

# 1 Mehr Schärfentiefe per Focus-Stacking

Hier handelt es sich um einen stark gekürzten Ausschnitt aus dem Makrobuch (als PDF), das 2021 beim dpunkt.verlag erschienen ist: <https://dpunkt.de/produkt/makrofotografie-2/>

Die Schärfentiefe ist bei Makroaufnahmen oft sehr gering. Das lässt sich bei etwas größeren Maßstäben durchaus kreativ nutzen, wie die nebenstehende Aufnahme einer Rose zeigt.

Oft reicht die Schärfentiefe aber nicht aus, selbst wenn man stärker abblendet (Blendenwerte wie etwa  $f/11$  oder größer). Auch wenn viele APS-C- und Vollformatobjektive Blendenwerte von  $f/22$  oder gar  $f/32$  bieten, kommt man nämlich schnell an die Grenze der Beugung. Geht man darüber hinaus, gewinnt man zwar an Schärfentiefe, verliert aber durch die dann auftretende Beugungseffekte an Kontrast und Auflösung.

Diese Grenze ist abhängig von der Sensorgröße – bei kleineren Sensoren setzt die Beugung früher ein als bei größeren. Ein weiterer Faktor ist die Sensorauflösung. Je höher diese ist, umso schneller machen sich die Effekte der Beugung bemerkbar. Daneben spielt auch die spätere Darstellungsgröße eine Rolle. Es dürfte leicht nachvollziehbar sein, dass in einer größeren Darstellung auch Beugungseffekte stärker sichtbar werden. Schließlich spielt in einem gewissen Umfang auch die Objektivkonstruktion eine Rolle. Sie soll hier aber ignoriert werden.

Tabelle A-2 auf Seite 293 gibt einen groben Überblick über die Grenze, ab denen sich die Beugung negativ auf die Schärfe bzw. den Detailkontrast auswirkt. Diese Grenze ist nicht fix, sondern ein gleitender Übergang. So kann man bei einer etwas älteren Vollformatkamera – sie hat mutmaßlich eine geringere Auflösung



[1] Hier wird die begrenzte Schärfentiefe in der Bildmitte als kreatives Element eingesetzt. Das dunkle Blau im Hintergrund liefert einen schönen Farbkontrast zur Rose. (Vollformat, 24–105 mm @ 105 mm,  $f/9$ , ISO 640,  $1/200$  s, freihand, bedeckter Himmel)

als aktuelle Top-Modelle – ohne allzu große Probleme auf  $f/11$  bis  $f/13$  abblenden. Hat die Vollformatkamera 24 MP (Megapixel), liegt die Grenze etwa bei  $f/10$ ; hat sie 45 MP, sollte man nicht über  $f/8,5$  hinausgehen. Bei

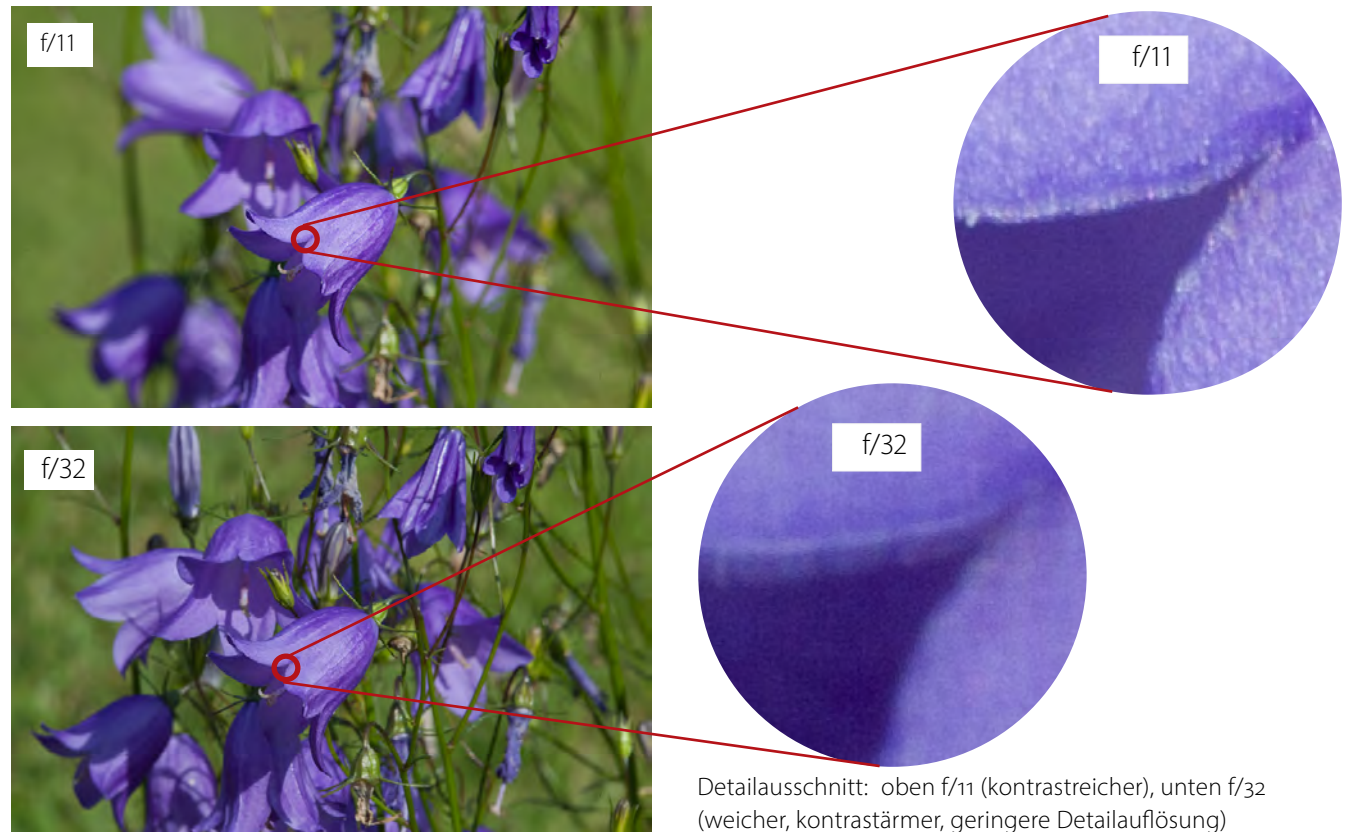
einer aktuellen APS-C-Kamera mit einer Auflösung von 20 bis 24 MP muss man bei  $f/8$  schon gewisse Abstriche machen, und beim noch kleineren Micro-Four-Thirds-Format (M4/3, heute zumeist mit 16 oder 20 MP) sind

## Mehr Schärfentiefe per Focus-Stacking

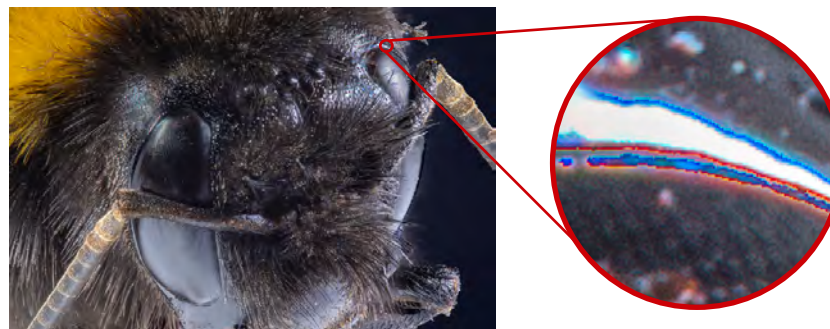
schon bei  $f/7$  Beugungsartefakte erkennbar, zumindest wenn man etwas einzoomt oder einen größeren Ausdruck erstellt. Abbildung [2] zeigt den Effekt zu starken Abblendens bzw. der Beugungsunschärfe.

Beim Abblenden nehmen andere Objektiv-Artefakte ab – etwa die Randabschattung (Vignettierung), Unschärfen an dem Bildrändern und chromatische Aberrationen (Farbfehler an den Bildrändern bzw. an Kanten mit hohem Kontrast, verstärkt an den Bildrändern, siehe Abb. [3]). Das liegt daran, dass beim Abblenden die äußeren Bereiche des Objektivs bzw. dessen Linsen nicht mehr genutzt werden. Chromatische Aberrationen sind beispielsweise technisch nur aufwändig zu korrigieren (durch die Verwendung spezieller, relativ teurer Gläser). Es gibt also eine Art optimale Blende für ein Objektiv – auch als *kritische Blende* bezeichnet. Bei ihr ist die Bildauflösung am höchsten, und in Summe machen sich die Artefakte durch Beugung und die Bildfehler durch die Objektivkonstruktion am wenigsten bemerkbar. In aller Regel liegt diese kritische Blende etwa eine Blendenstufe unterhalb der *Beugungsgrenze*<sup>1</sup> und etwa eine bis eineinhalb Blendenstufen unterhalb der Offenblende. Es gibt jedoch auch (zumeist recht teure) Objektive, die bereits bei Offenblende (oder eine Stufe darunter) ihre volle Abbildungsqualität zeigen.

<sup>1</sup> Als *Beugungsgrenze* wird der Blende einer Kamera bezeichnet, bei der die Beugung erkennbar den Mikrokontrast und (bedingt) auch die Schärfe sichtbar negativ beeinflusst. Wesentliche Faktoren sind hierbei die Größe des Sensors sowie die Auflösung des Sensors.



[2] Zwei Aufnahmen (Ausschnitte) mit unterschiedlicher Blende aufgenommen: Bei  $f/32$  ist die Schärfentiefe höher, und das Bild erscheint (zumindest in der hier gezeigten Größe) etwas schärfer; in der Vergrößerung wird jedoch erkennbar, dass die Beugung die Detailschärfe sehr deutlich reduziert.



[3] Schaut man genau hin, sind hier zumindest im Detailausschnitt chromatische Aberrationen (Farbsäume) in Randbereichen an kontrastreichen Kanten zu erkennen. Diese sollte man möglichst bereits im Raw-Konverter reduzieren.

Dieser Ausschnitt mag extrem sein (400 %), zeigt aber deutlich die chromatischen Aberrationen (Farbsäume, hier cyan-farben) an den Kontrastkanten in den weiter außen liegenden Bildbereichen – eine Schwäche des eingesetzten Objektivs.



### Was tun, wenn die Schärfentiefe nicht reicht?

In diesem Fall erstellt man mehrere Aufnahmen, bei denen man den Fokuspunkt (und damit die Schärfenebene) verändert. Anschließend kombiniert man diese einzelnen Aufnahmen mit geeigneten Techniken zu einem Bild mit erweiterter Schärfentiefe.

Bei diesen Techniken nimmt man von den einzelnen Bildern jeweils die Bereiche mit der größten Schärfe und blendet die anderen Bereiche aus. Diese Technik wird als *Focus-Stacking*, *Depth Stacking* oder *Focus Blending* bezeichnet – man legt dazu mit einer speziellen Technik (oder einem darauf spezialisierten Programm) die scharfen Bereiche so übereinander, dass primär die kontrastreichen, zumeist als scharf wahrgenommenen Bildbereiche kombiniert werden, und verbindet sie so miteinander, dass sich ein Bild mit erweiterter Schärfentiefe ergibt.

### Tilt/Shift-Objektive

Es gibt in manchen Situationen eine weitere Technik, um mehr Schärfentiefe zu erzielen: so genannte Tilt/Shift-Objektive. Sie erlauben, die Objektivenebene in einem gewissen Umfang zu neigen. (*Tilt* ist der englische Begriff für *Neigen*, *Shift* für das horizontale oder vertikale Verschieben des Objektivs zur Abbildungsebene.) Damit



[4] Links die normale Aufnahme. Hier ist nur die Vorderkante der Rose scharf abgebildet. Rechts die Aufnahme unter Nutzung der Tilt-Funktion des Tilt/Shift-Objektivs (hier ein Canon 24 mm f/3,5 TS-E) jeweils bei f/8. Für die rechte Aufnahme wurde das Objektiv leicht (um 8,5°) zur Ebene der Rosenoberfläche hin geneigt und damit eine deutlich höhere Schärfentiefe auf der Rose erzielt. Um einen stärkeren »Makroausschnitt« zu erreichen, wurde hier zusätzlich ein 1,4-fach Telekonverter eingesetzt. Ein Objektiv mit längerer Brennweite wäre für diese Aufnahme besser geeignet. Mit dem Neigen des Objektivs ändert sich zugleich auch etwas die Perspektive.

ist der sogenannte Scheimpflug-Effekt möglich. Damit nähern sich die Objektebene und die Abbildungsebene einander an, und ein größerer Bereich des Objekts kann scharf abgebildet werden. Die Schärfentiefe wird damit nicht größer, sondern ein größerer Teil des Objekts liegt in der Schärfentiefe. Diese Tilt/Shift-Objektive sind aber recht teuer, nicht für alle Kameramarken bzw. Kamerabajonette verfügbar, und der Effekt ist primär nur dann einsetzbar, wenn das Objekt relativ flach bzw. eben ist. Es lassen sich damit auch perspektivische Verzerrungen vermeiden oder reduzieren, etwa in Architekturaufnahmen. Nur wenige

dieser Objektive sind allerdings für Makroaufnahmen geeignet. (Im Zusammenspiel mit Zwischenringen sind jedoch Nahaufnahmen möglich.) Lediglich Canon hat einige neuere Tilt/Shift-Objektive mit dem Namenszusatz »Macro«, die ohne zusätzliche Komponenten einen Abbildungsmaßstab von 1:2 erlauben.

Es gibt auch Balgengeräte (z. B. von Novoflex [41]), die eine Tilt- und Shift-Funktion erlauben. Allerdings sind diese relativ teuer.

Wir betrachten deshalb diese Technik in diesem Buch nicht weiter.

## 1.1 Aufnahmetechniken für das Focus-Stacking

Bei den Aufnahmen für ein anschließendes Focus-Stacking gibt es zwei wesentliche Fragen:

- A. Wie verschiebt man den Fokus von Aufnahme zu Aufnahme? Dafür gibt es gleich mehrere anschließend beschriebene Techniken.
- B. Wie viele Aufnahmen benötige ich für eine konkrete Szene (oder was ist die geeignete Schrittweite), um den interessanten Tiefenbereich mit der kombinierten Schärfentiefe abdecken zu können?

### Wie verschiebe ich den Fokuspunkt?

Für das spätere Focus-Stacking benötigt man mehrere Aufnahmen mit unterschiedlichen Fokusebenen. Jede dieser Aufnahmen soll dabei einen etwas anderen Schärfenbereich abdecken, und die einzelnen Schärfenbereiche sollten sich ausreichend überlappen, damit später eine »durchgehende Schärfe« erzielt wird. Dafür gibt es eine Reihe von Lösungen:

#### 1. Manuelles Verschieben des Fokuspunkts

Hierfür arbeitet man mit manuellem Fokus und verschiebt per Hand am Fokusring der Kamera von Aufnahme zu Aufnahme den Fokuspunkt in einer Richtung – von vorne nach hinten oder von hinten nach vorne.

