

EXPOSURE

Blending



Dr. Tilo Gockel hat in der Informatik, im Bereich der Bildverarbeitung promoviert und kennt entsprechend auch die der Bildbearbeitung zugrunde liegenden Methoden. Weiterhin hat er sich schon immer parallel mit Fotografie beschäftigt. Beispiele seiner Arbeit und Workshops findet man unter <http://www.praxisbuch.net> und <http://www.fotopraxis.net>

Dynamic Range Increase, ganz klassisch

EINFÜHRUNG

High Dynamic Range Imaging, HDRi, ist noch immer in aller Munde, und auch in den zurückliegenden Ausgaben des .psd-Magazins wurde dem Trend mit mehreren Artikeln Rechnung getragen. Wie stets ist aber auch diese Technik Geschmackssache, und so gibt es auch viele Fotografen und Bildverarbeiter, denen die Ergebnisse nicht zusagen. Oft wird beklagt, dass HDR-Bilder unnatürlich aussehen, ungewöhnliche, schrille metallische Bonbonfarben und unnatürliche Halos aufweisen. Dabei würde sich wohl jeder Fotograf eine Technik wünschen, welche die Dynamik der Kamera erhöht und dabei ein natürliches Erscheinungsbild bewahrt. Die herkömmliche Sensordynamik reicht für manche Szenen nicht einmal ansatzweise aus: Bei Nachtaufnahmen brechen Spitzlichter unschön aus, helle Bereiche sind unscharf überstrahlt und dunkle Bereiche tragen keine Zeichnung mehr. Bei Innenaufnahmen ist der Blick durchs Fenster bei Tageslicht oft völlig übersteuert, bei Landschaftsaufnahmen besteht oft die Gefahr, dass der zu helle Himmel fast reinweiß wegbrennt. Es existiert aber tatsächlich schon seit geraumer Zeit eine Technik, mit der auch Szenen mit einem sehr hohen Dynamikumfang gut erfasst werden können. Es handelt sich um das sog. Exposure Blending, manchmal auch als Exposure Fusion oder Exposure Merging bezeichnet: das Zusammenfassen mehrerer Belichtungen zu einem einzigen Bild.

GRUNDLAGEN

Das besagte Zusammenfassen mehrerer Belichtungen, das hört sich nach HDR an, ist es aber nicht. Um ein wenig Licht ins Dunkel der Begriffe zu bringen, nachfolgend eine kurze Terminologie:

HDRi, High Dynamic Range Imaging bezeichnet eine Technik, bei welcher aus mehreren Belichtungen eine einzige Hochkontrastaufnahme mit einem Dynamikumfang von typischerweise 32 Bit erstellt wird. Die Rechnung erfolgt in Fließkommaarithmetik, für die Komprimierung auf darstellbare 8 Bit pro Farbkanal ist das sog. Tone Mapping erforderlich. Die hierbei verwendeten nichtlinearen Kennlinien haben wahrnehmungsphysiologischen Ursprung. Die Tatsache, dass eine Vielzahl von Tone-Mapping-Verfahren existiert, zeigt, dass es keine objektive Richtlinie gibt. Entsprechend sind auch die Ergebnisse Trends unterworfen und letzten Endes Geschmackssache.

DRI: Dynamic Range Increase wird im Sprachgebrauch sowohl als Überbegriff für alle verfügbaren Techniken zur Kontrastumfangssteigerung als auch allein für die Technik des Exposure Blendings verwendet. Im vorliegenden Workshop verwenden wir es gem. der letzteren Bedeutung.

Exposure Blending, Exposure Merging oder Exposure Fusion bezeichnet das Zusammenfügen bzw. Übereinanderlegen mehrerer Belichtungen, (12). Dies kann sowohl zu DRI-Zwecken als auch aus anderen Gründen geschehen. Weitere Anwendungen neben der Steigerung des Kontrastumfangs sind: Rauschreduktion durch Mehrfachaufnahmen, Erweiterung des Schärfentiefebereiches (Focus Stacking, s. unten), Reduktion von Glanzlichtern. Die erforderliche Belichtungsserie kann mit einer speziellen Kamerafunktion automatisiert (vgl. hierzu das Kamerahandbuch, Stichwort Belichtungsreihe) oder auch für mehr Flexibilität per Kabelfernauflöser im Bulb-Modus manuell aufgenommen werden. Im Englischen bezeichnet man die Aufnahme einer solchen Serie als Exposure Bracketing.

