

*Eine Planetenansammlung im Mai 2002 über dem Versailler Schloss, aufgenommen mit einer Bridge-Kamera bei 1 Sekunde Belichtungszeit mit einem Zoomobjektiv in Weitwinkelstellung (links) und in Telestellung (rechts, nach einer Ausschnittvergrößerung). Venus und Mars gesellen sich zu der dünnen Mondsichel, und Jupiter ist in der oberen linken Bildecke zu sehen. Mehrere Sterne aus den Sternbildern Fuhrmann (Auriga) und Stier (Taurus) sind ebenfalls zu erkennen.*



der Kamera begutachten und die Kameraeinstellungen bei Bedarf anpassen oder verfeinern können, bis Sie die besten Werte gefunden haben. Aber aufgepasst, denn das LCD-Display der Kamera zeigt in dunkler Umgebung eine sehr geschönte Darstellung: Die Abbildung der Objekte wirkt unter diesen Bedingungen häufig heller, schärfer und kontrastreicher als das Bild, das Sie später auf Ihrem Computermonitor sehen. Stellen Sie den Kameramonitor daher am besten auf die geringste Helligkeit ein. Das spart Strom und liefert eine zuverlässigere, realitätsnähere Abbildung.

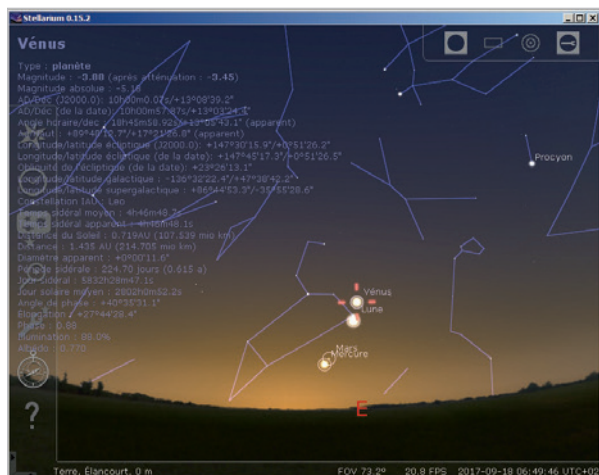
## Astronomische Motive

### Planetenkonjunktionen

Manchmal sieht man mit dem bloßen Auge mehrere Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter oder Saturn) und meint, dass sie im gleichen Bereich des Himmels eng zusammen mit einem hellen Stern, einer schönen Sternkonstellation wie Orion oder der Mondsichel stehen. Dieser Eindruck ist jedoch nur die Folge unserer Perspektive – die tatsächlichen Entfernungen von der Erde und die Abstände zwischen den Himmelskörpern sind nach wie vor unterschiedlich. Solche Gruppierungen sind sehr ansprechend und leicht zu fotografieren. Man sieht sie meistens bei Dämmerung, entweder am westlichen Abendhimmel oder morgens im Osten.

In Astronomie-Zeitschriften finden sich in der Regel Ankündigungen solcher Konjunktionen mit Angaben der Winkelabstände zwischen den Himmelskörpern, wodurch man vorher festlegen kann, welche Brennweite man am besten verwendet (vgl. dazu die Tabelle auf Seite 3). Wählen Sie den Bildausschnitt bei Aufnahmen solcher Gruppen von Himmelskörpern nicht zu klein, weil ein Foto, das nur mehrere helle Punkte zeigt, den Maßstab schwer erraten lässt. Der Betrachter würde nicht erkennen, ob das Foto mit einem Tele- oder einem Weitwinkelobjektiv aufgenommen wurde. Versuchen Sie stattdessen einen gut gewählten Vordergrund mit ins Bild zu rücken, beispielsweise eine Landschaft, ein Gebäude oder ein Monument. Solche Astro-Landschaftsaufnahmen der nächtlichen Umgebung vor dem Sternenhimmel fallen in die Kategorie der *Nightsapes*.