Diese Technik lässt sich fast immer einsetzen und ist einfach, sofern nicht zu viele Aufnahmen

erforderlich sind und der Fokusweg zwischen zwei Einstellungen nicht zu klein ist. Die Technik setzt ein wenig Feingefühl voraus. Vorteilhaft ist hierbei, wenn das Objektiv einen möglichst langen Fokusweg hat bzw. eine relativ große Drehung am Fokusring erlaubt, was bei Makroobjektiven häufiger der Fall ist.

Wird der Fokus rein elektronisch über einen Hebel an der Kamera betätigt, wie es bei Kompaktkameras oft üblich ist, ist dieses Verfahren kaum vernünftig einsetzbar.

#### 2. Verändern des Fokuspunkts per Touchscreen

Viele neuere Kameras erlauben es, den Fokuspunkt mit einem Finger-Touch auf dem Rück-Display der Kamera festzulegen und optional damit gleich auch auszulösen. Diese Technik eignet sich beispielsweise für Landschaftsaufnahmen, bei denen man lediglich zwei oder drei Aufnahmen benötigt. Dabei sollte der Fokuspunkt möglichst in der gesamten Display-Fläche gesetzt werden können (was für etwas ältere Digitalkameras in den Randbereichen oft nicht möglich ist). Für eine Fokussequenz mit vielen Aufnahmen und kleinen Schrittweiten ist diese Technik weniger geeignet.

#### 3. Die Kamera bietet Focus-Bracketing

Dabei verändert sie in einstellbarer Schrittweite den Fokuspunkt von Aufnahme zu Aufnahme.

Leider findet man diese Funktion bisher nur bei relativ wenigen Kameras; neue Kameras ab der Mittelklasse unterstützen die Funktion aber zunehmend (etwa die Nikon Z7 oder die Canon EOS R5). Einige aktuelle M4/3-Modelle von OM-Systemen sowie M4/3-Modelle von Panasonic bieten diese Funktion schon länger.

Das Objektiv muss dazu ein Autofokus-Objektiv sein, denn die Kamera steuert darüber die Fokussierung. Die Schrittweite ist nicht beliebig fein einstellbar und wird bei der Einstellung an der Kamera in nicht näher definierten Schritten vorgenommen (in der Regel werden mehrere Schrittweiten angeboten). Sie ist auch abhängig vom verwendeten Objektiv und dessen Konstruktion.

Diese Technik bewährt sich für nicht zu große Maßstäbe – etwa im Bereich 1:4 bis 1:1. Bei größeren Maßstäben ist die Schrittweite der Kamera oft zu groß.

Sind zahlreiche Schritte erforderlich, so ist es vorteilhaft, wenn die Kamera auf einem stabilen Stativ ruht, sodass keine Verwacklungen durch eine Kamerabewegung während der Aufnahmen auftreten und keine größeren Änderungen der Perspektive zwischen den Aufnahmen.

Bietet Ihre Kamera dieses Focus-Bracketing selbst noch nicht, so lässt sich unter Umständen diese Funktion über ein Firmware-Update realisieren. Diese Möglichkeit findet man bei einigen Canon-

Kameras über die Magic-Lantern-Firmware [50].<sup>2</sup> Kapitel 1.2 beschreibt dies am Beispiel der Canon EOS R5 – dort jedoch mit der Standard-Firmware.

#### 4. Eine externe Anwendung steuert den Fokus der Kamera

Beherrscht die Kamera selbst nicht die Erstellung von Fokusreihen, kann diese Aufgabe eine externe Anwendung übernehmen. Hierbei steuert eine externe Einheit – ein Smartphone, ein Tablet oder ein Rechner – die Kamera. Die Anbindung der Steuereinheit kann, abhängig von der Kamera, per USB- oder LAN-Kabel oder per Funk (Bluetooth oder WiFi) erfolgen. Beispiele dafür sind etwa *Helicon Remote*, *qDslrDashboard* oder *Camranger* (es gibt noch weitere). Einige davon werden in Kapitel 6 näher beschrieben. Dies funktioniert wie bei Methode 3 nur mit Autofokus-Objektiven.

#### 5. Kamera manuell auf Makroschiene verschieben

Man setzt die Kamera auf eine Makroschiene und bewegt sie manuell durch Drehen an einem Rad der Schiene von Aufnahme zu Aufnahme ein Stückchen weiter in eine Richtung. Im Unterschied zur Methode 1 wird hierbei an der Kamera selbst nichts von Aufnahme zu Aufnahme verstellt. Hierbei sitzt die Schiene (auch als *Macro Rail* bezeichnet) in aller

Regel auf einem Stativ und sollte eine möglichst geringe, feine Verstellung erlauben. Man sollte dabei (nach etwas Übung) ein Gefühl dafür entwickeln, um wie viel Grad man das Vorschubrad jeweils verstellen muss. Merken Sie sich dabei die Vorschub- bzw. Drehrichtung am Vorschubrad des Schlittens. Setzt man ein Balgengerät ein, wird die Kamera mit dem Balgen verschoben.

Für manche Makrotechnik – etwa wenn man mit gekuppelten oder umgedrehten Objektive arbeitet<sup>3</sup> – ist diese Technik auch das Verfahren, um überhaupt eine vernünftige erste Fokussierung zu erreichen.

#### 6. Kamera wird per elektronisch gesteuertem Makroschlitten bewegt

Dies ist eine recht mächtige Lösung, lässt sich aber (fast) nur mit statischen Motiven praktizieren. Es gibt eine Reihe elektronisch gesteuerter Makroschlitten dafür. Sie liegen im Preisbereich zwischen 350 und etwa 2 000 Euro. Auch selbstgebaute Lösungen sind möglich, setzen aber einiges an Technik-Know-how und Bastelei voraus.

Diese Lösungen erlauben sowohl sehr kleine Schrittweiten als auch recht mühelos zahlreiche Aufnahmen (auch mehrere hundert). Ein Beispiel für eine solche Makroschiene beschreibt Kapitel 6.6.

#### 7. Video-Stacks

Eine Variante, Fokusreihen zu erstellen, liegt in der Videotechnik. Sie setzt voraus, dass die Kamera Video beherrscht, vorzugsweise mit möglichst hoher Auflösung (4 K oder 8 K). Das Konzept sieht dabei wie folgt aus:

Man zeichnet ein Video auf, bei dem man langsam den Fokus verändert. Man beginnt dabei kurz vor oder auf der vordersten Schärfe-Ebene und verlagert während der Aufnahme den Fokus bis kurz hinter die hinterste Schärfe-Ebene, die noch scharf wiedergegeben werden soll. Als Methode, wie man möglichst bildfüllend die Szene aufnimmt, können fast alle in Kapitel 2 aufgeführten Varianten eingesetzt werden – abgesehen von der Technik mit dem Scanner, dem Smartphone und dem Umkehradap-ter.

Die Schärfeverlagerung sollte dabei möglichst weich, gleichmäßig und nicht zu schnell erfolgen. Objektive mit langem Fokusweg – typisch Makroobjektive – sind hier von Vorteil. Zusätzlich muss man darauf achten, die Kamera möglichst ruhig bzw. verwacklungsfrei zu halten, was nicht ganz einfach ist, wenn man den Fokus von Hand verändert. Eine rein elektronisch gesteuerte Fokusverschiebung an einem remote-Steuergerät ist hier vorteilhaft.

Anschließend extrahiert man aus dem Video einzelne Frames (Bilder), inspiziert sie und löscht überflüssige Bilder, bevor man die Bilder in der üblichen,

<sup>2</sup> Leider werden bisher die neueren DSLRs sowie die spiegellosen Modelle der R- und RP-Serien nicht unterstützt.

<sup>3</sup> Siehe dazu Kapitel 2.4 und 2.5.

in diesem Kapitel beschriebenen Art kombiniert (stackt).

Deutlich einfacher geht es mit der Stacking-Anwendung *Helicon Focus*, die die Bildextraktion selbstständig durchführen kann, was die Aufgabe wesentlich beschleunigt.

Aktuelle Digitalkameras und vor allem die neueren spiegellosen Modelle bieten bereits die Videoaufzeichnung im Full-HD-Format (1 920 × 1 080 Pixel bzw. 2,07 Megapixel), viele sogar im 4K- bzw. UHD-Format (3 840 × 2 160 Pixel bzw. 8,3 Megapixel) und einige sogar im 6K-Format (6 144 × 3 160 Pixel bzw. 19,4 Megapixel).<sup>4</sup> Der Trend zu hohen Videoauflösungen geht weiter, sodass die 2020 vorgestellte spiegellose Canon EOS R5 bereits das 8K-Format anbietet. (Gleiches gilt für die 2021 vorgestellte Sony A1.) Die daraus extrahierten Bilder haben eine Auflösung von 32 Megapixel (7 680 × 4 320 Pixel). Auflösungen unterhalb von Full-HD sind selten sinnvoll.

Bei der Wahl des Videoformats wählt man eine möglichst hohe Qualität – im Idealfall ein Raw-Format, etwa in einem 4 : 2 : 2-Videoformat, was schnelle oder sogar sehr schnelle Speicherkarten oder sogar einen externen Videorecorder voraussetzt.

Beim Stacken wird man in aller Regel, soweit in der Stacking-Anwendung möglich, etwas größere

Grenzwerte für die Verschiebe- und Rotationsparameter einsetzen müssen und eine etwas größere Toleranz für die Anpassung der Helligkeit vorgeben.

### 8. Highspeed-Aufnahmen

Eine Variante der zuvor beschriebenen Videotechnik besteht darin, eine möglichst schnelle Bildfolge (an Fotos) an der Kamera einzustellen, was bei fast allen neueren Spiegellosen möglich ist, den Finger auf dem Auslöser zu lassen und während der Schussfolge wie zuvor beim Video die Fokusebene vom vorderen Fokuspunkt langsam auf den hinteren Fokuspunkt ziehen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass man (bei Bedarf) Raw als Bildformat nutzen kann, was bei Video nicht bei allen Kameras möglich ist.

Den Autofokus wird man dabei (wie bei den meisten Makroaufnahmen) deaktivieren und, sofern möglich, den elektronischen statt den mechanischen Verschluss wählen. Dies erzeugt weniger Erschütterungen beim Auslösen, erlaubt zumeist höhere Schussfolgen und schont den mechanischen Verschluss. Im Gegenzug sind keine Blitze möglich, was aber der relativ langsamen Aufladezeit der normalen Blitze und der Gefahr der Überhitzung sowie so fast immer entfallen muss.

### Kamera oder Objekt bewegen?

Statt den Abstand zwischen Kamera und Objekt bei den Methoden 4 und 6 durch eine Bewegung der Kamera zu realisieren, lässt sich (bei statischen Objekten) auch das Objekt bewegen – z. B. durch einen manuell oder elektronisch gesteuerten Makroschlitten. Bei kleinen Objekten – etwa toten Insekten – ist das Objekt in aller Regel kleiner und leichter als die Kamera und lässt sich so mit weniger Kraft bewegen. Es schwingt wahrscheinlich auch kürzer nach, als wenn man die Kamera mit Objektiv bewegt. Damit sind schnellere Aufnahmefolgen möglich. Wird Kunstlicht für die Ausleuchtung verwendet, sollte im Idealfall die Lichtquelle mit verschoben werden, damit sich die Beleuchtungsverhältnisse nicht sichtbar ändern. Viele Stacker-Anwendungen können Belichtungsunterschiede bis zu einem gewissen Grad ausgleichen, was man aber unter Umständen über eine Option aktivieren muss.

### Mechanischer oder elektronischer Verschluss?

Bei größeren Fokusreihen bzw. bei hohen Maßstäben (was fast äquivalent ist) benötigt man teilweise sehr viele Aufnahmen pro kombiniertem Bild. Fokusreihen von 50 bis 200 Aufnahmen sind dabei durchaus gängig. Dies belastet natürlich den mechanischen Verschluss der Kamera. Die mechanischen Kameraverschlüsse im Bereich ambitionierter Amateure sind in der Regel auf 150 000 bis 200 000 Auslösungen ausgelegt, bevor sie ausgetauscht werden müssen (halten

<sup>4</sup> Die Bildgröße kann bei Videos abhängig vom Seitenverhältnis abweichen.

aber oft länger, als es die Herstellerangaben vermuten lassen). Bei vielen großen Serien ist es deshalb vorteilhaft, wenn man statt des mechanischen Verschlusses einen elektronischen einsetzen kann. Der elektronische Verschluss erlaubt eine weitgehend unbegrenzte Anzahl von Auslösungen.

Der elektronische Verschluss hat auch den Vorteil, dass es (potenziell) zu weniger Erschütterungen durch den Verschluss kommt. Nicht alle Kameras bieten diese Möglichkeit; sie ist aber bei spiegellosen Kameras verbreitet. Ein Nachteil elektronischer Verschlüsse liegt im so genannten *Rolling-Shutter-Effekt*, bei dem bei sich bewegenden Objekten in der Szene das ausgelesene »Bild« sich im unteren Bereich des Auslesens des Sensors bereits gegenüber dem Anfang des Auslesens verändert hat. Das Auslesen des Sensors erfolgt nämlich zeilenweise und nimmt eine bestimmte Zeit in Anspruch, in welcher der Sensor weiter Informationen aufzeichnet. Bei statischen Szenen spielt dies keine Rolle.

Ein weiterer Nachteil des elektronischen Verschlusses liegt darin, dass man ihn in der Regel nicht zusammen mit einem Blitz einsetzen kann. (Einige Kameras, etwa die Sony A1, erlauben den Blitzeinsatz auch bei elektronischem Verschluss.)

### Was ist aufnahmetechnisch zu beachten?

Bei den Aufnahmen für ein späteres Focus-Stacking gilt es – zumindest im Idealfall – ein paar Punkte zu beachten:

- A. Die Nominalblende – jene, die an der Kamera bzw. am Objektiv eingestellt ist – sollte über alle Aufnahmen hinweg gleich bleiben. Man arbeitet deshalb mit dem Kameramodus A (oder Av) oder M (für manuell).

In der Regel sollte man auch mit konstanter Belichtungszeit arbeiten, was nach einer ersten Messung über den Modus M sichergestellt wird.

Die Auto-ISO-Einstellung sollte ebenso wie der Auto-Weißabgleich deaktiviert sein.

- B. Die Richtung der Fokusveränderung oder die Richtung der Abstandsveränderung sollte über eine Serie hinweg gleich bleiben – entweder immer von vorne nach hinten (was einige Stacking-Anwendungen voraussetzen) oder aber immer von hinten nach vorne. Einige Stacking-Anwendungen kommen auch mit sich ändernden Richtungen klar, eine einheitliche Richtung ist jedoch innerhalb einer Serie immer von Vorteil.
- C. Sofern Sie mit einem Zoom-Objektiv arbeiten, sollten Sie die Brennweite innerhalb einer Serie konstant halten.

- D. Halten Sie das Licht möglichst über die gesamte Zeit hinweg konstant. Dies erleichtert später das Stacken. Gute Anwendungen kommen auch mit gewissen Lichtunterschieden zurecht, andere tun sich dabei schwer.