Focus Stacking: Unter besonderen Bedingungen, bspw. im Makrobereich, sind durchgängig scharfe Aufnahmen aufgrund einer sehr geringen Schärfentiefe physikalisch fast unmöglich. Man behilft sich dann mit dem sog. Focus Stacking. Ähnlich wie beim Exposure Bracketing, so wird auch hier wieder eine ganze Reihe von Belichtungen aufgenommen, dieses Mal aber nicht mit variabler Belichtungszeit, sondern mit variabler Fokussierung (der Vorgang heißt Focus Bracketing). Eine dedizierte Software wie HeliconFocus (16) oder auch Enfuse (2) kann hieraus dann ein einziges, durchgehend scharfes Bild errechnen. Einige Ergebnisbilder findet man bspw. auf der Herstellerseite von HeliconSoft (16).

Nicht nur auf den Bedienelementen der Kamera, sondern auch in diesem Workshop taucht die Bezeichnung Exposure Value bzw. EV auf. Umgangssprachlich wird die Größe auch als Blendenstufe oder einfach als Blende bezeichnet. Ein Wert von +1 EV kennzeichnet eine Verdoppelung der Lichtmenge auf dem Sensor, gleichbedeutend mit einer Verdoppelung der Belichtungszeit oder mit einer Einstellung auf die nächste volle Blendenstufe. Hinsichtlich des Kontrast- bzw. Dynamikumfangs ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\text{Kontrastumfang} = \text{Dynamik} = 2^{(\text{EV}_{\text{Differenz}})}$$

$$\text{EV}_{\text{Differenz}} = \log_2 \text{Kontrastumfang}$$

Die aktuelle Spiegelreflextechnologie ermöglicht bei optimalen Bedingungen einen Dynamikumfang von ca. 10-11 Blendenstufen bzw. 2 hoch 10 bis 2 hoch 11 Abstufungen pro Farbkanal. Die Raw-Daten tragen diesem Umstand Rechnung und kodieren die Daten in 12 oder 14 Bit (und bieten damit noch etwas Reserve). Wenn man mit diesen Kameras nun eine Belichtungsreihe von bspw. -2 EV, 0 EV, +2 EV aufnimmt (also ein Exposure Bracketing vornimmt, s. oben), so erhält man damit Daten mit einem Dynamikumfang von rund 14 EV.

Infobox: Die Theorie hinter Exposure Blending

Viele der aktuellen Exposure-Blending-Implementierungen wie bspw. (2, 5, 6) basieren auf dem Ansatz der Forschergruppe Mertens-Kautz-Reeth, (1, 4). In der Basisveröffentlichung „Exposure Fusion“ aus dem Jahre 2007 wird der Ansatz detailliert erklärt, womit auch die Parametrierung der Programme Enfuse, EnfuseGUI und LR/Enfuse rasch klar wird. Knapp zusammengefasst lautet der Ansatz wie folgt: Aus einer Belichtungsreihe werden von jeder Aufnahme nur die „besten“ Pixel zum Ergebnisbild fusioniert. Um diese „besten“ Pixel zu finden, gibt es mehrere mögliche

Qualitätsmaße, deren Gewichtung einstellbar ist:

- 1 Der Helligkeitswert sollte um 50 % liegen (dies ist ein Indiz für eine ausgewogene Belichtung).
- 2 Der Sättigungswert sollte möglichst groß sein.
- 3 Der Kontrast im lokalen Umfeld sollte möglichst groß sein. Im zweiten Schritt des Verfahrens werden die dieserart bestimmten Pixel bzw. Bildbereiche weich (gewissermaßen „mit weicher Auswahlkante“) automatisch zusammengefügt.

Infobox: Langzeitbelichtung, Nachtaufnahmen, Belichtungsreihen

Man sollte meinen, es ist ganz einfach: Kamera auf ein Stativ, Kabelfernauslöser dran (hier kann man auch den Selbstauslöser verwenden), fertig! Und dann werden die Bilder vielleicht doch nicht so, wie man sich das vorgestellt hat. Hier deswegen ein kurzer Leitfaden für Langzeit- und Nachtaufnahmen (13):