Sie können auch ein Planetariumsprogramm – beispielsweise Stellarium, Starry Night, Guide, TheSky usw. – zurate ziehen, das Ihnen ein realistisches Abbild des Himmels (mit Satelliten) an einem bestimmten Ort und zu einer definierten Zeit liefert. Auch einige Smartphone-Apps (The Photographer's Ephemeris, PhotoPills, Plan It! for Photographers) helfen bei der Aufnahmepreparierung und zeigen die wichtigsten Informationen über den Nachthimmel mithilfe von Google Maps- und Google Street View-Karten an. Im Idealfall erkundet man die geplante Location bereits vor der eigentlichen Aufnahme, damit man sicher weiß, ob der Ort bei Nacht zugänglich ist und ob z. B.



*Stellarium ist ein kostenloses Programm mit zahlreichen Funktionen, das auch in deutscher Sprache zur Verfügung steht. (siehe <https://stellarium.org/de/>, Anm. d. Ü.)*

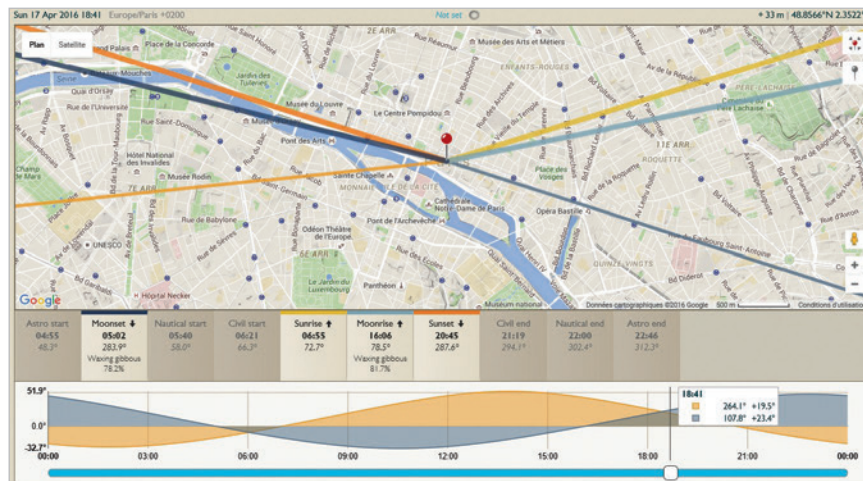
Stromleitungen oder künstliche Lichtquellen die Aufnahmen stören könnten.

Probieren Sie, beginnend mit 1 Sekunde, unterschiedliche Belichtungszeiten aus (beispielsweise 1 Sekunde, 2 Sekunden, 4 Sekunden, 8 Sekunden) und prüfen die Bilder sofort bei stärkster Vergrößerung am Kamerabildschirm, um die maximale Belichtungszeit zu ermitteln, bei der die von der Erdrotation verursachte Unschärfe noch nicht ins Gewicht fällt (siehe weiter unten). Bei diesen Experimenten können Sie auch feststellen, ob die Aberrationen des Objektivs zu stark in Erscheinung treten; falls dies der Fall ist, sollten Sie eine etwas kleinere Blendenöffnung wählen. Im letzten Schritt passen Sie nun die ISO-Einstellung an, damit eine ausgewogene Abbildung mit einem dunkelblauen Himmel im Hintergrund und einem korrekt belichteten Vordergrund entsteht.

Machen Sie ruhig so viele Aufnahmen wie möglich mit unterschiedlichen Einstellungen. Später am Computer können Sie in aller Ruhe die besten Bilder daraus auswählen.