- E. Man sollte tendenziell eher etwas unter- als überbelichten, da manche Stacking-Verfahren den Kontrast erhöhen und dann die Gefahr besteht, dass Bildbereiche in den Lichtern ausreißen.

Arbeitet man mit Raw-Bildern, so kann man unter Umständen im Raw-Konverter die Lichter etwas senken, um ein solches Ausreißen zu vermeiden. Man tut dies dann natürlich vor dem Stacken. Bei Bedarf kann man auch die Tiefen etwas anheben, um ein Zulaufen der Tiefen zu vermeiden.

Dazu optimiert man das erste Element einer Serie und synchronisiert danach diese Korrekturen auf die übrigen Bilder der Serie.

### Eine Frage des Maßstabs

Der Abbildungsmaßstab spielt bei Makroaufnahmen eine besondere Rolle. Er bestimmt zusammen mit der (nominellen) Blende, der Brennweite und dem Crop-Faktor des Sensors sowohl die Schärfentiefe als auch die effektive Blende und damit den Einfluss der Beugung.

Je größer dieser Maßstab wird, umso geringer wird die Schärfentiefe, und umso größer wird zugleich die

Verwacklungsgefahr. Bei größeren Maßstäben wird man ausschließlich mit Stativ oder ähnlichen stabilisierenden Mitteln arbeiten müssen. Jeder Griff an die Kamera (etwa um die Einstellungen oder den Fokus zu ändern) und jede Änderung des Gebildes aus Kamera, Makroschlitten oder das Drücken des Auslöseknopfs führt vorübergehend zu Vibrationen, die man zunächst ausschwingen lassen muss, bevor man den Verschluss auslöst. Bei DSLRs (Kameras mit Spiegel) kann es sinnvoll sein, eine Spiegelvorauslösung einzusetzen. Dabei wird zuerst der Spiegel hochgeklappt, was kleine Vibrationen erzeugt, und dann verzögert ausgelöst. Bei hohen Maßstäben ist eine Verzögerungszeit von etwa zwei Sekunden sinnvoll (bei Nikon voreingestellt).

Selbst das Auslösen des mechanischen Verschlusses erzeugt in diesem Bereich kleine Schwingungen. Es ist dann vorteilhaft, mit einem rein elektronischen Verschluss zu arbeiten, sofern die Kamera dies bietet.

### Kleiner Trick: Anfang und Ende markieren

Um in einer Aufnahmeolge einfacher den Anfang und das Ende einer Fokusreihe erkennen zu können, hilft es, vor der ersten und nach der letzten Aufnahme eine Dunkelaufnahme zu machen, etwa indem man die Hand vor das Objektiv hält. So wird ersichtlich, wo eine Serie beginnt und endet.

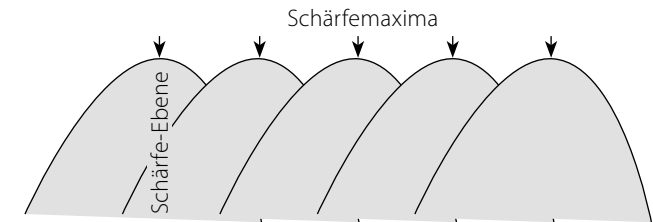
### Überlegungen zur Schrittweite

Eine wesentlicher Punkt beim Focus-Stacking ist die Schrittweite bzw. um wie viel die Fokusebene pro Schritt bzw. Aufnahme verschoben werden muss, um beim Stacken eine möglichst durchgehende Schärfe zu erhalten und ›Schärfenwellen‹ zu vermeiden. Dieser Wert ist primär vom Abbildungsmaßstab sowie der Blende und der damit verknüpften Schärfentiefe abhängig.

Die Schärfentiefe lässt sich entweder mit einem Schärfentiefen-Rechner ermitteln (unter Berücksichtigung der Sensorgröße, der Brennweite, dem Abstand oder dem Maßstab und der effektiven Blende). Alternativ kann man ihn natürlich auch aus einer Tabelle auslesen, die man einmal für seine wichtigsten Objektive und seine Kamera erstellt hat.

Schärfentiefe bedeutet aber nicht, dass das Bild über den gesamten Schärfentiefenbereich gleichmäßig ›scharf‹ ist, denn vor und hinter der Schärfe-Ebene (der jeweiligen Fokusebene) nimmt die Schärfe ab. Überlappen sich die einzelnen Schärfebereiche einer Fokusreihe nicht ausreichend, erhält man wellenförmige unschärfere und schärfere Bereiche im Tiefenverlauf des kombinierten Bilds. (Bei Maßstäben größer als 1 : 1 liegt mehr Schärfentiefe vor der Fokusebene als dahinter, bei kleineren Maßstäben ist es umgekehrt.)

Es spricht also vieles dafür, die Schärfebereiche der einzelnen Aufnahme einer Fokusreihe deutlich überlappen zu lassen. Als Faustformel seien dafür etwa 30 bis 35 % empfohlen. Beträgt die Schärfentiefe also



[5] Schärfeverlauf nach der Kombination (dem Überblenden) der einzelnen Quellbilder. Die Schärfenüberlappung sollte ausreichend groß sein, da sonst ein wellenförmiges Schärfenbild im Ergebnis entsteht.

etwa 3 mm in einer bestimmten Situation, so wäre eine Schrittweite von etwa 2–2,5 mm eine gute Wahl. Kurt Wirz empfiehlt in seinem E-Book [72] sogar drei und für sehr detaillierte Bilder sechs Bilder in die ›Schärfentiefe‹ zu legen. Wie Sie diese Fokusverschiebung umsetzen, hängt von den eingesetzten Mitteln ab. Am einfachsten erfolgt der Vorschub (Fokusverschiebung) per rechnergesteuerter Makroschiene, bei der Sie diese Schrittweite explizit vorgeben können.

Bei manuell gesteuerten Makroschienen ist es schon etwas aufwändiger. Hier müssen Sie erst einmal ermitteln, wie viel Drehung am Stellrad der Schiene ein Millimeter oder ein entsprechender Bruchteil davon ist.

Verschiebt man den Fokus durch Drehen am Fokusring des Objekts, muss man ebenso ein Gefühl für die damit veränderte Fokusdistanz entwickeln, was schwierig ist, da auch hier der Maßstab und die dazugehörigen Parameter eine Rolle spielen. Hier braucht man schlicht Erfahrung (die man sich erarbeiten muss).

Das Gleiche gilt für die Basisschritte, die man bei Kameras einstellt, die Fokusreihen als Kamerafunktion anbieten, oder für die Basisschritte der Autofokussteuerung, die manche Tethering-Apps für Fokusreihen nutzen. Die reale Schrittweite ist dabei neben dem



Maßstab vom jeweils eingesetzten Objektiv und vom Kamerahersteller abhängig.

Es tut uns leid, dass wir hier keine genaueren Angaben machen können, aber es ergeben sich extrem viele unterschiedliche Kombinationen und Szenarien. Und wie in anderen Bereichen auch lassen sich Experimentieren und die daraus gesammelte Erfahrung kaum durch einfache Tabellen ersetzen – es sei denn man habe sich die Tabellen selbst mit seinen Werkzeugen erarbeitet.

Wenn Sie mit einem Schärfentiefe-Rechner arbeiten, sollte Sie darauf achten, ob in diesem die Blende als nominelle oder als effektive Blende einzusetzen ist (oder ob der Rechner die effektive Blende aus den eingegebenen Daten errechnet/berücksichtigt). Viele der üblichen Schärfentiefen-Rechner sind nicht für die Makrofotografie ausgelegt, sondern eher für die Landschafts-, Tier- oder Porträtfotografie. Ein Indikator dafür sind die Stellen hinter dem Komma bei den Schärfentiefen-Angaben in Metern, Zentimetern, Millimetern oder Inch (Zoll). Hier sollte die Angabe zumindest bis auf 1/10 Millimeter genau sein

Einen für Makroaufnahmen wirklich guten Schärfentiefenrechner findet man in *Zerene Stacker* (siehe Seite 214). Dessen Testversion lässt sich kostenlos herunterladen und den Schärfentiefenrechner auch dann noch verwenden, wenn die Testperiode abgelaufen ist.

### Jede Serie in einem eigenen Ordner ablegen

Für die spätere Verarbeitung ist es sinnvoll, die einzelnen Fokusreihen in jeweils getrennten Ordnern abzulegen und diesen Ordnern (eventuell nachträglich) sinnträgliche Namen zu geben. Dies hilft im Stacking-Programm bei der Auswahl der Bilder einer Serie und macht eine Stapelverarbeitung mehrerer Serien deutlich einfacher – etwa in den Stacker-Anwendungen *Focus Projects* oder *PICOLAY*. Möchte man mehrere Stacks in einer Stapelverarbeitung stacken – in einigen Stackern als Batch-Modus bezeichnet –, so legt man die Serien-Ordner in einen gemeinsamen Oberordner.

Einige der Stacker-Anwendungen legen das Ergebnisbild wieder im Quellordner ab. Das hat Vor- und Nachteile. Der Vorteil liegt darin, dass die Quellen und der fertige Stack gemeinsam abgelegt sind. Der Nachteil tritt dann auf, wenn man erneut stacken möchte und dann im betreffenden Ordner Quellen und Ergebnisse liegen, sodass man bei der Wahl der Quellen den fertigen Stack ausschließen muss.

### Namensgebung und Sortierreihenfolge

Beim Import der Bilder direkt aus der Kamera oder über einen Kartenleser von der Speicherkarte kann man in den meisten Bildbearbeitungsprogrammen die Bilder umbenennen, den die von der Kamera vergebenen Bildnamen sind zumeist nichtssagend. Wir selbst bauen in den Namen das Aufnahmedatum ein sowie einen Shooting-Namen, der das Objekt der Stacking-Serie

benennt. Machen wir, was in der Regel der Fall ist, gleich mehrere Fokusserien eines Objekts, so hängen wir dem Objektamen noch eine Seriennummer an. Beim Umbenennen übernehmen wir schließlich noch die Nummernkomponente aus der Kamera. Der Name sieht dann etwa so aus: `2024-02-25_Spinne-2_2089.CR3`.

Es sind hierfür zahlreiche weitere Schemata denkbar. Wichtig ist jedoch, dass die Bilder ihre Aufnahme-reihenfolge im Namen behalten – vorzugsweise auch wenn man die Namen alphabetisch sortiert – und dies auch über den Import hinweg. Dies erweist sich bei der späteren Übernahme der Bilder in die Stacking-Anwendung als ausgesprochen nützlich – ja zuweilen als zwingend erforderlich.

### Schema für den Focus-Stacking-Prozess

Beim Fokus-Stacking müssen zwei oder drei wesentliche Aufgaben durchgeführt werden:

- A. Die Bilder müssen zueinander ausgerichtet und weiter aneinander adaptiert werden. Zu dieser Adaption gehört auch in gewissem Umfang ein Skalieren und unter Umständen eine Rotation, um eine möglichst gute Deckung zu erzielen. Das Skalieren ist oft notwendig, da sich mit der Fokusänderung (oder der Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung der Kamera) im gewissen Umfang auch der Maßstab verändern kann. In einigen Stacking-Anwendungen (z. B. bei *Helicon Focus*, *Zerene Stacker*, bei *Focus Projects* nur in groben Schritten) lassen sich die Grenzen für diese Operationen vorgeben.

Da es beim Ausrichten an den Randbereichen zu leeren Bereichen (in der Kombination) kommen kann, müssen in einer Phase des Stackens diese Bereiche entweder beschnitten oder aber mit einer geeigneten Technik gefüllt werden. Letzteres macht beispielsweise *Photoshop* mit seiner Technik des *inhaltsbasierten Füllens* recht gut.

- B. Das Überblenden der ausgerichteten Bilder – das eigentliche ›Stacken‹: Hierbei werden die jeweils schärfsten (also hinsichtlich Struktur und/oder Farbe kontrastreichsten) Bildpartien der Quellbilder kombiniert. Dafür gibt es eine Reihe unterschiedli-

cher Verfahren – etwa eine ›Gewichtete Mittelwertberechnung‹, den Aufbau einer Tiefenkarte (*Depth Map*), eine Bildkombination nach Farben oder den Aufbau einer Schärfenpyramide. Nur die ›besseren‹ Stacker bieten hier Wahlmöglichkeiten (z. B. *Zerene Stacker*, *Helicon Focus* oder das kostenlose *PICOLAY*) – nicht jedoch *Photoshop*.

Wir möchten hier auf eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Verfahren verzichten, da es dann schnell sehr mathematisch und theoretisch wird. Manche der Verfahren sind für bestimmte Szenen besser geeignet als andere, ohne dass man eine generelle Empfehlung geben kann. Tendenziell gilt, dass die Stacker *Helicon Focus*, *Zerene Stacker* und *Focus Projects* besser mit Szenen mit teilweise verdeckten Elementen zurechtkommen und die Mittelwertberechnung seltener optimale Ergebnisse liefert. Farbstacks sind nur für spezielle Situationen vorgesehen, etwa Mikroskop-Aufnahmen mit eingefärbten Präparaten, wo weniger der Helligkeitskontrast sondern eher der Tonwertkontrast der Farben die Informationen für Schärfentiefe liefert.

Einige der Verfahren lassen sich weiter über spezielle Parameter steuern, die auch deutlichen Einfluss auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit haben können. Ein solcher Parameter ist die maximale Verschiebung in X- und Y-Richtung beim Ausrichten der Bilder zueinander, ein weiterer Parameter

die maximale Rotation und die maximale Skalierung bei dieser Ausrichtung. Auch die maximale Anpassung von Helligkeitsunterschieden zwischen den einzelnen Aufnahmen ist ein solcher Parameter.

Die für ein gutes Ergebnis benötigte Verschiebung und Rotation ist auch abhängig davon, ob man freihändig oder auf einem stabilen Stativ gearbeitet hat und ob es beim Auslösen zu Vibrationen (Verwacklungen) gekommen ist. Dies erfordert oft höhere Grenzwerte, die wiederum mehr Rechenleistung erfordern.

Eine Skalierung kann notwendig werden, da das Objekt durch die Fokusverschiebung – abhängig von der Objektivkonstruktion und davon, ob der Fokusring, die Kamera oder das Objekt selbst bewegt wird – etwas größer oder kleiner abgebildet wird.