- Eine Kameraeinstellung auf Raw-Format ist fast unerlässlich; dies bietet mehr Sicherheit für eine spätere Reparatur der ausgefressenen Lichter oder der unterbelichteten Schatten sowie für den Weißabgleich und die Wahl des Farbraumes (sRGB oder AdobeRGB). Eine kleine Gain-Vorgabe von ISO 100, maximal ISO 200 hält das Rauschen gering.
- Idealerweise verwendet man das Feature „Spiegelvorauslösung“, da auch die Bewegung des Umlenkspiegels der SLR die Schärfe beeinträchtigen kann. Es ist aber bei langen Belichtungszeiten nur ein kleines Tüpfelchen auf dem „i“ – relevanter wird es eher bei kürzeren Zeiten kleiner einer Sekunde.
- Wenn die Kamera stabil auf einem Stativ steht, so sollte man das evtl. vorhandene Feature „Image Stabilization (IS)“ oder „Vibration Control (VC)“ ausschalten. Besser wird es durch die IS nicht, eher schlechter, wenn Regelalgorithmus und Aktuatoren anfangen zu suchen und zu regeln.
- Was Fokuspunkt und Blende angeht, so gilt das Gleiche wie bei Landschaftsaufnahmen im Allgemeinen: Möchte man einen sehr großen Tiefenbereich im Bild scharf abbilden, so sollte man eine Blende größer/gleich 8 wählen, den Autofokuspunkt auf das erste Drittel des gewünschten Tiefenbereichs setzen und das (Zoom-) Objektiv möglichst weitwinklig einstellen (diese Faustregel ist angelehnt an die Regel der Hyperfokalen Entfernung (15)). Generell ist das Fokussieren bei Nachtaufnahmen nicht einfach, da für den Auto-Fokus-Sensor oft das Licht nicht ausreicht. Eine sinnvolle Vorgehensweise ist auch die Verwendung des 10x eingezoomten Liveview-Modus' in Verbindung mit einer manuellen Fokuseinstellung.
- Oft ist für Langzeitbelichtungen der Av-Modus am besten geeignet. In diesem Modus gibt der Fotograf die Blende vor, und die Kamera berechnet die notwendige Belichtungszeit. Dies funktioniert aber meist nur bis 30 Sekunden, darüber hinaus ist der sog. Bulb-Modus einzustellen (vgl. Handbuch zur Kamera). Ein Vorteil dieses Modus ist, dass man nun mit dem Fernauslöser Start und Stopp vorgeben kann – perfekt für Belichtungsreihen mit mehr als den 3..5 automatischen Bracketing-Stufen. Für eine manuelle Belichtungsreihe stellt man zuerst den Av-Modus ein, schaut, was die Kamera errechnet und berechnet sich kurz im Kopf hierzu zwei bis drei kürzere und zwei bis drei längere Belichtungen. Ein Beispiel: Die Kamera schlägt vor: tv = 4 Sekunden. Die EV-Reihe soll folgendermaßen aussehen: -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 (EV). Folgende Belichtungsreihe ergibt sich nach kurzem Kopfrechnen bzw. gem. (14): 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32 Sekunden.
- Wenn man nicht im Bulb-, sondern im Av-Modus arbeitet, so sollte man unbedingt nach jeder Aufnahme das Histogramm und die Übersteuerungsanzeige kontrollieren und gegebenenfalls per Belichtungskorrektur (EV-Korrektur) nachjustieren. Im Regelfall muss man hier ein wenig herunterregeln (Bsp.: -2/3 EV), damit die hellen Lichter (Straßenlaternen usw.) nicht oder nur wenig übersteuern.
- Wer den Kabelfernauslöser vergessen hat, der verwendet den Selbstauslöser. Wer kein Stativ hat, macht sich ein Säckchen mit Reis oder Bohnen und legt die Kamera damit aufs Autodach oder Brückengeländer. Was man noch braucht: Eine kleine Taschenlampe (sonst kann man die Bedienelemente im Dunkeln nicht finden), eine Streulichtblende, einen Schirm.
- Wer perfekte und tiefenscharfe Aufnahmen erzielen möchte, der stellt das Objektiv auf die sog. förderliche Blende ein – die kleinstmögliche Blende, bei welcher noch keine störenden Beugungseffekte auftreten (oft bewegt sich die förderliche Blende um die f/8.0, vgl. hierzu auch bspw.(19)).