## Sternbilder und die Milchstraße

Die meisten Sternbilder lassen sich mit einem 50 mm-Objektiv an einer Digitalkamera mit Vollformatsensor (bzw. mit einem 35 mm-Objektiv in Verbindung mit einem APS-C-Sensor) vollständig abbilden. Das Fotografieren von Sternbildern mit einer stabil stehenden Kamera wird

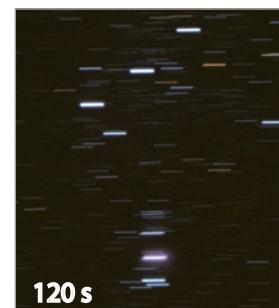
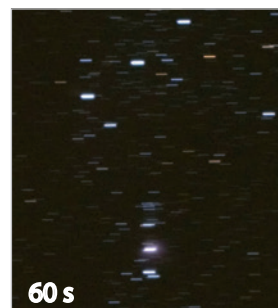


Die Apps *The Photographer's Ephemeris* (hier), *PhotoPills* und *PlanIt! for Photographers* zeigen die Uhrzeiten und Richtungen des Unter- und Aufgangs von Sonne und Mond an einem bestimmten Datum und Ort an. Die umfangreichsten Programme nutzen Augmented Reality und liefern noch weitere Informationen: Uhrzeiten der Dämmerung und Gezeiten, Position der Milchstraße, Berechnungen (Belichtung, Zeitraffer, Sternspuren) usw.

nur durch ein einziges, dafür aber gravierendes Problem erschwert: Da sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, scheint es so, als ob sich das Himmelsgewölbe in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Anfänger der Astrofotografie sind stets überrascht von der Geschwindigkeit dieser Bewegung. Am Himmelsäquator beträgt sie immerhin  $15''$  pro Sekunde, was  $1/2^\circ$  in 2 Minuten entspricht. Diese Zeit reicht, dass sich Sonne oder Mond um ihren ganzen Durchmesser weiterbewegen. Die Winkelgeschwindigkeit nimmt in Richtung Himmelspol ab und beträgt  $10''$  pro Sekunde bei einer Deklination von  $50^\circ$  und  $5''$  pro Sekunde bei  $70^\circ$ . Schauen wir uns noch einmal in der Tabelle auf Seite 3 das Beispiel für ein 20 mm-Objektiv an einer DSLR mit APS-C-Sensor an. Der Bildwinkel beträgt  $40^\circ \times 60^\circ$ . Wenn der Sensor 16 Megapixel hat, enthält das Bild  $3300 \times 5000$  Pixel. Eine einfache Division zeigt uns, dass jedes Pixel einen Winkel von  $60/5000 = 0,012^\circ$ , also  $43''$  abbildet (diese Kenngrößen nennt man auch Sampling; die Berechnung wird in Kapitel 4 noch genauer erklärt). Deshalb reicht bei einem Stern in der Nähe des Himmelsäquators eine Belichtungszeit von 3 Sekunden aus, um eine Verwischung (Bewegungsunschärfe) von 1 Pixel auf dem Foto zu bewirken. Selbst wenn das resultierende Bild verkleinert wird, um auf dem Computermonitor dargestellt werden zu können, wird schnell klar, warum Belichtungszeiten, die über 15 Sekunden hinausgehen, unter diesen Umständen



*Diese Großaufnahmen von Gürtel und Schwert des Orion entstanden mit zunehmender Dauer der Belichtung und demonstrieren die Bewegungsunschärfe infolge der Erdrotation.*



*Bereits bei einer Belichtungszeit von 10 Sekunden wirkt sich die Lichtverschmutzung ungünstig auf die Astrofotografie aus.*