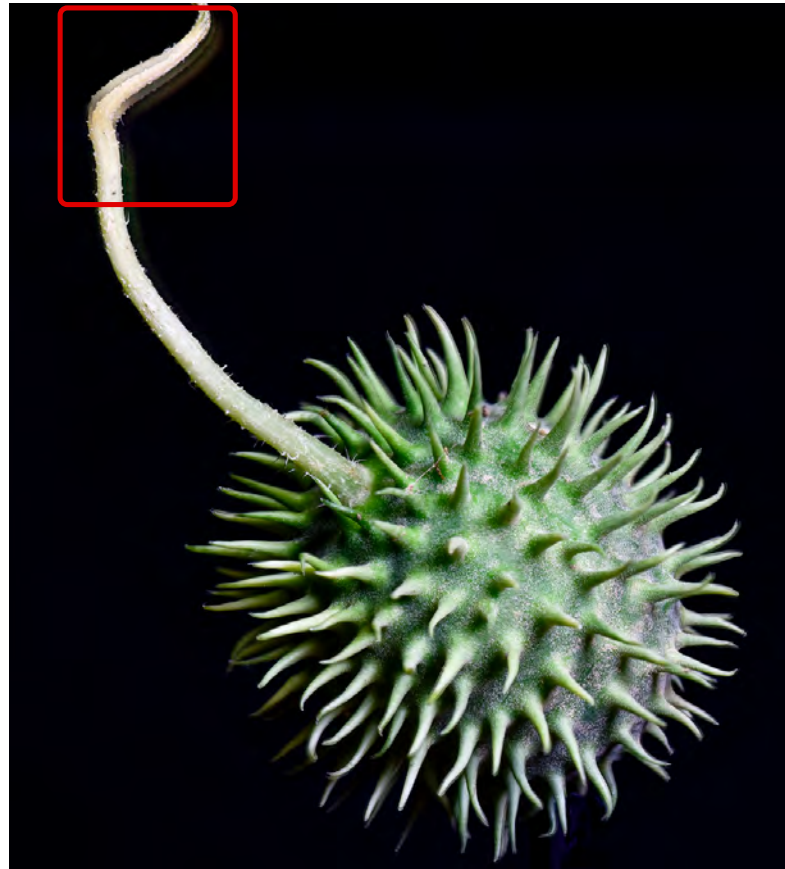
Es kann auch sinnvoll sein, vor dem eigentlichen Kombinationsprozess eine Rauschreduktion vorzunehmen, da sonst kleine Rausch-Artefakte als Bildstruktur interpretiert und im Ergebnisbild hervorgehoben werden.

- C. In vielen Fällen ist eine kleinere oder größere Nachbearbeitung erforderlich, etwa um Bereiche, die in einem oder mehreren der Quellbilder noch scharf waren, im kombinierten Bild aber nicht mehr, aus der passenden Quelle per Retusche in das ›fertige‹ Bild zu übertragen. Bietet der Stacker eine solche

Möglichkeit (wie z. B. *Helicon Focus*, *Zerene Stacker* oder *Focus Projects Professional*), lässt sich diese Arbeit dort zumeist effizient ausführen.

Zuweilen bleiben aber auch ›Geisterelemente‹ im Bild, wo Bildelemente, die eigentlich in einer der Quellen scharf abgebildet sind, im fertigen Stack mehrfach auftauchen, da sie nicht gut genug zur Deckung gebracht werden konnten – zumeist, weil es einen zu starken Perspektivenwechsel bei den Aufnahmen gab oder weil es zu Bewegungen der Kamera oder des Objekts kam. Auch können sich leichte perspektivische Veränderungen durch das Verschieben des Fokuspunkts ergeben. Abbildung [6] zeigt ein Bildbeispiel mit einem solchen Geistererscheinung.

**Hinweis:** Viele Stacking-Anwendungen setzen voraus, dass alle Quellbilder die gleiche Größe und das gleiche Dateiformat besitzen. Darauf sollte man bei der Zusammenstellung der Quelldateien achten!



[6] Hier tritt eine Art Geistereffekt am Stiel der Frucht auf (bei genauerem Hinsehen und bei größerer Wiedergabe auch an anderen Stellen). Entweder muss man beim Stacken eines der Bilder weglassen oder das Ergebnisbild retuschieren – im Stacker oder in einer anderen Anwendung.

## 1.2 Fokus-Serien mit Kamera-Bordmitteln

Neuere spiegellose Kameras bieten zunehmend die Möglichkeit, relativ einfach Fokus-Serien mit speziellen Kameraeinstellungen zu erstellen. Bei diesen Serien wird von Aufnahme zu Aufnahme der Fokuspunkt leicht verschoben. Solche Serien lassen sich später mit einem geeigneten Programm zu einer einzigen Aufnahme mit erweiterter Schärfentiefe kombinieren.


Diese Funktion ist nicht ganz neu; einige Spiegellose von Panasonic, Olympus und Fuji bieten sie schon seit einiger Zeit. Bei Nikon findet man sie in der D850 sowie bei der Z6 und Z7. Für manche DSLR von Canon kann man die Fokus-Serien-Möglichkeit über ein Firmware-Update von *Magic Lantern* nachrüsten. Trotzdem waren wir erfreut, die Funktion auch in der neuen EOS R5 (I und II) und R6 (I und II) von Canon zu finden (fehlt aber bei der EOS R und RP, ließe sich aber per Firmware nachrüsten).

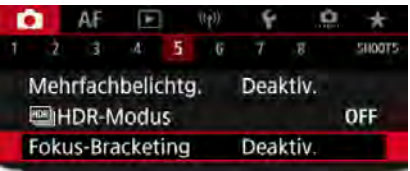
Diese Funktion kann zwar auch bei Landschaftsbildern interessant sein – dann zumeist mit drei bis vier Aufnahmen –, wird aber wirklich funktional bei Nah- und Makroaufnahmen, da man dort in aller Regel eine sehr geringe Schärfentiefe hat und schnell einmal der Bedarf für 10 bis 200 Aufnahmen entsteht, um das gewünschte Detail durchgehend scharf abzubilden. Eine manuelle Fokusverlagerung wird bei einer solchen Anzahl zur Herausforderung oder sogar unmöglich.

Voraussetzung bei allen diesen Lösungen ist, dass ein Autofokus-Objektiv eingesetzt wird (möglichst eines des jeweiligen Herstellers), denn diese Fokusverlagerung erfolgt über die Autofokus-Steuerung zwischen

Kamera und Objektiv. **Der Autofokus muss am Objektiv aktiviert sein!**

### Fokus-Bracketing bei der Canon EOS R5

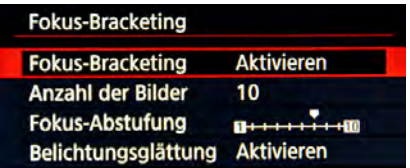
Bei der Canon EOS R5 findet man die Funktion unter dem Einstellungsreiter  im Teilbereich 5 und dort unter *Fokus-Bracketing* (Abb. [7]).



[7] Bei der EOS R5 gehört das *Fokus-Bracketing* zur Gruppe der Mehrfachbelichtungen.

Aktiviert man diese Funktion, wird zunächst abgefragt, ob für jede Fokus-Serie ein eigener (Unter-)Ordner angelegt werden soll, was häufig praktisch ist.

Danach werden für Details zur Fokus-Serie drei Parameter angeboten (Abb. [8]): die Anzahl der Bilder, die Fokus-Abstufung sowie die Belichtungsglättung.

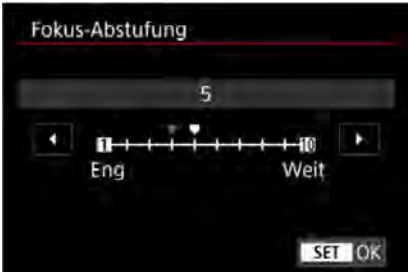


[8] Für das Fokus-Bracketing der EOS R5 gibt es drei Parameter.

Die *Anzahl der Bilder* ist selbsterklärend. Für unser Beispiel hier habe ich 10 gewählt. Schwieriger zu erklären ist der Parameter *Fokus-Abstufung*. Er ist dimensionslos und reicht von 1 bis 10. Es ist der Fokus-Vorschub (die Fokusverlagerung/Schrittweite), der jeweils zwischen



[9] Theoretisch können bis zu 999 Bilder in Serie aufgenommen werden – vorausgesetzt, Ihre Speicherkarte ist ausreichend groß.



[10] Die Fokus-Abstufung reicht von 1 bis 10. Die effektive Verschiebung ist abhängig von Objektiv und Abbildungsmaßstab.

zwei Aufnahmen erfolgen soll. Gearbeitet wird **immer** von vorne nach hinten. Der effektive Vorschub (bezogen auf die Verschiebung der Fokusebene in der Szene) ist abhängig vom eingesetzten Objektiv und den damit verfügbaren Fokusschritten beim Autofokus. Er ist aber ebenso abhängig vom aktuellen Abbildungsmaßstab sowie der eingestellten Blende. Die Kamera führt bei höheren Blendenzahlen (bei gleicher Fokus-Abstufung) größere Verschiebungen aus. Die Abstufung 4 (grau markiert, siehe Abb. [10]) ist deshalb für viele Szenen der sinnvolle Standardwert.

Bei einem größeren Maßstab ist die effektive (sichtbare) Verschiebung größer als bei einem kleineren. Bei einem kleineren Maßstab – etwa 1 : 5 – kann man deshalb einen größeren Wert für die Fokus-Abstufung verwenden als bei einem größeren Maßstab (etwa 1 : 1 oder 2 : 1). Für Landschaftsaufnahmen kommt man zumeist mit dem Wert 8–10 aus. Bei Nah- und Makroaufnahmen hingegen gilt es zu experimentieren. Verwen-

det man größere Blendenwerte wie beispielsweise  $f/11$ , so kann man auch etwas größere Werte für die Fokus-Abstufung einsetzen, da dann die Schärfentiefe im einzelnen Bild größer ist als bei kleineren Blendenwerten. Möchte man häufiger mit dieser Technik arbeiten, lohnt es, sich Tabellen zu erstellen – eine pro Objektiv. In ihr trägt man den Maßstab (oder die Fokusdistanz) in der einen Achse und die Fokus-Abstufung in der zweiten Achse ein. Die Tabellenfelder sollten dann den effektiven Vorschub in Millimetern oder (bei kleineren Maßstäben) in Zentimetern enthalten.

So entsprechen an meiner EOS R5 mit dem 100-mm-Makroobjektiv beim maximalen Maßstab von 1 : 1 zehn ›Fokus-Abstufungen‹ etwa 5 mm (bei  $f/8,1$ ), eine Abstufung also ca. 0,5 mm (bezogen auf die Fokusverlagerung am fotografierten Objekt bei einer Fokusdistanz von ca. 30 cm). Dies ermittelte ich durch Probieren.

Bei der Schrittweite (gesteuert über die Einstellung *Fokus-Abstufung*) ist zu berücksichtigen, wie groß die Schärfentiefe mit den aktuellen Kameraeinstellungen ist, denn die Schärfbereiche der einzelnen Aufnahmen einer Sequenz sollten sich für das spätere Stacken deutlich überlappen – unserer Erfahrung nach um etwa 25 % bis 35 %, da man sonst beim Fokus-Stacking in der Tiefe wellenförmig ausgeprägte Schärfeverläufe hat.

Bei meiner Vollformat-Kamera hat das 100-mm-Makroobjektiv beim Maßstab 1 : 1, einer Fokusdistanz von etwa 30 cm und der nominellen Blende  $f/5,6$  eine Schärfentiefe von ca. 2,0 mm. Bei Blende  $f/8$  sind es ungefähr 3,2 mm (siehe dazu auch Abb. [18] auf Seite 22).

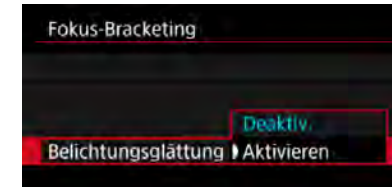
Bei einer Vollformatkamera empfiehlt es sich bei einem Maßstab von 1 : 1 kaum, über die nominelle Blende von  $f/8$  hinauszugehen, da sich bei nominal  $f/8$  eine effektive Blende von ca.  $f/16$  ergibt, bei der man bereits erkennbare Beugungseffekte hat.<sup>5</sup> Bei Sensoren mit höherer Auflösung – etwa hier bei der EOS R5 mit 45 Megapixeln – tritt dieser Beugungseffekt bereits recht früh ein (etwa ab  $f/8,1$ ). Bei größeren Maßstäben, die man mit den üblichen Makroobjektiven beispielsweise durch die Verwendung von Zwischenringen erreichen kann, ist der Wert der effektiven Blende noch größer. Er berechnet sich nach folgender Formel:<sup>6</sup>

$$\text{Effektive Blende} = \text{Nominelle Blende} \times (\text{Maßstab} + 1)$$

Die dritte Option *Belichtungsglättung* sorgt dafür, dass versucht wird, die Belichtung über die Aufnahmen hinweg konstant zu halten (die Belichtung der späteren Aufnahmen an die der ersten anzupassen und so Belichtungsunterschiede auszugleichen). Laut Handbuch funktioniert diese Belichtungsglättung jedoch mit einigen Canon-Makroobjektiven nicht – etwa dem EF 100 mm

<sup>5</sup> Die Schärfentiefe lässt sich über spezielle Apps zur Schärfentiefe-Berechnung ermitteln. Bei Makro-Maßstäben muss man jedoch darauf achten, dass die Schärfentiefe (abhängig von Blende, Brennweite, Sensorgröße und Fokussierabstand) ausreichend Meter- oder Zentimeter-Nachkommastellen enthält, um auch Schärfentiefen im Millimeter- und Sub-Millimeter-Bereich ablesen zu können. Dies gilt leider für viele dieser Apps nicht. Eine der Apps mit für Makroaufnahmen geeigneter Genauigkeit ist beispielsweise *DOF Calc* (für Android-Geräte, verfügbar im Google Play Store).

<sup>6</sup> Diese Formel ist bereits eine gewisse Annäherung. Sie gilt nicht für innenfokussierende Objektive (Objektive also, die ihre Länge beim Fokussieren nicht verändern).



[11]  
Die Belichtungsglättung versucht, Belichtungsunterschiede innerhalb der Serie auszugleichen.

F2,8 Makro, dem EF 180 mm F3,5 L USM Makro oder dem EF-S 60 mm F2,8 Makro USM (adaptiert an das RF-Bajonett über einen EF-zu-RF-Adapter). Das Canon-Lupenobjektiv MP-E fällt für diese Technik ganz aus, da es keine Autofokus-Steuerung aufweist.

Ist die Einstellung abgeschlossen, so fokussiert man zunächst (soweit noch nicht geschehen) auf den vordersten Punkt der Szene, der später scharf abgebildet werden soll (oder besser noch ein klein wenig davor).

Für das Focus-Bracketing empfiehlt es sich, den kontinuierlichen Autofokus zu deaktivieren.

Drückt man schließlich auf den Auslöser, so nimmt die Kamera ohne weiteres Zutun die eingestellte Anzahl von Aufnahmen auf und verschiebt dazwischen den Fokus um den eingestellten Wert nach hinten. Je nach Voreinstellung wird die eingestellte Anzahl von Bildern in einen neuen Ordner je Serie gelegt.

Im Standardfall macht man solche Aufnahmen im Modus Av (Blendenvorwahl, automatische Anpassung der Belichtungszeit) oder im Modus M (manuell).

Für die Serie wird der elektronische Verschluss statt des mechanischen verwendet. Dies erlaubt schnellere Schussfolgen und schont den mechanischen Verschluss, hat aber potenziell den Nachteil des *Rolling-Shutter-Effekts*. Bei der EOS R5 ist bei elektronischen Verschluss auch leider kein Blitzen möglich.

Fokus-Serien können auch im Raw-Format aufgenommen werden. Das Auslösen eines Blitzes hingegen funktioniert bei einer solchen Bracketing-Serie nicht!