MANUELLES EXPOSURE BLENDING

Profis wie Martin Preissner (7) und Katja Gragert (18) schwören noch immer auf eine manuelle DRI-Bearbeitung, und tatsächlich lassen sich per Handarbeit noch mehr feinste Details herausarbeiten als mit einer automatischen Lösung wie Enfuse (s. unten) – die Portfolios der zwei Fotokünstler sprechen für sich! Ein manuelles Fusionieren mehrerer Belichtungen mit der Maskentechnik ist grundsätzlich mit jedem Programm möglich, das die Ebenentechnik beherrscht

(also auch bspw. mit GIMP); im vorliegenden Workshop wird dazu Photoshop CS4 verwendet. Es existieren hierzu auch bereits einige Workshops, die sich in der grundsätzlichen Vorgehensweise eher geringfügig unterscheiden (vgl. bspw. (8, 10, 18), (9) Kap. 8: Work-shop Dynamic Range Increase). Für erste Tests gibt es im Internet frei verfügbares Bildmaterial aus Belichtungsreihen, bspw. von Jacques Joffre, (17).

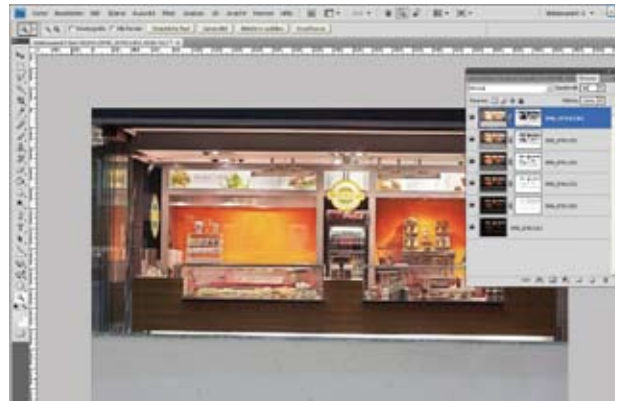
Infobox: Alignment, das hochgenaue Ausrichten eines Bildstapels

Auch wenn die Kamera bei der Aufnahme der Belichtungsreihe auf einem Stativ stand, so existiert dennoch die Gefahr einer leichten Verschiebung von Bild zu Bild, sei es durch den Wind oder durch Vibrationen. Eine gängige Pixelbreite ist fünf Mikrometer, entsprechend ist zumindest eine Verschiebung um ein, zwei Pixel fast schon wahrscheinlich. Das ist aber kein großes Handicap, da hierfür Software verfügbar ist, die anhand von Features im Bild diese Verschiebung ausrechnet und berichtigt. Diese Funktionalität ist bspw. vorhanden in Photoshop (öffnen wie beschrieben, dabei (x) Ebenen automatisch ausrichten), in Photoshop Elements und auch in LT/Enfuse. Nicht vorhanden ist die Funktion aber leider in EnfuseGUI – hier sollte man entsprechend vor dem eigentlichen Einsatz von EnfuseGUI die Bilder mit einem anderen Tool ausrichten (Vorgehensweise siehe Text). Noch ein Wort dazu: Es ist angeraten, das Gelingen des Ausrichtens auch zu kontrollieren (die Algorithmen versagen manchmal)! Hierzu sucht man ein deutliches Feature und schaut, ob es im Ebenenstapel überall am gleichen Ort liegt.



Belichtungsreihe als Ebenen laden.

(*) Zu beachten ist, dass der Weichzeichnerparameter mit jeder helleren Ebene kleiner werden sollte. Für den Fast-Food-Kiosk wurden folgende Parameter eingestellt: 250, 80, 30, 30, 12. Hier ist es wichtig, auch zu beobachten, ob die Lichter im Bild mit der gewählten Einstellung sauber eingebledet werden.



Manuelles Exposure Blending – Ebenen und Masken.



Detailreiches Ergebnis des manuellen Exposure Blendings.

Ein möglicher Ablauf ist, angelehnt an (8), wie folgt (je nach Bildmaterial sind die Parameter, besonders die Weichzeichnung (*), etwas anzupassen):

- Vorneweg ist einzustellen: Alle Menübefehle einblenden: Bearbeiten / Menüs / Set: Photoshop-Standards
- Datei / Skripten / Dateien in Stapel laden ..., (x) Quellbilder nach Möglichkeit ausrichten
- Ebenen von Hand umsordieren, dunkelste zuunterst, dann aufsteigend
- Dunkelste Ebene anwählen
- Auswahl / Farbbereich / Lichter
- Auswahl / Auswahl verändern / Erweitern / 10 Pixel
- Auswahl / Auswahl umkehren
- Nun die nächste Ebene im Stapel anwählen und dort eine Maske erstellen per Maskensymbol in der Ebenenpalette (O)
- Die neu erstellte Maske ist bereits angewählt; nun diese weichzeichnen: Filter / Weichzeichnerfilter / Gaußscher Weichzeichner, 250 (*)
- Nun die aktuelle Ebene anwählen (neben dem Maskensymbol), und weiter mit Punkt 5.