*Trotz des Vollmonds, der den Himmel blau erscheinen lässt, ist die Milchstraße, die hier von einem hellen Meteoriten durchkreuzt wird, auf dieser Aufnahme mit 1 Minute Belichtungszeit zu sehen. Das Bild entstand mit einem 14 mm 1:2,8-Objektiv an einer Vollformat-DSLR am Wallaman-Wasserfall in Australien.*

nicht sinnvoll sind. Glücklicherweise kann man jedoch trotzdem die Milchstraße und alle mit dem bloßen Auge erkennbaren Sterne auf einer solchen Aufnahme festhalten, vor allem dann, wenn man ein lichtstarkes Objektiv mit einer Anfangsöffnung von 1:1,8 oder 1:2,8 einsetzt. Die längste noch akzeptable Belichtungszeit ist entgegengesetzt proportional zur Brennweite des Objektivs. Der Wechsel von einem 50 mm- zu einem 24 mm-Objektiv beispielsweise erlaubt die Verdopplung der Belichtungszeit. Die Wahl des Objektivs hängt davon ab, wie groß der fotografierte Ausschnitt des Himmels sein soll und wie viel Bewegungsunschärfe man zulässt.

Mit den vereinfachten Formeln unten lässt sich für eine Aufnahme des Himmelsäquators die maximale, zu einer Verwischung der Sterne von einem Pixel führende Belichtungszeit (T) in Abhängigkeit von der Brennweite F und vom Sensortyp errechnen, wenn das Bild verkleinert wird, um es auf einem Full HD-Monitor (1920 × 1080) anzuzeigen:

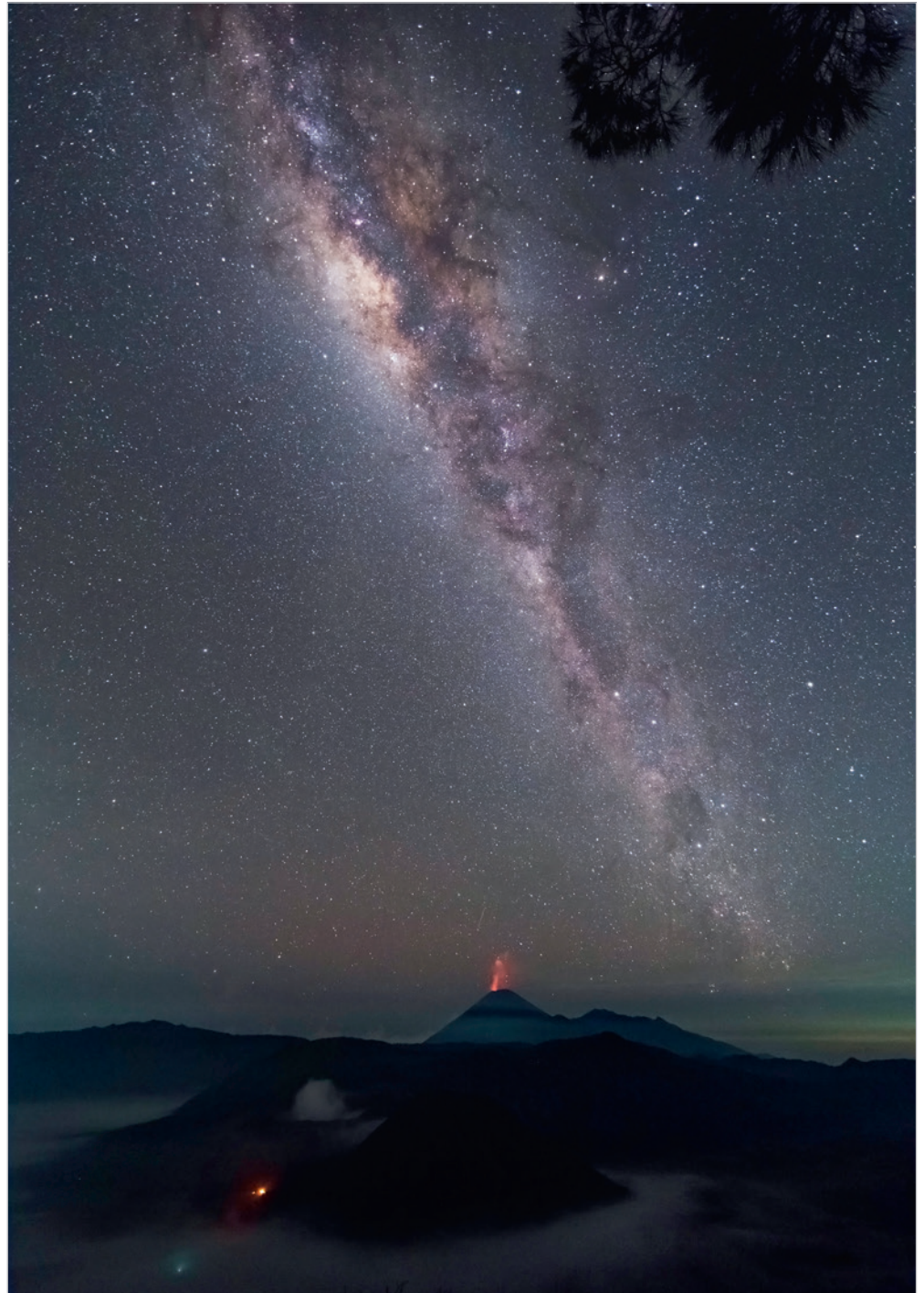
- APS-C-Sensor:  $T = 200 / f$ ;
- Vollformatsensor:  $T = 300 / f$ ;