## Fokus-Serien mit Kamera-Bordmitteln

Der Fokus bleibt am Ende der Serie auf der letzten Position stehen, sodass man im letzten Bild oder auf dem Kamera-Display sehen kann, ob die Serie ausgereicht hat, um den gewünschten Schärfentiefenbereich abzudecken. In vielen Fällen wird man bei einem größeren Wert für die Fokus-Abstufung später überflüssige Bilder löschen können (was wir in der Regel erst am Rechner und nicht in der Kamera tun).

Makroobjektive haben meist einen längeren Fokusweg. Bei ›normalen‹ Objektiven ist deshalb der Fokusweg pro Fokus-Abstufung-Einheit größer als bei den Makroobjektiven und die Fokusverlagerung größer. Bei größeren Fokusdistanzen kann eine Einheit den Fokus bereits um mehrere Meter verschieben.

Bei modernen Objektiven erfolgt die Fokusverlagerung sehr schnell (zumindest bei den hier möglichen maximalen zehn Einheiten). Entsprechend schnell läuft die Fokus-Sequenz ab – gebremst fast ausschließlich durch die jeweilige Belichtungszeit. Ein anderer Bremsfaktor könnte potenziell eine veraltete langsame Speicherkarte sein, sofern man mit Raws arbeitet und eine große Anzahl an Bildern eingestellt hat.

Bei der EOS R5 wird im Rück-Display ein Zähler gezeigt (bei entsprechender Konfiguration der Informationsanzeige), der herunterzählt.

Ab etwa einem Abbildungsmaßstab von 1:1 wird die Handhabung der Fokuseinstellung für die Anfangsposition etwas schwierig, da der dafür aktivierte Autofokus häufig hin und her springt. Dann empfiehlt es

Tabelle 1-1: Schärfentiefe in Abhängigkeit von Blende, Maßstab und Sensorgröße mit einem 100-mm-Objektiv (KB-äquivalent)					
Maßstab / Blende	2:1 (2,0)	1:1 (1,0)	1:2 (0,5)	1:4 (0,25)	1:10 (0,1)
<b>Vollformat (Crop-Faktor 1,0; Zerstreuungskreis 0,029 mm)</b>					
<b>f/2,8</b>	0,122 mm	0,325 mm	0,974 mm	3,248 mm	17,86 mm
<b>f/4,0</b>	0,174 mm	0,464 mm	1,392 mm	4,640 mm	25,52 mm
<b>f/5,6</b>	0,244 mm	0,650 mm	1,949 mm	6,496 mm	35,73 mm
<b>f/8,0</b>	0,348 mm	0,928 mm	2,784 mm	9,280 mm	51,04 mm
<b>f/11</b>	0,479 mm	1,276 mm	3,828 mm	12,760 mm	70,18 mm
<b>APS-DX (Crop-Faktor 1,5; Zerstreuungskreis 0,017 mm)</b>					
<b>f/2,8</b>	0,083 mm	0,221 mm	0,622 mm	2,206 mm	12,15 mm
<b>f/4,0</b>	0,111 mm	0,315 mm	0,946 mm	3,152 mm	17,34 mm
<b>f/5,6</b>	0,165 mm	0,442 mm	1,324 mm	4,413 mm	24,27 mm
<b>f/8,0</b>	0,236 mm	0,630 mm	1,891 mm	6,304 mm	34,67 mm
<b>f/11</b>	0,325 mm	0,867 mm	2,600 mm	8,668 mm	47,67 mm
<b>APS-C (Crop-Faktor 1,6; Zerstreuungskreis 0,016 mm)</b>					
<b>f/2,8</b>	0,078 mm	0,207 mm	0,622 mm	2,072 mm	11,40 mm
<b>f/4,0</b>	0,111 mm	0,296 mm	0,888 mm	2,960 mm	16,28 mm
<b>f/5,6</b>	0,155 mm	0,414 mm	1,243 mm	4,144 mm	22,80 mm
<b>f/8,0</b>	0,222 mm	0,592 mm	1,776 mm	5,920 mm	32,56 mm
<b>f/11</b>	0,305 mm	0,814 mm	2,442 mm	8,140 mm	44,77 mm
<b>Micro-Four-Thirds/MFT (Crop-Faktor 2,0; Zerstreuungskreis 0,015 mm)</b>					
<b>f/2,8</b>	0,063 mm	0,168 mm	0,504 mm	1,680 mm	9,24 mm
<b>f/4,0</b>	0,090 mm	0,240 mm	0,720 mm	2,400 mm	13,20 mm
<b>f/5,6</b>	0,126 mm	0,336 mm	1,008 mm	3,360 mm	18,48 mm
<b>f/8,0</b>	0,180 mm	0,480 mm	1,440 mm	4,800 mm	26,40 mm
<b>f/11</b>	0,248 mm	0,660 mm	1,980 mm	6,600 mm	36,30 mm

sich, eine externe Steuerung einzusetzen, mit der man die Fokusaussrichtung besser kontrollieren kann. Bei Canon-Kameras bietet sich dafür die im Kapitel [6] beschriebene *Canon EOS Utility* an. Dort sieht man die

man muss dazu aber eine gültige Seriennummer einer Canon-Kamera eingeben.

Die Focus-Stacking-Funktion von *Digital Photo Professional* beschreibt der Abschnitt 7.13.

Fokuseinstellung nicht nur besser bzw. größer als auf dem Rück-Display der Kamera, sondern man kann dort über Knöpfe auch den Fokus sehr fein einstellen.

Die Kamera kombiniert die Bilder der Serie intern **nicht!** Wir ziehen das vor, denn mit einer externen Anwendung hat man sehr viel mehr Kontrolle über den Kombinationsprozess. Für die Bildkombination benötigt man eine geeignete Stacking-Anwendung.

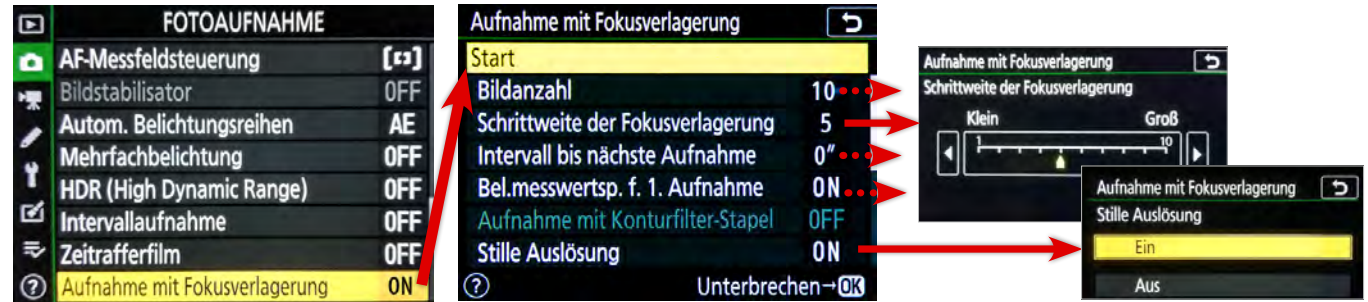
Auch hier hilft Canon mit der aktuellen DPP-Version (*Digital Photo Professional*), die man sich von der Canon-Webseite kostenlos herunterladen kann;

Für das Tethering (die Steuerung der Kamera über einen Rechner, ein Tablet oder ein Smartphone) bietet sich die kostenlose Anwendung *EOS Utility* an (siehe Kapitel [6]). Für Smartphones steht die ebenfalls kostenlose Canon-App *Camera Connect* zur Verfügung, die (wie die *EOS Utility*) eine Anbindung der Kamera an den Steuerungsrechner per WiFi oder Bluetooth erlaubt. Bei der *EOS Utility* kommt noch die Anbindung über ein USB-Kabel hinzu. Die EOS R5 bietet ohne Erweiterung USB, Bluetooth und WiFi für ein Tethering.

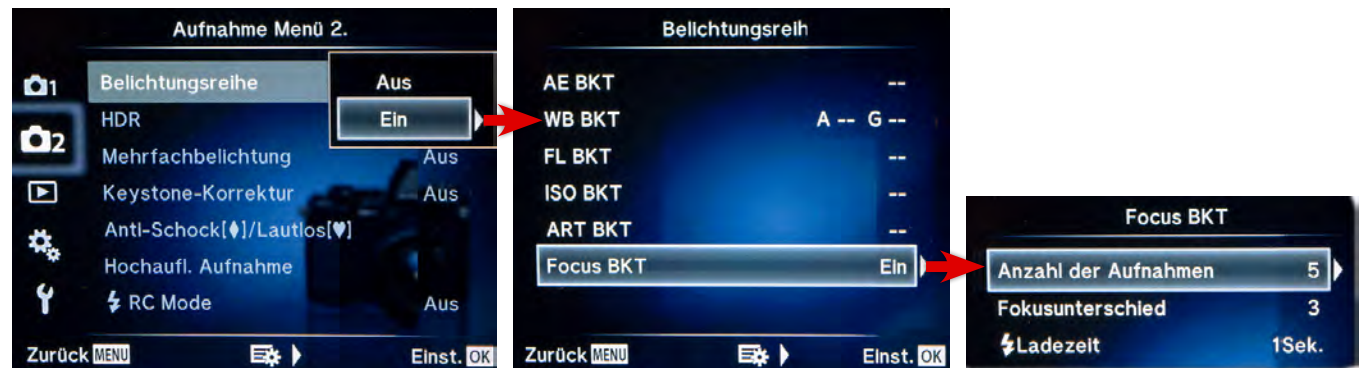
Man kann aber ebenso gut eine andere Tethering-Anwendung nutzen) oder einfach später die Bildserien über einen Kartenleser auf den Rechner laden und mit einer der in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Stacking-Anwendungen kombinieren.

### Fokusreihen mit der Z6 bis zur Z8 und Z9

Das Schema für die Nutzung der Focus-Bracketing-Funktion anderer Kameras ist sehr ähnlich (sofern die Kamera eine solche Funktion anbietet): Man fährt bzw. fokussiert die Startposition an, stellt die Parameter für die Fokusreihe ein und legt los. Immer muss dabei der Autofokus des Objektivs aktiviert werden. Auch bei Nikon muss man die effektive Schrittweite (in der Einstellung immer dimensionslos) durch Experimente ermitteln – jeweils abhängig vom Kameramodell, vom eingesetzten Autofokusobjektiv sowie vom Abbildungsmaßstab. Lediglich die Begriffe für Fokusreihen unterschieden sich ein wenig. Bei Nikon wird es z. B. als



[12] Einstellung zu Fokusreihen bei der Nikon Z6 oder Z7. Hier findet man einige Einstellungen mehr, etwa die Belichtungsanpassung per *Bel.messwertsp. f. 1. Aufnahme* oder die *Stille Auslösung* für den elektronischen Verschluss. Hier kann man zu Beginn einer Fokusreihe auch den Ablageort für die Bilder festlegen. Es lohnt aber immer ein Blick in das Handbuch.



[13] Über diese Menüfolge stellt man bei der Olympus OM-D EM5 III das Focus-Bracketing ein.

*Fokusverlagerung* bezeichnet. Die Einstellungen dazu am Beispiel einer Nikon Z6 oder Z7 zeigt Abbildung [12]. Hier haben wir ein paar Einstellungen mehr als bei Olympus und Canon.

### Fokusreihen bei den Olympus-/OMDKameras

Die Einstellungen bei der Olympus OM-D EM5 III, wo der Begriff Olympus als *Focus Bracketing* verwendet wird, zeigt Abbildung [13]. Man sieht, dass das Schema wieder sehr ähnlich ausfällt.

Bei allen diesen Lösungen muss man die Kamera natürlich und den ersten Fokuspunkt so setzen, dass

der Autofokus-Steuerung der Kamera genug ›Laufweg‹ bis zum gewünschten hinteren Fokuspunkt bleibt, denn bei der Unendlich-Stellung bricht die Fokussequenz bei allen Kameras automatisch ab!

### 1.3 Bilder für die Kombination vorbereiten

Hat man die einzelnen Aufnahmen einer Fokusreihe vorliegen, so gilt es, diese zunächst zu inspizieren und unter Umständen zu optimieren, bevor man sie mit einem Stacking-Programm zu einer einzigen Aufnahme mit erweiterter Schärfentiefe kombiniert.

Bei der Inspektion prüft man, ob alle Bilder (halbwegs) korrekt belichtet und ob versehentlich störende Elemente in einzelne Aufnahmen gerutscht sind. Diese Bilder sondert man gleich aus. Dann durchläuft man kurz die Serie und prüft, ab welcher Aufnahme man die Bilder in die Serie scharfer Bildbereiche und in den Kombinationsprozess aufnehmen möchte. (Meistens verschiebt man die Schärfe-Ebene von vorne nach hinten.) Auch am »hinteren Ende« betrachtet man, bis zu welcher Schärfe-Ebene man Bilder noch mit in die Stacking-Serie aufnehmen möchte. Alle Bilder, die man bereits hier ausschließen kann, belasten beim Stacking nicht den Ablauf.

Schließlich beschneidet man bei Bedarf die Bilder – in aller Regel indem man das erste Bild beschneidet und diesen Beschnitt auf die anderen Bilder überträgt bzw. synchronisiert. Auch dies reduziert den Verrechnungsaufwand, was sich insbesondere bei hoher Auflösung, vielen Bildern und langsamen Stacking-Anwendungen (etwa bei *Photoshop*) bemerkbar macht. Beschneiden Sie aber nicht zu knapp, da sich beim Ausrichten und Skalieren der Bilder der Serie noch gewisse Verschiebungen ergeben können. (Nach dem Stacken ist oft ein weiteres Beschneiden sinnvoll.)

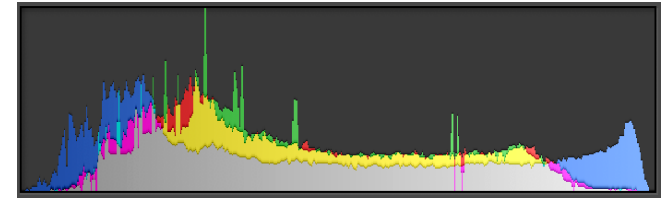
Auch andere generelle Korrekturen – etwa leichte Über- und Unterbelichtung – korrigiert man auf die gleiche Weise (erstes Bild korrigieren und das Ergebnis anschließend auf die anderen Bilder synchronisieren).

Im Stacking-Verfahren, insbesondere beim PMax-Verfahren (Pyramiden-Technik), werden sowohl die Lichter verstärkt als auch das Rauschen. Hat man, wie empfohlen, in Raw aufgenommen, so sollte man in der Vorbereitung eventuell diese Lichter etwas reduzieren, sodass das Histogramm noch etwas »Luft« nach rechts lässt (keine reinweißen Lichter hat).

Sind relevante Tiefen in der Fokusreihe zugelaufen, kann man sie im Raw-Konverter etwas anheben – bei neueren Kameras bis zu etwa zwei Blendenstufen. Ideal ist, wenn das Histogramm nach diesen Korrekturen sowohl in den Tiefen als auch in den Lichtern noch etwas Luft zum Rand hin aufweist (s. Abb. [14]).

