun teilweise mit anderen Programmen nicht, wenn ein (echtes) 16-Bit-Bild bearbeitet werden soll. Paint Shop Pro sperrt die Plug-ins in diesem Fall komplett. Photoline macht es besser und konvertiert die Bilddaten „Photoshop-kompatibel“.

Wozu noch 32 Bit?

Der theoretisch mögliche Kontrastumfang selbst eines Quasi-16-Bit-Bildes liegt bei 15 Blendenstufen, mit Gammaverzerrung sogar bei mehr als 1:400 000, also über 18 Blendenstufen. Die Kontrastunterschiede in der Natur können aber noch sehr viel höher sein: Eine Szene in der hellen Mittagssonne erreicht mehr als 1:1 Million (20 Blendenstufen), mit Lichtquellen im Bild sind noch höhere Werte möglich. Solche Unterschiede bewältigt kein Kamerasensor, sie lassen sich jedoch als Belichtungsreihe mit mehreren Fotos erfassen, die anschließend zu einem HDR-Bild vereint werden.

Bei der Konstruktion virtueller 3D-Welten werden HDR-Bilder seit fast 20 Jahren verwendet. In der Fotografie machten sie vor allem wegen der surrealen Effekte von sich



Ein HDR-Bild wird aus den Helligkeitswerten unterschiedlich belichteter Einzelaufnahmen (links) zusammengesetzt. Hier entsteht daraus ein Bild mit mehr als 16 EV Kontrastumfang, wie das Histogramm in der Bildmitte zeigt: Jede rote Markierung auf der unteren Achse entspricht einem Blendenwert. Jeder normale Monitor und erst recht jeder Drucker kann nur einen Ausschnitt aus diesem Kontrastumfang wiedergeben. Wir haben dies ganz rechts zu veranschaulichen versucht: Die drei Einzelbilder stellen 8 EV breite Ausschnitte aus dem Kontrastumfang des HDR-Bildes dar. Sie sind ähnlich unter- beziehungsweise überbelichtet wie Fotografien der originalen Szene mit einer mittelmäßigen Digitalkamera. Erst das Tonemapping mit einem geeigneten Programm, also das Stauchen des gesamten Kontrastumfangs, verbunden mit lokalen Kontrasterhöhungen, macht daraus ein Bild, das annähernd die Lichtverhältnisse bei der Aufnahme wiedergibt (Hintergrundbild).

reden, die beim Tonemapping entstehen können. Damit ist die Konvertierung eines hohen, von üblichen Monitoren nicht mehr darstellbaren Kontrastumfangs in einen kleineren gemeint. Bei 8- und 16-Bit-Bildern findet ein ähnliches Tonemapping ständig hinter den Kulissen statt, auch in umgekehrter Richtung, also von einem kleineren zu einem größeren Kontrastumfang. Bei einem exakt belichteten Digitalfoto wird der dunkelste Motivbereich zu Schwarz, also Null, und der hellste zu Weiß, also 100 Prozent (255 im 8-Bit-, 32 768 im Pseudo- und 65 535 im echten 16-Bit-Bild) – ungeachtet dessen, dass es außerhalb des Bildfeldes vielleicht noch viel geringere und höhere Helligkeiten geben mag. Bei der Wiedergabe wird analog verfahren: Null bedeutet tiefstes Schwarz beziehungsweise geringste Monitorhelligkeit, der maximale Digitalwert steuert den Monitor auf seine höchste Helligkeit.

Ganz anders bei HDR-Bildern: Wenn man diese aus Einzelaufnahmen zusammensetzt, erkennt der HDR-Konverter anhand der in den EXIF-Daten gespeicherten Belichtungsdaten, dass die schwarzen Pixel eines gering belichteten Bildes vielleicht viel heller sein müssten als die grauen Pixel eines stärker belichteten, und rechnet die Tonwerte entsprechend um. In einem HDR-Bild werden die Tonwerte nicht innerhalb eines festen Wertebereichs von 0 bis 255 oder 65 535 erfasst, sondern als Fließkommazahlen, die sehr groß und sogar negativ werden können. „Schwärzer als Schwarz“ ist damit ebenso wenig ein Problem wie ein extremer Kontrastumfang. Photoshop bildet bei der HDR-Konvertierung die Tonwerte eines einzelnen 8- oder 16-Bit-RGB-Bildes auf den Wertebereich zwischen 0,000 und 1,000 ab. Spezielle HDR-Konverter können über die EXIF-Belichtungsdaten die Helligkeitswerte so umrechnen, dass sie physikalischen Helligkeiten entsprechen.

Computer-intern werden die Fließkommazahlen mit einer Länge von 32 Bit erfasst – daher kommen die „32 Bit“ im Namen. Dies ist aber etwas völlig anderes als die „8 Bit“ oder „16 Bit“ Farbtiefe normaler RGB-Bilder. Hier bezeichnet dies zuerst den Wertebereich, aus dem sich mittelbar die Genauigkeit ergibt. Bei HDR-Bildern beziehen sich die 32 Bit auf die Genauigkeit, der Wertebereich ist davon unabhängig.