Beispiel: Bei Verwendung eines 24 mm-Objektivs ist T 8 Sekunden bzw. 12 Sekunden. Für eine Anzeige mit 4K-Auflösung muss die errechnete Zeit durch zwei geteilt werden.

Für Aufnahmen von der Milchstraße sind ISO-Einstellungen zwischen 800 und 3200 üblich. Nachdem Sie Ihre ersten Experimente gemacht haben, können Sie Anhang 6 zurate ziehen, um die optimale ISO-Einstellung für Ihre SLR zu ermitteln. Auf jeden Fall sollten Sie die höchsten ISO-Einstellungen Ihrer Kamera (höher als 6400 ISO) meiden – diese Werte sind reine Marketingargumente und bringen sogar Nachteile mit sich, vor allem im RAW-Format.

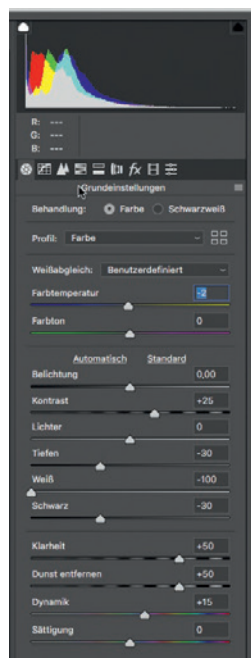
Außer bei Finsternissen ist es in der Astrofotografie notwendig, sich von Städten und Straßenbeleuchtungen fernzuhalten. Andernfalls werden die Sterne von einem grünlichen oder rötlichen Hintergrund »geschluckt«, der durch den ärgsten Feind des Astronomen verursacht wird – die Lichtverschmutzung. Aus dem gleichen Grund sollte man aber auch einen Voll- oder Dreiviertelmond meiden, es sei denn, man nutzt ihn, um die Landschaft auszuleuchten.

Die Milchstraße ist nichts anderes als unsere eigene Galaxie, nur von innen betrachtet. Mit bloßem Auge sieht sie wie ein breites, schwach leuchtendes Band am Himmel aus. Ein Teil davon ist immer sichtbar, aber er verändert sich je nach Jahres- und Uhrzeit. Die Milchstraße ist nicht einheitlich: Am hellsten leuchtet sie im Zentrum der Galaxie, denn dort befinden sich die meisten Sterne und Staubwolken mit der größten Dichte. Diese Region in der Nähe des Sternbildes Schütze nennt man den »Bulge«. In Mitteleuropa ist der Bulge zwischen März (gegen Ende der Nacht) und September (zu Beginn der Nacht) in südlicher Richtung erkennbar. Je niedriger der Breitengrad, desto höher befindet er sich am Himmel. Aus diesen Gründen ist der Himmel über den Ländern der südlichen Halbkugel, beispielsweise in Chile, Südafrika, Namibia und Australien, so beliebt: Der Bulge ist dort manchmal im Zenit sichtbar und strahlt in seiner ganzen Pracht in der Nähe des einzigartigen Sternbildes Skorpion. Hinzu kommen außerdem die Sternbilder Kreuz des Südens und Centaur sowie zwei Zwerggalaxien in nächster Nachbarschaft zu unserer: die Magellanschen Wolken. Am Nordhimmel gibt es keine vergleichbare Ansicht; wer das Glück hat, dieses Schauspiel an einem Ort ohne Luftverschmutzung zu bewundern, wird den Anblick sicherlich nie vergessen!