Ebenso kann man das Rauschen bereits hier im Raw-Konverter etwas reduzieren, muss dabei aber darauf achten, feine Strukturen nicht glattzubügeln.

Auch wenn es kontra-intuitiv erscheint, sollte man die Bilder der Fokusserie vor dem Stacken nicht über das Standardmaß hinaus schärfen; es ist sogar sinnvoll, die Standardschärfung (bei Raws) etwas zurückzunehmen. Das Schärfen und die Verstärkung feiner Strukturen führt man besser nach dem Stacken auf dem Ergebnisbild aus – sofern noch notwendig. Nimmt man die Bilder als JPEGs auf, sollte man dafür in der Kamera einen Bildstil wählen, der nicht oder nur schwach



[14] Ein wenig freier Raum im Histogramm in den Tiefen und vor allem in den Lichtern ist eine gute Voraussetzung für das Focus-Stacking.

schärft und keinen hohen Kontrast aufweist.

Bei Bedarf sollte man (bei Raws) ebenso den Weißabgleich im Raw-Konverter vornehmen. Hat man mit AWB (Auto-Weißabgleich) aufgenommen, empfiehlt es sich, eventuell den (passenden oder korrigierten) Weißabgleich der ersten Aufnahme der Serie auf die anderen Bilder zu übertragen, so dass alle den gleichen WB-Wert (*White Balance*) haben.

Arbeitet man nicht-destruktiv, was bei praktisch allen Raw-Konvertern der Fall ist, selbst dann, wenn man statt Raws mit anderen Bildformaten arbeitet, so muss man das Ergebnis nun als Serie in einen neuen Ordner exportieren, damit die Korrekturen in die Bilder eingerechnet werden. Dies empfiehlt sich auch, wenn das Stacking-Programm Raw verarbeiten kann (es sei denn, der Raw-Konverter selbst könnte ein Stacking durchführen).

Besitzt der Raw-Konverter ein Übergabe-Plug-in für die Stacker-Anwendung, kann dieser Export-Schritt entfallen. (Dies ist z. B. bei *Lightroom* für die Stacker *Helicon Focus* und *Zerene Stacker* der Fall.)

Nun erst werden die Bilder der Stacker-Anwendung übergeben bzw. in dieser geöffnet.

## Sinnvolle Vorverarbeitung

Bevor man die Bilder eine Stacking-Serie wirklich an die Stacking-Anwendung (z. B. Photoshop) übergibt, gibt es einige Schritte, die sinnvoll sind:

- A. **Vor-Inspektion** Gehen sie dazu kurz durch alle Bilder und überprüfen Sie, ob es ›Ausfälle‹ gibt – Bilder, die stark aus der Reihe fallen, da sie deutlich unter oder überbelichtet sind, stark von der Position abweichen oder aus anderen Gründen stark abweichen. Schauen Sie auch am Anfang sowie am Ende der Serie, ob es Bilder gibt, die nicht zum Schärfebild beitragen.

Löschen Sie alle diese Bilder, da sie entweder den Schärfenaufbau behindern oder das Stacking unnötig länger gestalten.

- B. **Behebung von chromatischen Aberrationen und Vignettierung** Arbeitet man für die Serie mit Objektiven, für die man ein Objektivkorrekturprofil besitzt, so sollte man diese Profile/Korrekturen für die nachfolgende Verarbeitung aktivieren und erst die so optimierten Bilder an die Stacking-Anwendung übergeben.

Es spricht deshalb auch einiges dafür die Raw-Konvertierung nicht von der Stacking-Anwendung durchführen zu lassen (sofern diese dies überhaupt anbietet), sondern vom eigenen Raw-Konverter durchführen zu lassen.

- C. **Vorab-Beschnitt** Hat man großzügig aufgenommen mit freien Raum um das interessante Objekt, so lohnt es sich vorab die Bilder der Serie zu beschneiden, da die später das Stacking beschleunigt. Aber bitte nicht zu knapp, denn beim Ausrichten und Überblenden können Randbereiche verloren gehen.

Dazu beschneidet man das erste Bild der Serien und synchronisiert dies auf den Rest der Serie.

## 1.4 Der Kombinationsprozess

Das Kombinieren der Einzelaufnahmen einer Fokusreihe zu einem Bild mit erweiterter Schärfentiefe kann mit verschiedenen Techniken erfolgen:

- A. Man legt die Bilder in einem Ebenenstapel übereinander und maskiert einzelne Ebenen so, dass unscharfe Bildbereiche ausgeblendet und die gleichen, aber schärferen Bereiche aus einer anderen Ebene sichtbar werden. Diese Technik lässt sich mit praktisch allen Programmen ausführen, die Ebenentechniken und Ebenenmasken anbieten (z. B. *Photoshop*, *Gimp* oder *Affinity Photo*). Das Verfahren ist aber rein manuell sehr arbeitsintensiv und letztendlich nur bei wenigen, gut ausgerichteten Ebenen praktikabel.
- B. Man legt wie zuvor unter A die Bilder wieder in einem Ebenenstapel übereinander, richtet sie zueinander aus und lässt eine geeignete Anwendung (z. B. *Photoshop*) die »scharfen Bildbereiche« auswählen und überblenden.
- C. Man verwendet eine auf das Stacken spezialisierte Anwendung, öffnet darin die Bilder der Fokusreihe, wählt eine Methode für das Stacken (was nicht alle Anwendungen anbieten), setzt bei Bedarf noch passende Parameter für die Stacking-Methode und lässt dann die Anwendung das Stacken durchführen.

Einige der nachfolgend aufgeführten Stacking-Programme erlauben danach noch gewisse Bildretuschen gleich in der Anwendung.

- D. Es gibt eine (bisher kleine) Anzahl von Kameras, die sowohl Fokusreihen aufnehmen als auch diese kameraintern gleich zu einem Bild mit erweiterter Schärfentiefe kombinieren können. Hierzu gehört z. B. die Olympus OM-D EM 1 Mk II. Aus unserer Sicht ist der erste Teil wünschenswert, die interne Kombination aber weniger, da hierbei das Ergebnis (bisher) immer ein JPEG ist. Auch lässt sich der kamerainterne Prozess kaum weiter steuern. Hier bieten spezialisierte Stacker-Anwendungen mehr Eingriffsmöglichkeiten und bessere Ergebnisse. Zusätzlich ist während des Kombinationsprozesses in der Kamera diese für weitere Aufnahmen blockiert.

Die Kombination hat prinzipiell drei kritische Phasen:

1. **Das Ausrichten der Quellbilder.** Dies ist durchaus ein kritischer Vorgang, denn abhängig vom Maßstab und von der Kamerabewegung zwischen den Aufnahmen müssen einzelne Aufnahmen nicht nur leicht horizontal und vertikal verschoben werden, sondern unter Umständen auch rotiert und skaliert. Während einige der Stacker (z. B. *Photoshop*, *Focus Stacker* und *Affinity Photo*) hierfür keine weitere Steuerung erlauben, kann man bei anderen in ge-

wissen Grenzen eingreifen. Als Beispiele seien *Helicon Focus* und *Zerene Stacker* genannt.

2. **Das Überblenden der »scharfen« Bildbereiche.** Hierfür gibt es eine Reihe unterschiedlicher Algorithmen (siehe Abschnitt 1.5), die jeweils für verschiedene Situationen bessere Ergebnisse liefern. Keines der Verfahren ist für alle Situationen optimal. Man sollte deshalb bei unbefriedigendem Ergebnis andere Techniken ausprobieren – aber nicht alle Stacking-Programme bieten mehrere Verfahren an.
3. **Ein dritter Schritt sind Retuschen.** Sie kann man optional direkt in einigen der Stacker-Anwendungen durchführen. Dabei wird man zumeist einzelne Bildbereiche, die im Ergebnis nicht optimal ausfallen, durch bessere Bildbereiche aus einzelnen Quellbildern ersetzen. Solche Retuschen bieten z. B. *Helicon Focus*, *Zerene Stacker*, und *Focus Projects Professional* und *Picolay*. Der Vorteil einer in die Stacking-Anwendung integrierten Retusche-Funktion besteht darin, dass hier die Quellbilder bereits ausgerichtet vorliegen, sodass man optimale Bildbereiche einfacher und ausgerichtet übernehmen (kopieren) kann. Zuweilen möchte man aber auch nur störende Bereiche aus der Nachbarschaft überstempeln. Dies geht oft besser in einer separaten Anwendung (z. B. in *Photoshop*).



## 1.5 Stacking-Verfahren

**G**eht man bei den verschiedenen Stacking-Methoden in die Tiefe, wird es schnell komplex und sehr mathematisch. Wir möchten deshalb darauf verzichten und hier lediglich einen einfachen Überblick geben.

### Tiefenkarte – Depth Map (DMap)

Bei diesem Verfahren, das auch als *Depth Map* oder kurz *DMap* bezeichnet wird, versucht der Stacking-Algorithmus ein Tiefenbild aufzubauen und in einer Tiefenkarte zu hinterlegen. Nützlich ist dabei, wenn die Bilder der Fokusreihe sauber in einer Richtung aufgenommen wurden und im Idealfall gleiche Abstände haben. Einige Anwendungen versuchen dazu sogar, die Fokusdistanz aus dem EXIF-Daten der Bilder zu extrahieren. Auf diese Weise lassen sich auch (wenn auch in begrenztem Umfang) 3D-Modelle der Szene erstellen. Solche Funktionen fehlen bisher aber Photoshop.

Das DMap-Verfahren eignet sich recht gut für Szenen mit Verdeckungen, bei denen beispielsweise ein Ast oder ein Fühler oder ein abstehendes Element der Szene dahinter liegende Elemente der Szene überdecken und einen etwas größeren Abstand zu weiter hinten liegenden (noch scharf abzubildenden) Teilen aufweisen.

Einige Stacker erlauben es, diese Tiefenkarte als eigenes Bild bzw. Element zu speichern (etwa *Helicon Focus*, *Zerene Stacker* sowie das kostenlose *PICOLAY*).

### Kontrast-basierte Pyramide (PMax)

Hierbei werden aus den einzelnen Bildern einer Fokusreihe die kontrastreichsten Bildpartien kombiniert. Dieses Verfahren ist etwas schneller als das DMap-Verfahren und eignet sich sowohl für unkomplizierte Szenarien als auch für solche mit Überdeckungen. Bei *Helicon Focus* ist dies Methode A. Die Methode eignet sich auch für die Kombination von Teil-Stacks, wenn diese mit einer anderen Methode berechnet wurden.

### Gewichteter Mittelwert

Hierbei wird der Mittelwert der Pixel in den einzelnen Bildern (pro Pixel) berechnet und gewichtet. Leider fehlen uns für diese Methode weitere Informationen.

### Farbbasierte Stacks

Sowohl *Focus Projects* als auch *PICOLAY* sowie *Serene Stacker* bieten mit kleinen Unterschieden dieses Verfahren an. Es eignet sich dann, wenn Farben für die Tiefenwirkung relevant sind. Sehr viel mehr an Informationen haben wir darüber leider nicht gefunden. Hier sei deshalb auf die Erläuterung in der Dokumentation von *PICOLAY* verwiesen

### Teilstapel/Substacks – Slabbing

In manchen Fällen ist es bei Fokusreihen mit vielen Bildern sinnvoll, nicht alle Bilder als einen großen Stack zu verarbeiten, sondern die Serie in mehrere kleinere Stapel zu unterteilen, diese zu verarbeiten und schließ-




































lich die Zwischenergebnisse erneut als Fokusserie zu kombinieren. Diese Technik wird als *Substacks* oder als *Slabbing* bezeichnet.

Ein Grund dafür kann sein, dass für einen großen Stack nicht genug Hauptspeicher zur Verfügung steht oder weil es – wie bei *ON1* oder bei der Standardversion von *Focus Projects* (und einigen anderen Anwendungen) – ein Limit für die Bilderanzahl pro Stack gibt. In machen Fällen erzielt man aber auch bessere Ergebnisse, wenn man diese Teilstapel mit einem Verfahren oder mit einem Parametersatz erstellt und die Kombination der Zwischenergebnisse mit einem anderen Verfahren oder Parametersatz (sofern die Stacking-Anwendung dies erlaubt). Auf diese Weise lassen sich zuweilen Verdeckungen in der Szene besser kombinieren oder Schärfeverteilungen besser zusammenfügen.

Diese Technik lässt sich mit praktisch allen Stacker-Anwendungen einsetzen; manche Anwendungen haben dafür aber spezielle Funktionen – etwa *Zerene Stacker* (in der Prosumer- und Professional-Edition).

Manche Makrofotografen empfehlen für das Slabbing eine gewisse Überlappung (d.h., manche Bilder kommen in zwei Teil-Stacks vor) bezüglich der für diese Teilstapel eingesetzten Bilder, da dies im Ergebnis beim Stacking der Teil-Stacks zu besseren Übergängen führt.

Tabelle 1.2: Einige Anwendungen für das Focus-Stacking (Stand: Januar 2024)