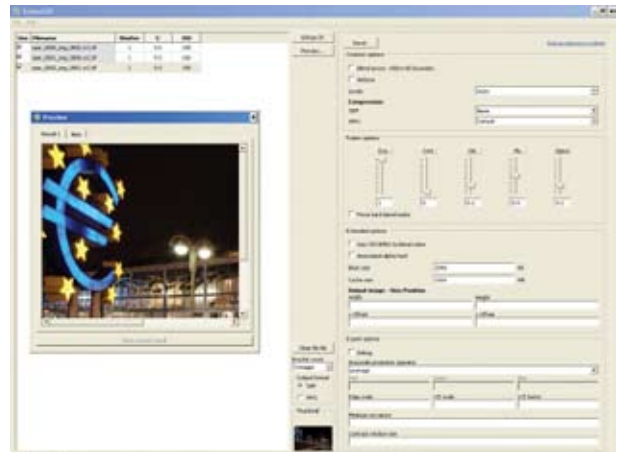
Belichtungsreihe aus sechs Aufnahmen als Ausgangsbasis (das Motiv ist ein Fast-Food-Kiosk am Frankfurter HBF).

Am Ende wird man noch die Deckkraft der Ebenen jeweils anpassen; im Fast-Food-Beispiel wurde jene der hellsten Ebene auf 40% verringert. Sollten sich zu große Schatten um helle Objekte ergeben, so kann man diese auf den jeweiligen Ebenenmasken mit einem schwarzen, weichen Pinsel ausmaskieren. Der Rest ist Standard: Ebene auf Hintergrundebene reduzieren, Gradation, Tiefen bisschen anheben, Sättigung leicht erhöhen, scharfzeichnen (im Beispiel: Unschärf maskieren mit 100 / 2,3 / 10). Der Screenshot zeigt nochmals die Ebenen- und Maskenreihenfolge.

Diese Vorgehensweise könnte man zumindest teilweise automatisieren, hätte dann aber nicht mehr den Vorteil der visuellen Rückmeldung, ob die Maskenerweiterung und die Maskenweichheit stimmt. Wer's dennoch lieber automatisch mag, der kann aber auch eine Software wie Enfuse verwenden:

AUTOMATISCHES EXPOSURE BLENDING MIT ENFUSEGUI

Das Programm Enfuse ist Bestandteil der PanoTools-Programmsammlung, die als Open Source verfügbar ist. In seiner einfachsten Form ist das Programm nur per Kommandozeile zu bedienen (2), aber glücklicherweise gibt es mittlerweile einige Implementierungen wie LR/Enfuse und EnfuseGUI, die das Programm um eine grafische Benutzeroberfläche, eine GUI, erweitern, (2, 5, 11). Für einen Probeauflauf zu Enfuse ist die EnfuseGUI-Erweiterung perfekt geeignet, da die Software frei verfügbar und auch relativ schlank ist. Nach der Installation zieht man einfach die Tiff-Bilddateien in die Dialogbox auf die leere Fläche, schiebt probeweise ein wenig an den Reglern (per



EnfuseGUI bei der Arbeit

Preview sieht man das Ergebnis), wählt dann am besten doch zumindest anfangs wieder den Preset und lässt dann Enfuse kurz rechnen (weitere Details zur Bedienung: (3)). Heraus kommt ein 16-Bit-Tiff, das nach einer kurzen Photoshop-Kur meist bereits wirklich gut aussieht. Das Beispiel zeigt übrigens die neue Frankfurter Oper bei Nacht.

Was wir hierbei elegant übersprungen haben, sind die notwendigen Vorarbeiten und die kosmetische Nachbearbeitung.



Belichtungsreihe aus drei Aufnahmen als Ausgangsbasis (Frankfurter Oper).



Ergebnis des automatischen Exposure Blendings nach Photoshop-Retusche.