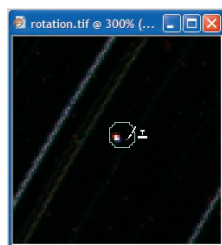


Über den drei Vulkanen der indonesischen Insel Java sieht man das Band der Milchstraße. Zwei dieser Vulkane sind noch aktiv (Belichtungszeit von 30 Sekunden, 14 mm 1:2,8-Objektiv und Canon 6D bei ISO 1600)





Das in Photoshop enthaltene Modul Camera Raw bietet ein Histogramm und weitere Funktionen zur RAW-Verarbeitung, darunter Objektivkorrektur, Einstellung der Schärfe und Rauschreduzierung.



Bei stark vergrößerter Abbildung lassen sich winzige »hot pixels« und Staufflecken mit dem Kopierstempel- oder Klonpinselwerkzeug entfernen.

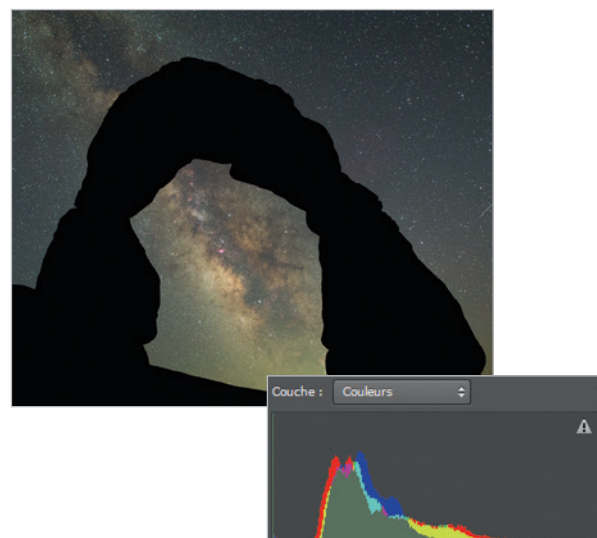
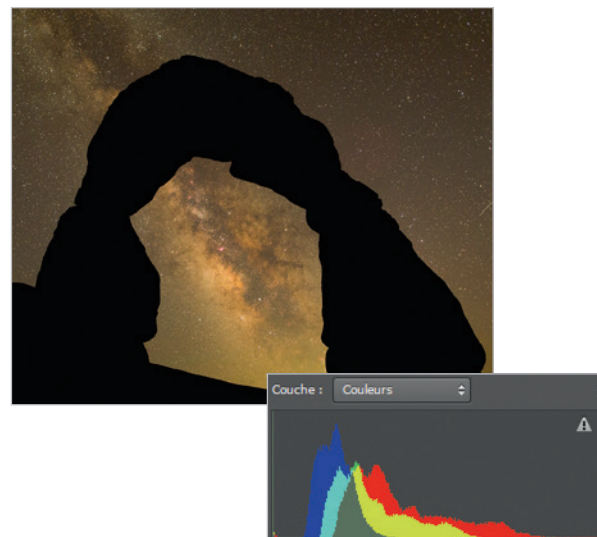
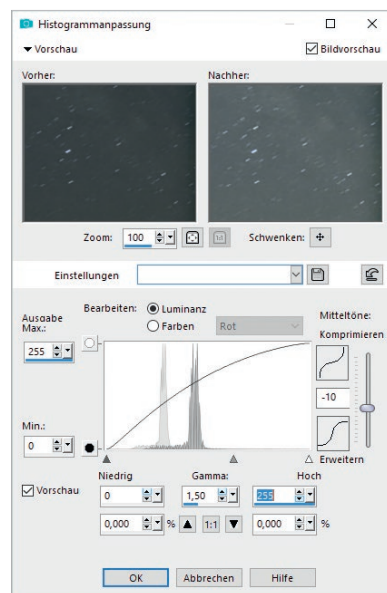
Die Histogrammanpassung in Paint Shop Pro entspricht dem Gradationskurven-Dialog in Photoshop und umfasst umfangreiche Einstellmöglichkeiten der Niveaus und Kurven sowie eine Histogrammanzeige der Abbildung.