Programm	Kosten ca.	System	Oberfläche	Stacking-Methoden	Geschwindigkeit	Anmerkungen
<b>Photoshop CC 2024</b> (siehe Seite 4) <a href="http://www.adobe.com/de/">www.adobe.com/de/</a>	ca. 142 €/Jahr im Paket mit Lightroom und anderen Apps	 	  , ...	Ausrichten (ohne Parameter), Stacking (ohne Parameter); füllt Randbereiche (optional) automatisch auf mit zumeist guten Ergebnissen. Stacking-Methode wahrscheinlich Tiefenkarte (DMap).	Sehr langsam, insbesondere beim Ausrichten (aber gute Ergebnisse)	Sehr gute Ausrichtung, Rotation und Skalierung. Bei nicht zu vielen Bildern recht gute Ergebnisse. Raw-Konvertierung über Camera Raw, starke Funktionen für Nachbearbeitung. Der Schwerpunkt liegt bei Grafik und Bildbearbeitung.
<b>PICOLAY</b> (Version 2020- <a href="http://www.PICOLAY.de">www.PICOLAY.de</a> )	kostenlos		  (engl. Menüs, Anleitung auch in Deutsch)	Ausrichten (etwas schwach), 3 Stacking-Verfahren: Gewichteter Mittelwert, Tiefenkarte, Farb-Stacking. Einige spezielle Funktionen wie die Erzeugung von Zwischenbildern.	Akzeptabel schnell	Das Programm hat eine etwas altbackene, aber funktionale Oberfläche. Es wird aktuell ständig weiterentwickelt. Der Schwerpunkt liegt bei Mikroskopaufnahmen. Erlaubt auch 3D-Darstellungen (bei entsprechender Aufnahme-technik). Kennt keine Raw-Formate.
<b>Affinity Photo</b> (Version 2.2) <a href="https://affinity.serif.com/de/photo/">https://affinity.serif.com/de/photo/</a>	75 €	 	  , ...	Ausrichten und Überblenden, keine Wahl zum Stacking-Verfahren (wahrscheinlich PMax-Verfahren).	Mittel	Eigentlich Raw-Konverter und Bildverwaltung mit Retusche-Funktionen und der Möglichkeit für HDR, Panoramen und zum Focus-Stacking.
<b>ON1 Photo Raw</b> (Vers. 2020.5) <a href="http://www.on1.com">www.on1.com</a>	70 USD	 	  , ...	Ausrichten, Analysieren, Überblenden (mit dem Verfahren Tiefenkarte/DMap).	Akzeptabel	Integrierter Raw-Konverter, stackt aber erst die in On1 umgewandelten Raws, limitiert auf 14 Bilder/Stack
<b>Helicon Focus</b> (Vers. 8.2.5) <a href="http://www.heliconsoft.com">www.heliconsoft.com</a>	240 USD (Premium) 200 USD (Professional) 115 USD (Lite) (jeweils Dauer-Abos)	 	  , ...	Ausrichten, 3 Stacking-Verfahren: A (Gewichteter Mittelwert), B (Tiefenkarte/DMap, C (Pyramide); unterstützt zahlreiche Quellformate, auch Raws mit Hilfe von Adobe DNG Converter; Stapelverarbeitung, Funktion eines überwachten Ordners.	Sehr schnell	Sehr gute Ergebnisse, integrierte Retusche-Funktion; Lightroom- und Capture-One-Plug-ins zur Datenübergabe; gutes Zusammenspiel mit Helicon Remote zur Erfassung von Fokusreihen. Nutzt optional die GPU der Grafikkarte.
<b>Zerene Stacker</b> (Version 1.04 Build T2020-05-27-13 <a href="http://www.zerenesystems.com">www.zerenesystems.com</a> )	298 USD (Professional), (Prosumer) 98 USD (Personal) 39 USD (Stud.)	  		Ausrichten, 3 Stacking-Methoden: Tiefenkarte (DMap), Pmax, Stereo/Rocking; integrierte, ausgefeilte Retusche-Funktion, Stapelverarbeitung, Slabbing, Multiprozessor-Unterstützung.	Mittel bis schnell	Sehr gute Ergebnisse. Lightroom-Plug-in zur Datenübergabe (bei Pro- und Prosumer-Edition). Nur die beiden teuersten Edition bieten alle Funktionen. Alle Updates (bisher) kostenlos. Kann <i>StackShot</i> steuern. Läuft auch unter Linux. Gute Werkzeuge für Retusche. Wenig (externe) Anleitungen/Tutorials in Deutsch im Internet.
<b>Focus Projects Professional 4.2</b> (die aktuellste Version ist 5.x) <a href="http://www.franzis.de/fotografie/">www.franzis.de/fotografie/</a>	99 € (Pro) 70 € (Standard-Version)	 	  , ...	Ausrichten (einstellbar), 11 verschiedene Stacking-Methoden, unterstützt zahlreiche Quellformate (auch Raws); gemeinsame Basis mit anderen Anwendungen von Franzis.	Schnell	Zahlreiche Zusatzfunktionen sowohl für die Bildvorbereitung, das Stacking auch die nachträgliche Bildoptimierung, Standard-Version: max. 30 Bilder/Stack, Pro-Version bis zu 1 000 Bilder /Stack; Lightroom-Plug-in zur Datenübergabe.
<b>Canon Digital Photo Pro 4.16</b>	kostenlos	 	  , ...	Ausrichten, Überblenden, Retusche	Mittel bis schnell	Teil des Canon-Raw-Konverters
<b>Luminar Neo (V1.18)</b> mit Erweiterung <b>Fokus Stacker</b> <a href="https://Skylum.com/de/">https://Skylum.com/de/</a>	Basis-Lizenz + 45 € für Stacker-Erweiterung	 	  , ...	Ausrichten und Stacking (ohne Parameter), Behebung chromatischer Aberrationen	Sehr langsam	Kann als Plug-in für Photoshop und Lightroom Classic eingesetzt werden..

## 1.6 Focus-Stacking mit Photoshop

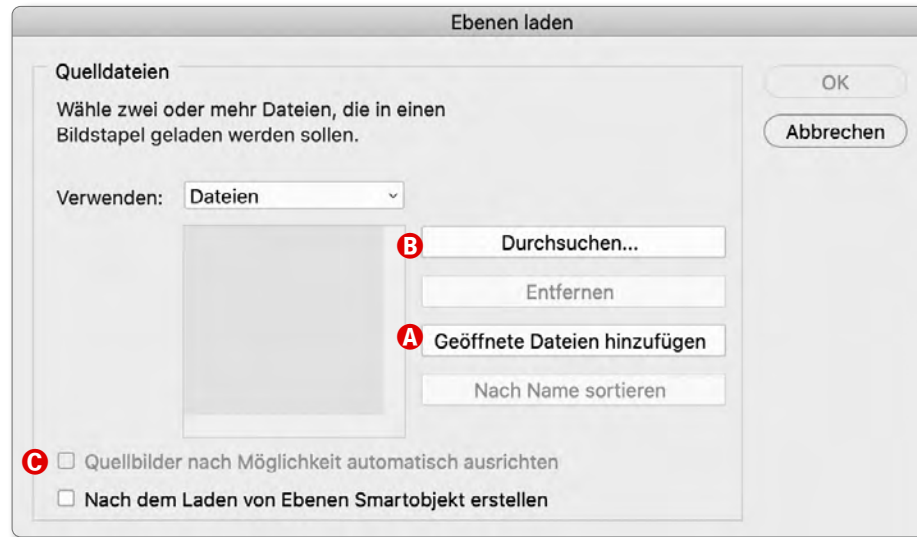
Photoshop ist mit wenigen Schritten in der Lage, die Bilder einer Fokusreihe zu einem Bild mit erweiterter Schärfentiefe zu kombinieren. Dies funktioniert recht brauchbar, solange es sich um nicht um zu viele Bilder handelt und die Anforderungen nicht zu komplex sind. Schematisch besteht das Vorgehen aus drei Schritten:

1. Man lädt die Bilder der Serie in einen Photoshop-Ebenenstapel.
2. Nun werden die Bilder zueinander ausgerichtet. Dies ist nicht immer, aber in den meisten Fällen erforderlich, da damit nicht nur eine Ausrichtung, sondern zumeist auch eine (minimale) Rotation und Skalierung der einzelnen Bilder erfolgt.
3. Schließlich erfolgt eine Überblendung der Bilder.

### Laden als Ebenenstapel

Um die Bilder der Fokusreihe übereinander in einen Ebenenstapel zu laden, gibt es mehrere Verfahren:

- A. Man öffnet nacheinander die einzelnen Bilder in *Photoshop* über das übliche Öffnen. Danach ruft man **Datei ▶ Skripten ▶ Dateien in Stapel laden** auf. Im nun erscheinenden Dialog (Abb. [15]) wählt man **Ⓐ Geöffnete Dateien hinzufügen**. Damit erscheinen die bereits geöffneten Dateien in der Dateien-Liste. Bei Bedarf kann man weitere Dateien hinzufügen



[15] Photoshop-Skript zum Laden von Bildern in einen Ebenenstapel.

oder einzelne Bilder aus der Liste entfernen.

Bevor man auf **OK** klickt, lässt sich noch die Option **Ⓒ Quellbilder nach Möglichkeit automatisch ausrichten** aktivieren. Man erspart sich damit den späteren Schritt des Ausrichtens.

- B. Man ruft wie in Variante A **Datei ▶ Skripten ▶ Dateien in Stapel laden** auf und lädt die gewünschten Dateien für den Stapel (im Dialog von Abb. [15]) über die Funktion **Ⓑ Durchsuchen** in die Dateien-Liste. Dann fährt man wie zuvor beschrieben fort.
- C. Man übergibt aus *Adobe Bridge* heraus die Bilder an *Photoshop*. Dazu selektiert sie in der Matrix-Vorschau und ruft nun **Werkzeuge ▶ Photoshop ▶ Dateien in Photoshop-Ebenen laden** auf. Sie landen dort als Ebenenstapel.

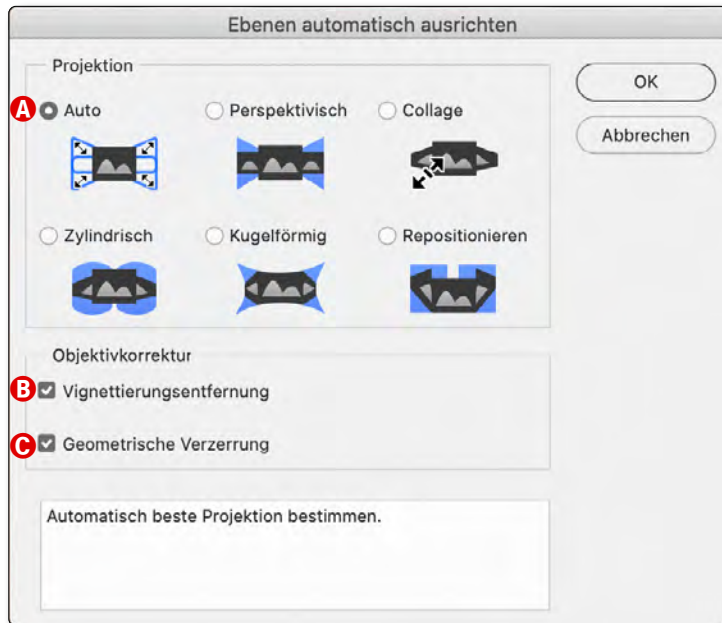
D. Man selektiert die Bilder in *Lightroom* (sofern sie dort verwaltet werden) und ruft nun die Menüfolge **Foto ▶ Bearbeiten in ▶ In Photoshop als Ebenen öffnen** auf. (Diese Funktion lässt sich auch über das Kontextmenü aktivieren.) Damit übergibt *Lightroom* die Bilder samt durchgeführter Korrekturen an *Photoshop* in einen Ebenenstapel.

### Bilder zueinander ausrichten

Wurden die Bilder im Photoshop-Ebenenstapel nicht bereits durch das Laden nach Methode A oder B ausgerichtet (per Option **Ⓒ**), so muss dies nun erfolgen.

Dazu selektiert man alle Bilder im Ebenenstapel – entweder per **Strg-Alt-A** (Mac: **⌘-⌥-A**) oder per Klick auf die erste Ebene und danach **⇧**-Klick auf die letzte Ebene. Nun ruft man **Bearbeiten ▶ Ebenen automatisch ausrichten** auf. Im erscheinenden Dialog (Abb. [16]) wählt man **Ⓐ Auto**.

Der Prozess kann bei vielen hochauflösenden Bildern oder einem schwächeren System mit wenig Hauptspeicher eine ganze Weile dauern. *Photoshop* bietet hier zwar keine weiteren Optionen zum Ausrichten an, macht aber in aller Regel wirklich gute Arbeit.

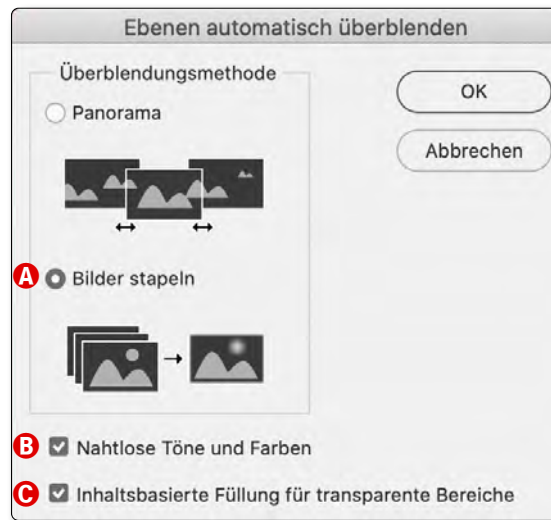


[16] Zum Ausrichten einer Fokusreihe wählt man hier **A** *Automatisch*. Die Optionen **B** und **C** sind nur dann sinnvoll, wenn eine solche Korrektur nicht bereits zuvor an anderer Stelle (in der Kamera oder im Raw-Konverter) erfolgte.

Die Bilder haben nach der Operation eventuell an den Rändern kleine leere (transparente) Bereiche und sind potenziell etwas rotiert und skaliert, abhängig davon, wie gut die Deckung der Bilder war.

### Überblenden der Bilder

Nun erfolgt die Bildkombination, wobei *Photoshop* aus den einzelnen Bildern die schärfsten (kontrastreichsten) Bereiche auswählt und den Rest entsprechend maskiert. Für das Überblenden wird die Menüfolge **Bearbeiten** ▶ **Ebenen automatisch überblenden** aufgerufen, womit der Dialog von Abbildung [17] erscheint. Setzen Sie hier die Optionen **A**, **B** und **C** wie in der Abbildung gezeigt. Die Option **B** sorgt für eine gute



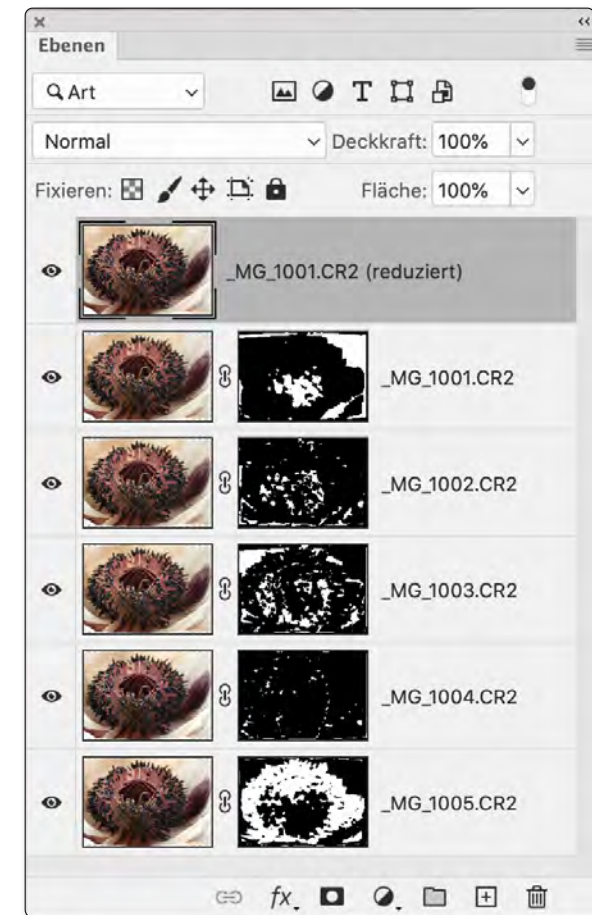
[17] Zum Stacken von Fokusreihen sollten die hier gezeigten Optionen gesetzt werden.

Überblendung und **C** dafür, dass Bereiche, die bei der Kombination eventuell leer/transparent bleiben, mit *Photoshops* inhaltsbasierter Füllung aufgefüllt werden. (Diese Option steht erst in

neueren *Photoshop*-Versionen (seit CC) zur Verfügung.)

Während ältere Versionen »nur« die unscharfen Bereiche in den Ebenen (recht intelligent) maskieren, fassen neuere *Photoshop*-Versionen diese Ebenen abschließend zu einer neuen Kombinationsebene zusammen (behalten aber die einzelnen maskierten Ebenen) und füllen bei Bedarf die Ränder. *Photoshop* bietet keine unterschiedliche Methoden für das Stacken an, liefert zu meist aber gute Resultate, auch wenn der Prozess lange dauert (abhängig von der Zahl an Bildern, der Auflösung und der Ausstattung des Systems).