Vorarbeiten: Am Anfang steht eine Belichtungsreihe, die im Raw-Format aufgenommen wurde. Enfuse kann diese Dateien nicht direkt einlesen, daher wird man sie zuerst einmal in Photoshop einladen (Datei / Skripten / Dateien in Stapel laden), dort bei der Gelegenheit die Bilder auch ausrichten lassen (vgl. Textbox Alignment) und die Ebenen dann nach dem Ausrichten wieder einzeln als 16-Bit-Tiff-Dateien speichern (Datei / Skripten / Ebenen in Dateien exportieren). Diese können nun problemlos von EnfuseGUI importiert werden.

Nacharbeiten: Das Enfuse-Ergebnis sollte man als 16-Bit-Tiff speichern und dann erneut in Photoshop laden. Dort stehen die Standardreparaturen an: Weißabgleich (Tonwertkorrektur, Grauwertpipette), Tiefen anheben (Tiefen und Lichter, Tiefen auf ca. 4 bis 7 anheben), Gradation anpassen, dezent entrauschen (Rauschen reduzieren, 8, 25), scharfzeichnen (Unschärf maskieren, sinnvolle Werte sind bspw. 100 / 2,3 / 10), als 8-Bit-Jpeg speichern.

Hier noch zwei Anmerkungen zur Klärung einiger Missverständnisse im Umgang mit Enfuse ((3): Common Misconceptions): Eine Belichtungsreihe für Enfuse muss weder symmetrisch um 0, noch ungeradzahlig sein, noch müssen die Werte alle unterschiedlich sein. Enfuse kann auch mit einer EV-Reihe wie bspw. {-1/3, 0, 1, 1, 2, 2, 2} problemlos umgehen. Die Wiederholung einer Belichtung in der Belichtungsreihe kann somit zur Rauschreduktion eingesetzt werden (zu Details hierzu vgl. wieder (3): Applications of Enfuse).

EXPOSURE BLENDING AUS DREI AUSBELICHTUNGEN EINER EINZIGEN RAW-DATEI

In manchen Situationen ist die Aufnahme einer Belichtungsreihe nicht möglich, sei es, weil die Kamera handgehalten wird, sei es, weil das Objekt sich bewegt. So steht dann als Ausgangsbasis für die Bildverarbeitung nur eine einzige Raw-Datei zur Verfügung. Ergibt das Sinn, aus einer einzigen Datei eine Belichtungsreihe zu erstellen? Ja und nein! Der Kontrastumfang wird dadurch nicht höher, und

die Funktionen zur Tiefenanhebung und zur Lichterreparatur werden grundsätzlich auch im Raw-Konverter angeboten. Tatsächlich wird das Ergebnis über den Umweg über drei Belichtungen (typischerweise -2, 0, +2 Belichtungsstufen) wahrscheinlich aber besser, detaillierter, rauschärmer ausfallen. Der etwas andere Workflow über die Aufteilung des Bildes in Einzelbilder für Tiefen, Mitten und Höhen ermöglicht eine ausgefeiltere und transparentere Herangehensweise bspw. hinsichtlich der optimalen Ausmaskierung. Auch kann der Raw-Konverter, mit welchem die drei Belichtungen aus der Raw-Datei erstellt werden, in den drei einzelnen Konvertierungsschritten noch ein wenig Dynamik durch die jeweilige Rauschreduktion herausholen. Bildet euch einfach einmal selbst ein Urteil, indem ihr für eine Raw-Datei das Ergebnis aus der einfachen Einzel-Raw-Konvertierung mit jenem aus der künstlich erzeugten Belichtungsreihe vergleicht. Der Ablauf für das „Pseudo Exposure Blending“ ist wie folgt:

Photoshop: Einlesen der Raw-Datei, vorsichtige erste Anpassung von Weißabgleich, Sättigung, Rauschreduktion und Scharfzeichnung, Einstellung der Unterbelichtung (-2 EV, -1 EV), Standardbelichtung (0 EV) und Überbelichtung (rund +1 bis +2 EV) mit jeweils nachfolgender Speicherung als 16-Bit-Tiff-Bild. Ab hier geht es manuell oder automatisiert weiter wie oben geschildert.

AUSBLICK

Wie gezeigt, ist Exposure Blending ein leistungsfähiges Werkzeug zur Kontraststeigerung. Aber der Ansatz vermag noch viel mehr zu leisten. So kann das Überblenden mehrerer Dateien auch der Rauschreduktion dienen, Glanzlichter beseitigen oder auch den Schärfentiefebereich erhöhen. Alle diese Ansätze sind wieder sowohl manuell als auch mit Enfuse (EnfuseGUI, LR/Enfuse) umsetzbar. Zu Details zu diesen weiterführenden Anwendungen vgl. auch die Dokumentation zu Enfuse unter (3): Applications of Enfuse.