## Bearbeitung der Bilder

Wenn Sie Ihre Bilder im JPEG-Format aufgenommen haben, bleibt Ihnen bei der Bearbeitung nur wenig Spielraum. Dennoch können Sie auch bei JPEG-Bildern ein wenig Einfluss auf Weißabgleich, Kontrast und Helligkeit des Himmels im Hintergrund nehmen.

Bei der Entwicklung einer RAW-Datei werden die Rohdaten aus dem Kamerasensor in ein Bild umgewandelt, das am Bildschirm angezeigt und ausgedruckt werden kann. Dazu können Sie entweder die Software des Herstellers Ihrer Spiegelreflexkamera verwenden wie z. B. DPP für Canon oder Capture NX für Nikon. Oder Sie greifen auf eine für alle Kameras geeignete Software wie Photoshop, Lightroom oder DxO OpticsPro zurück. Die grundsätzlichen Einstellungen und Arbeitsschritte sind die folgenden:

- Belichtung, Kontrast, Tiefen und Lichter (bzw. helle und dunkle Tonwerte): Ebenso wie in den anderen fotografischen Genres passt man diese Einstellungen an, um eine ausreichend helle und kontrastreiche Abbildung zu schaffen, helle Himmelskörper (beispielsweise eine Mondsichel) nicht überzubelichten und auch dunklere Objekte, insbesondere die Milchstraße, gut vor dem dunklen Himmel zur Geltung zu bringen.
- Schärfe: Wählen Sie hier den geringsten Wert, um das Rauschen nicht zu verstärken.
- Rauschreduzierung: Mit dieser Funktion können Sie das Rauschen verringern, ohne die Farben abzuschwächen oder zu viele Details zu verlieren; je stärker Sie die Belichtung, den Kontrast oder die dunklen Töne anpassen, desto ausgeprägter ist allerdings das Rauschen.



Bei diesem im RAW-Format aufgenommenen und mit Camera Raw (Photoshop) mit der Einstellung »Tageslicht« entwickelten Foto lässt sich der Orangestich im Histogramm gut an der Verschiebung der grünen und vor allem der roten Spitzenwerte nach rechts auf Kosten des blauen Spitzenwerts erkennen. Mithilfe der Anpassung der Temperatur- und Farbton-Einstellung wurde die Farbbalance optimiert. Am Horizont macht sich die Lichtverschmutzung noch ein wenig bemerkbar, wirkt jetzt aber gelblich.



Rechts ein Fisheye des weißrussischen Herstellers Peleng, links ein 8–15 mm-Fisheye-Zoom von Canon.

- Korrektur von Objektivfehlern: Falls möglich, sollten Sie die Korrektur von Vignettierungen aktivieren; die Korrektur von Verzerrungen sollte nur dann eingeschaltet werden, wenn horizontale Linien zu stark gekrümmt sind oder wenn Sie anschließend ein Panorama erstellen wollen (siehe weiter unten).