Bei älteren *Photoshop*-Versionen muss man die Kombinationsebene durch den Klammergriff **⌘-Strg]-[Alt]-E** (Mac: **⌘-⌥-⌘-E**) selbst erstellen und selekt-



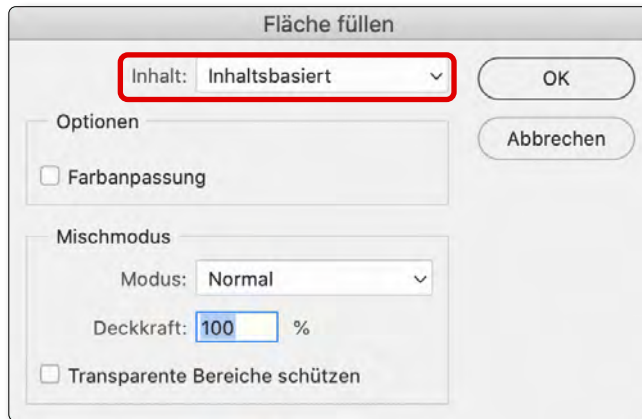
[18] So etwa sieht der Ebenenstapel nach dem Ausrichten und Überblenden der fünf Quellbilder aus. Zuoberst liegt die automatisch oder explizit erzeugte Kombinationsebene.

tiert dazu zuvor die oberste Ebene.

Transparente Bereiche beschneidet man danach entweder, füllt sie mit dem Stempelwerkzeug oder wählt sie mit einem der zahlreichen Auswahlverfahren von *Photoshop* aus und füllt sie über **Bearbeiten** ▶ **Fläche füllen**. Man verwendet dazu die Füllmethode *Inhaltsbasiert* (Abb. [19]). Weitere Techniken für solche Retuschen



in *Photoshop* werden im Kapitel 8.4 ab Seite 238 beschrieben.



[19] Dialog zur Photoshop-Funktion *Fläche füllen*

Der fertige Ebenenstapel sieht im Abschluss etwa wie in Abbildung [18] aus.

Ist man mit dem Ergebnis zufrieden, kann man die Ebenen des Stapels per **Ebene ▶ Auf Hintergrundebene reduzieren** auf eine einzige reduzieren, um Speicherplatz zu sparen. Alternativ sichert man den Stapel als JPEG, was die Ebenen ebenfalls auf eine reduziert. Jürgen baut in den Namen der Sicherung wieder die Dateinamen der verwendeten Quellbilder ein.

Bei Bedarf lassen sich in *Photoshop* weitere Bildoptimierungen durchführen – mit allen in *Photoshop* zur Verfügung stehenden Mitteln. Diese Optimierungen sollte man aber möglichst auf einem 16-Bit-TIFF-Bild ausführen.

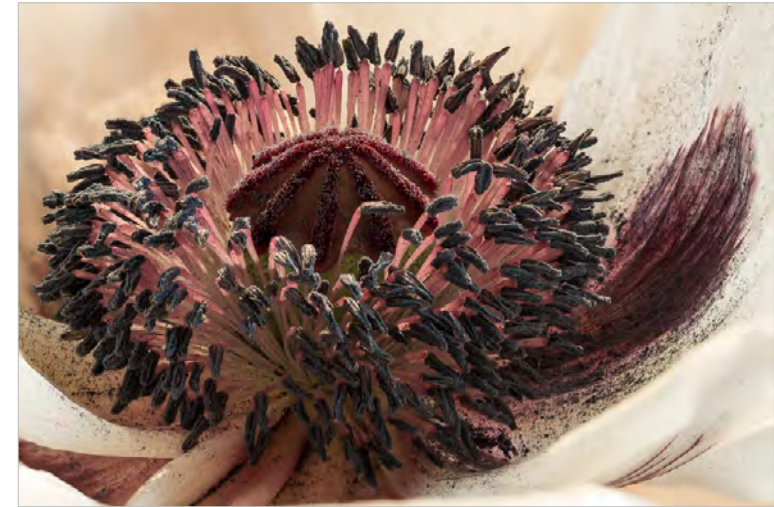
### Bewertung von Photoshop für das Stacken

*Photoshop* macht prinzipiell eine gute Arbeit, sowohl beim Ausrichten als auch bei der Bildkombination. Es arbeitet verglichen mit der Konkurrenz aber ausgesprochen langsam und benötigt dringend ausreichenden Hauptspeicher. Es erlaubt auch keine weiteren Eingriffe, weder in den Vorgang des Ausrichtens (außer dass man ihn entfallen lässt) noch in die Überblendung.

Stackt man nur gelegentlich und besitzt bereits eine halbwegs aktuelle *Photoshop*-Version, so ist *Photoshop* ein guter Einstieg, solange die Bildzahl nicht zu groß, die Komplexität nicht zu hoch ist und man keinen zu kleinen Arbeitsspeicher besitzt. Wir würden nicht über zehn Bilder hinausgehen. Für das Focus-Stacking von zwei bis etwa fünf Aufnahmen, wie dies für Landschaften und Blumenbilder zumeist ausreicht, lässt sich *Photoshop* gut einsetzen.

Für die Bildkombination wird offensichtlich ein Tiefenkarten-Verfahren (*Depth Mapping*) eingesetzt, was in etwa der Methode B in *Helicon Focus* entspricht.

Seine wirkliche Stärke zeigt *Photoshop* in der Nachbearbeitung gestackter Bilder. Hier zählt es zur absoluten Königsklasse; kaum eine andere Anwendung kann *Photoshop* das Wasser reichen, auch wenn die Schöpfer mancher anderen Anwendung kühne Behauptungen aufstellen. Für viele sauber gestackte Bilder kommt man aber für die Nachbearbeitung auch mit deutlich einfacheren und kostengünstigeren Lösungen aus, teilweise sogar mit den Funktionen eines Raw-Konverters.



[20] Ergebnis einer Fokusreihe aus zwölf Aufnahmen, die in *Photoshop* ausgerichtet und gestackt (überblendet) wurden – hier noch ohne jegliche Retusche. Die Fokusreihe der Mohnblüte ist mit Hilfe einer Makroschiene auf einem stabilen Stativ entstanden. Am längsten dauerte das Ausrichten der Ebenen. Canon EOS 70D (APS-C), 100-mm-Makro, ISO 100, f/8,0, 2,5 s



[21] Hier wurden in der Nachbearbeitung in *Photoshop* die Tiefen per Gradationskurve mit Luminanzmaske etwas angehoben und mit dem *Camera Raw*-Filter die *Struktur* erhöht.



Wir haben das vorherige Beispiel statt mit zwölf Aufnahmen, bei denen die Fokusverschiebung noch am Makroobjektiv manuell erfolgte, auch mit kleineren Schrittweiten – gesteuert durch *Helicon Remote* – und 21 Aufnahmen durchgeführt. Die Aufnahmen erfolgten (wie zuvor) in Raw und haben jeweils etwa 20 Megapixel.

Das Laden der 21 Bilder in den Photoshop-Ebenenstapels aus *Lightroom* heraus dauerte auf einem wirklich schnellen System mit reichlich Hauptspeicher (128 GB) etwa 62 Sekunden, das Ausrichten des Stapels etwa 126 Sekunden und das Überblenden der 21 Ebenen ca. 32 Sekunden.

Als wir versuchten, den Gesamt-Stack inklusive der 21 Bildebenen und deren Ebenenmasken sowie der Kombinationsebene ZIP-komprimiert als 16-Bit-TIFF abzuspeichern (was zugegebenermaßen nicht sehr sinnvoll ist), erhielten wir die Fehlermeldung, dass dies nicht möglich ist, da damit die 4-GB-Grenze für TIFF-Dateien überschritten sei. Wie man sieht, stößt man unter Umständen an manche Grenze, wobei 22 Ebenen beim Stacken keineswegs viel sind.

Wir hätten nun den Gesamt-Stack im PBD-Format (*Photoshop Big Data*) abspeichern können. PBD-Dateien haben praktisch keine Größenbeschränkung, werden außer von *Photoshop* (und mit Einschränkungen auch von *Lightroom*) aber nur von wenigen anderen Bildbearbeitungsprogrammen akzeptiert. Sinnvoller war es, die 21 Quellbild-Ebenen zu löschen und nur die fertige

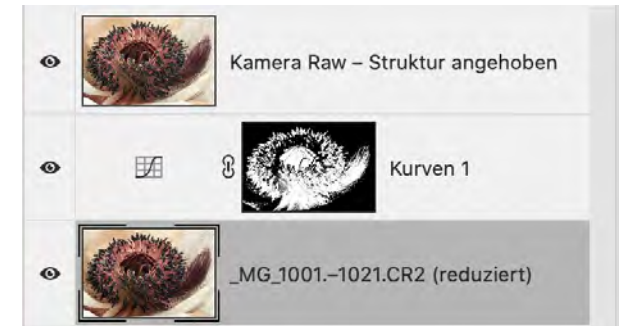
Kombinationsebene mit zwei weiteren Einstellungsebenen aus der nachträglichen Optimierung zu sichern (s. Abb. [22] für den verbleibenden Ebenenstapel). Ein Speichern als JPEG-Datei mit geringer Komprimierung hätte das Problem natürlich auch gelöst.

Solche Stacks speichern wir immer als 16-Bit-TIFF, um bei nachträglichen Bildoptimierungen einen möglichst großen Korrekturspielraum zu haben. Edmund hingegen begnügt sich mit der Speicherung als JPEG mit hoher Qualität (geringer Komprimierung).

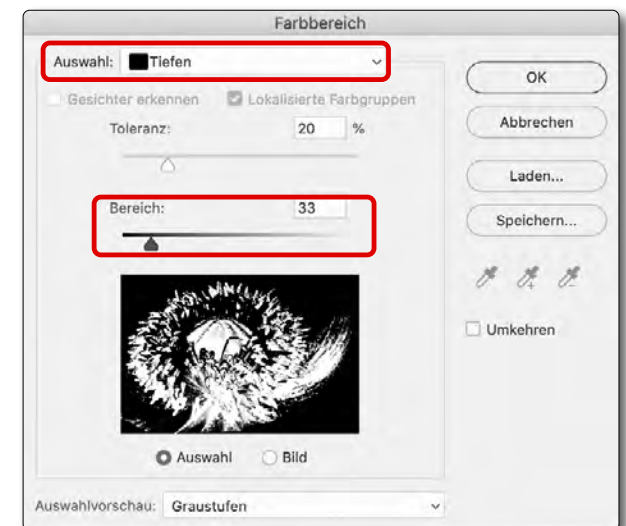
Für die nachträgliche Optimierung wurden über **Auswahl > Farbbereich** und mit dem Auswahlverfahren **Tiefen** (erst verfügbar seit *Photoshop CC*) zunächst die Tiefen ausgewählt (Abb. [23]). Nun wurde mit aktiver Auswahl eine Einstellungsebene vom Typ **Gradationskurve** angelegt und dort die Tiefen aufgesteilt (siehe Abb. [24]). Auf eine weitere Kombinationsebene, erstellt per **⌘-Strg-Alt-E** (Mac: **⌘-⌥-⌘-E**), wurde der Filter *Camera Raw* angewendet und darin *Struktur* auf +28, *Klarheit* auf +13 und *Dunst entfernen* zur Farbtintensivierung auf +21 gesetzt (Abb. [25]). Damit war die Optimierung abgeschlossen.



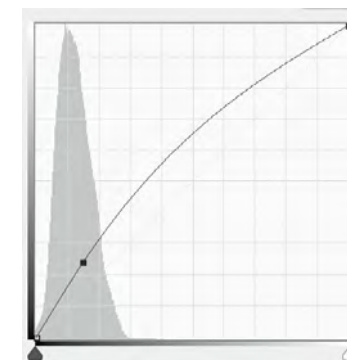
[25] Die drei Korrekturen im Photoshop-Filter *Camera Raw* (verfügbar seit Photoshop CC)



[22] Ebenenstapel unseres optimierten Bilds



[23] So wurde die Auswahl auf die Tiefen beschränkt.



[24] Diese Gradationskurve steilt durch die Luminanzmaske begrenzt nur die Tiefen auf und bringt so dort mehr Struktur zum Vorschein.

## 1.7 Der Zerene DOF-Calculator (Schärfentiefen-Rechner)

Eine recht schöne Funktion in Zerene Stacker ist dessen *DOF Calculator* zur Berechnung einiger für das Stacken relevanter Werte. Dazu gehören etwa die *Effektive Blende*, die Schärfentiefe mit vorgegebenen Randbedingungen sowie die Schrittweite bei einer gewünschten Schärfenüberlappung. Den Rechner ruft man über **Tools ▶ Calculators ▶ DOF Calculator** auf. DOF steht dabei für *Depth of Field* (Tiefenschärfe). (Er lässt sich auch in einer bereits abgelaufenen Testversion nutzen.)

Hat man hier einige bekannte Randbedingungen eingetragen, so werden andere Werte automatisch angezeigt. Gibt man etwa der Sensorbreite **A** und die Größe bzw. Breite des Objekts **B** an, wird sofort der Vergrößerungsmaßstab **C** berechnet und angezeigt. Gibt man dazu noch die *nominelle Blende* **D** vor, so wird automatisch die *effektive Blende* **F** berechnet. Fügt man nun noch die Auflösung des Sensors **G** in Pixel hinzu, wird unter **H** die resultierende Größe der einzelnen Pixel angezeigt und unter **I** die Schärfentiefe.

Gibt man jetzt die gewünschte Schärfentiefen-Überlappung **M** zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen einer Stacking-Serie vor, erhalten wir unter **N** die empfohlene Schrittweite. Und dies war nur ein Beispiel für Berechnungen mit diesem Rechner.

Der Vorteil des Rechners hier liegt darin, dass er für Makroaufnahmen auch bei größeren Maßstäben ausgelegt ist, was die meisten anderen Schärfentiefenrechner nicht mehr oder nicht mehr korrekt tun. Dort

Label	Value	Unit
<b>A</b> Sensor width (mm)	36	mm
<b>B</b> Subject width (mm)	22	mm
<b>C</b> Magnification	1,636	
<b>D</b> Lens aperture	6,5	lens F-number
<b>E</b> Pupil ratio		
<b>F</b> Effective aperture	17,134	F-number at sensor
<b>G</b> Sensor width (pixels)	8192	pixels
<b>H</b> Pixel width	0,0043945	mm
<b>I</b> CoC width (pixels)		pixels
<b>J</b> CoC width (mm)		mm
<b>K</b> DOF (classic)		mm
<b>L</b> DOF (wave optics)	0,24117	mm
<b>M</b> Step overlap	0,5	fraction of DOF
<b>N</b> Step size (suggested)	0,12058	mm

[26] Dieser Schärfentiefenrechner erlaubt eine ganze Reihe nützlicher Berechnungen, die beim Focus-Stacking relevant sein können.

fehlen zumeist bei der Schärfentiefe die benötigten Nachkommastellen. Liegt die Schrittweite aber im Millimeter-Bereich oder sogar darunter, sind diese Stellen durchaus relevant!

**1.8**