Die 32-Bit-Kodierung ist logarithmisch, also ebenfalls nichtlinear, verwendet aber keine interne Gamma-Verzerrung. Das ist nicht nötig, denn sie erlaubt auch so Dynamikumfang bis zu $1:10^{79}$ – mehr als 260 Blendenstufen, sehr viel mehr, als in unserer natürlichen Umgebung jemals vorkommen. Es gibt auch Dateiformate, die solche Daten-

Kontrast: Zwischen Licht und Schatten

Maßeinheit der Lichtstärke ist Candela (cd), lateinisch für Kerze, und eine Kerze hat auch etwa die Lichtstärke 1 cd. Das, was wir als Helligkeit wahrnehmen, ist die Leuchtdichte einer Strahlungsquelle, und die hängt noch von der Entfernung und räumlichen Ausdehnung der Lichtquelle ab. Dabei ist es egal, ob die Strahlungsquelle selbst Licht emittiert (Sonne) oder lediglich reflektiert (Mond). Die Maßeinheit für die Leuchtdichte ist Candela/Quadratmeter (cd/m^2). Die Sonnenscheibe hat eine Leuchtdichte von über einer Milliarde cd/m^2 , eine nur vom Sternlicht beschienene Nachtszene lediglich 0,001 cd/m^2 und weniger. Unser Auge kann sich an einen erheblichen Bereich dieser Leuchtdichten anpassen und dabei noch Details unterscheiden, im unteren Helligkeitsbereich (dem Bereich des „skotopischen Sehens“ unterhalb von etwa 0,01 cd/m^2) allerdings keine Farben mehr erkennen.

In logarithmischer Darstellung schrumpfen die weit auseinanderliegenden Wertebereiche auf handhabbare Skalen. Gebräuchlich sind zwei logarithmische Skalen: zur Basis 10 und zur Basis 2. Den Dynamikbereich eines Scanners (das ist der von diesem er-

fassbare Dichteumfang des Dias bzw. Negativs) gibt man oft zur Basis 10 an. Ein Dynamikumfang von 4 bedeutet, dass ein Gerät Kontraste von maximal 10 000:1 ($\log(10\,000)=4$) erfassen oder darstellen kann. Ein Zuwachs um eine Einheit bedeutet eine Verzehnfachung des Dynamikumfangs.

In der Fotografie werden Dynamikbereiche dagegen meist in EV-Stufen (Exposure Value, Belichtungswert) angegeben. Diese beruhen auf einer logarithmischen Skala zur Basis 2: Jede Verdopplung der Lichtmenge (also beispielsweise der Belichtungszeit) erhöht um eine EV-Stufe, jede Halbierung verringert um eine EV-Stufe. Ein Dynamikumfang von 3 (das ist 1000:1) entspricht also etwas weniger als 10 EV-Stufen ($2^{10} = 1024$). Statt EV-Stufen kann man auch die Blendenwerte nutzen, damit rechnet sich aber schlechter, weil die Blendenwerte invers-quadratisch abgestuft sind: Eine Verdopplung des Blendenwertes zum Beispiel von 2,8 auf 5,6 verengt die Blende auf den halben Durchmesser, damit gelangt nur noch ein Viertel der Lichtmenge auf den Sensor. Dies entspricht also –2 EV.

Massen speichern können. Im verbreiteten und relativ platzsparenden HDR-Dateiformat OpenEXR lässt sich ein Dynamikumfang von 35 Blendenstufen speichern, was für die allermeisten Zwecke ausreichen dürfte.

HDR besser nutzen

Weil echte HDR-Bilder einen enormen Helligkeitsbereich umfassen, der auf normalen Monitoren nur ausschnittsweise (also mit abgeschnittenen Lichtern und/oder Schatten) darstellbar ist, gehört das Tonemapping als letzte Stufe der HDR-Bildbearbeitung bisher untrennbar dazu. Die Reduzierung des Kontrastumfangs kann über eine bloße Kompression erfolgen, wie sie beim Fotografieren zwischen Motiv und Monitor beziehungsweise Papierbild ja ständig hinter den Kulissen geschieht. Dies führt aber nur dann zu befriedigenden Ergebnissen, wenn der zu komprimierende Kontrastumfang nicht allzu groß ist. Lokale Kontrasterhöhungen, welche den typischen HDR-Look erzeugen, sind da flexibler, oft aber auch mit Artefakten verbunden. Die Physik lässt sich eben nicht überlisten. Monitore mit großem, HDR-

geeigneten Kontrastumfang gibt es aber schon.

Unseres Wissens bietet bisher lediglich Photoshop die Möglichkeit, HDR-Bilder nicht nur zu erzeugen, sondern im 32-Bit-Modus auch zu bearbeiten, und zwar bereits seit Version CS2, hier allerdings nur mit sehr eingeschränkten Funktionen. Seit CS3 wird der 32-Bit-Modus auch bei Bildern mit Ebenen unterstützt. In Photoshop ist es damit beispielsweise möglich, HDR-Bilder ohne den Umweg über den eingebauten HDR-Konverter zusammensetzen, einfach durch Summierung der Helligkeitswerte der Einzelbilder.

Solange es keine erschwinglichen Kameras gibt, die native HDR-Bilder erzeugen und auch ausgeben können, ist die nachträgliche Komposition immer noch der bessere Weg, zum guten Bild einer sehr kontrastreichen Szene zu kommen. Zu wünschen ist, dass das 32-Bit-Format bald von verbreiteten Bildbearbeitungsprogrammen unterstützt wird. Auch, wenn es auf lange Zeit sicher keine Alternative, sondern eine Vorstufe für 8-Bit- oder 16-Bit-Bilder bleiben wird, ähnlich wie es die Kamera-Raw-Formate heute sind. (anm) **ct**