Besuchen Sie zu weiteren Workshops zu diesem Thema und auch zu vielen anderen Themen bei Interesse einmal die Website <http://www.fotopraxis.net>.



Einzelne Raw-Aufnahme als Ausgangsbasis (Naturkundemuseum in Wien).

QUELLEN

- 1 Mertens, T., Kautz, J., and Reeth, F.V. (2007): Exposure fusion. In Proceedings of Pacific Graphics 2007, Seiten 382–390. Online verfügbar unter:
http://research.edm.uhasselt.be/~tmertens/papers/exposure_fusion_reduced.pdf
- 2 Software zum Exposure Blending:
Enfuse, EnfuseGUI
<http://wiki.panotools.org/Enfuse>
- 3 Umfangreiche Dokumentation zu Enfuse:
http://wiki.panotools.org/Enfuse_reference_manual
- 4 Matlab-Implementierung des Ansatzes nach Mertens-Kautz-Reeth
<http://research.edm.uhasselt.be/~tmertens/>
- 5 Kommerzielles Lightroom-Plug-in LR/Enfuse
<http://www.photographers-toolbox.com/products/lrenfuse.php>
- 6 Tufuse: Two-Steps Exposure Blending, Open-Source:
<http://www.tawbaware.com/tufuse.htm>
- 7 Martin Preissner: Portfolio zum Thema Nachtaufnahmen in DRI-Technik:
<http://www.nachtmomente.de>
- 8 Jürgen Held: PSD-Tutorials zu HDR-Fotografie, Teil 12, Alternative DRI (Kontrastumfang ohne HDR-Technik erhöhen):
<http://www.psd-tutorials.de/modules.php?name=News&file=article&sid=2440>
- 9 Jürgen Held: HDR-Fotografie. Das umfassende Handbuch, Verlag Galileo Press, 2009,
<http://www.digitaletiefe.de/>
- 10 Workshops zum manuellen Exposure-Blending in Photoshop:
<http://www.digicamfotos.de/index3.htm?http://www.penum.de/praxistipp/dri/nachtaufnahmedri.php>
<http://www.digiachim.de/DRI/index.htm>
<http://www.fotocommunity.de/info/DRI>
<http://photography-on-the.net/forum/showthread.php?t=362356&highlight=tutorial>
- 11.Tutorial zu LR/Enfuse
http://www.lightroom2.de/lrenfuse_workshop/
- 12.Wikipedia-Artikel zum Thema „Exposure Blending“:
http://de.wikipedia.org/wiki/Exposure_Blending
- 13.Tilo Gockel: Workshop zum Thema Nachtaufnahmen und Langzeitbelichtungen:
<http://fotopraxis.wordpress.com/workshops-2/workshop-langzeitbelichtungen-nachtaufnahmen/>
- 14.Wikipedia-Artikel: Hintergrund zum Lichtwert bzw. Exposure Value:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtwert>
- 15.Wikipedia-Artikel: Kurze Erklärung zur „Hyperfokalen Entfernung“:
http://de.wikipedia.org/wiki/Hyperfokale_Entfernung
- 16.Fa. HeliconSoft, Produkt Helicon Focus, eine kommerzielle Focus-Stacking-Software, vgl.:
<http://www.heliconsoft.com/heliconfocus.html>
http://www.heliconsoft.com/focus_samples.html
- 17.Jacques Joffre: Bildmaterial aus Belichtungsreihen, für HDR/DRI-Tests:
<http://www.hdrsoft.com/examples.html>
- 18.Katja Grager: Langzeitbelichtung und DRI, Artikel in der Zeitschrift DOCMA, Ausgabe 1/08.
- 19.Umfangreiche Sammlung von Tests zu Objektiven von Canon, Nikon, Tamron, Sigma, Zeiss usw. Mithilfe dieser Charts kann man auch die „förderliche Blende“ eruieren:
<http://www.slrgear.com/reviews/showcat.php/cat/2>



Im Raw-Konverter künstlich erzeugte Belichtungsreihe (-2 / -1 / 0 / +1 EV).



Ergebnis nach manuellem Exposure Blending und ein wenig Photoshop-Kosmetik.