Die Anpassung der Farben ist am schwierigsten! Wenn Sie bei der Aufnahme die Einstellung »Tageslicht« gewählt haben (Farbtemperatur von etwa 5500 K), weist der Himmel im Hintergrund wahrscheinlich einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Roststich auf, auch wenn der Aufnahmeort scheinbar von der Lichtverschmutzung verschont geblieben ist (ein Grünstich ist die Folge des Nachthimmelleuchtens (*Airglow*): Dies ist ein schwaches, bei Nacht sichtbares Leuchten der höheren Atmosphärenschichten). Um den Himmel neutraler oder sogar leicht bläulich wiederzugeben, können Sie die Farbtemperatur-einstellung etwas nach unten anpassen, in Richtung der Einstellung für »Kunstlicht«. Übertreiben sollten Sie das jedoch nicht, denn diese Farbverschiebung wirkt sich auch auf alle anderen Objekte – Sterne und Sternennebel – aus. Die Sterne sollten aber unbedingt ihre unterschiedlichen Farben behalten, und auch der warme Farbton des galaktischen Bulge (zwischen Gelb und Rot) muss bewahrt bleiben.

Wenn Sie mit dem Ergebnis zufrieden sind und – abgesehen von einer eventuellen Ausschnittänderung – keine weiteren Anpassungen vornehmen möchten, dann können Sie das Bild nun als JPEG-Datei mit höchster Auflösung abspeichern. Andernfalls sollten Sie Ihr Bild als

TIFF-Datei mit 16 Bit Farbtiefe speichern. Dies bietet sich an, wenn Sie die Datei später noch einmal bearbeiten möchten, um eventuell noch verbleibende Farbstiche am Himmel mithilfe der Tonwertkorrektur zu beseitigen. In Kapitel 7 (Seite 199) wird dieser Schritt genauer erklärt.

### Das Fisheye: ein einzigartiges Objektiv

Die Objektive, von denen bisher die Rede war, liefern eine sogenannte »rektilineare« Abbildung: Gerade Linien wie beispielsweise der Horizont oder eine Gebäudekante werden auf dem Foto ebenfalls (mehr oder weniger) gerade wiedergegeben. Aber diese Objektive erfassen nur einen begrenzten Bildwinkel: Will man mehr, braucht man ein Fisheye. Ein Fisheye-Objektiv (Fischaugenobjektiv) hat eine sehr kurze Brennweite und ist so konstruiert, dass es das größtmögliche Bildfeld mit einer DSLR einfängt. Auf den Zenit gerichtet, produziert ein gängiges Fischaugenobjektiv mit einem Bildwinkel von 180° kreisrunde Bilder, die das gesamte Himmelsgewölbe inklusive des Horizonts wiedergeben. Je nach Charakteristik des Objektivs und Sensorgröße passt dieses Bild auf den Sensor oder auch nicht. Das kreisrunde Bild eines 8 mm-Fisheye-Objektivs (Sigma, Canon, Nikon, Peleng, Samyang) misst zwischen 22 mm und 25 mm und wird daher mit einem Vollformatsensor vollständig erfasst. Um mit einem APS-C-Sensor dasselbe Ergebnis zu erzielen, braucht man ein Fisheye-Objektiv mit 4,5 mm Brennweite (Sigma). Auf dem APS-C-Sensor würde ein 8 mm-Fisheye-Objektiv den gesamten Sensor bis auf schwarze Ecken ausfüllen. Diagonale Fisheye-Objektive haben für eine APS-C-Kamera eine Brennweite von etwa 10 mm und bilden den Bildwinkel



Die kleine Ricoh Theta S (hier auf dem Tischstativ GorillaPod) liefert die ultimative Fischaugenansicht: Mit ihren beiden gegenüberliegenden Objektiven kann sie eine 360°-Rundumsicht ihrer Umgebung fotografieren oder filmen. Nichts entgeht dieser Kamera, noch nicht einmal das Stativ, auf dem sie steht. Sie kann entweder über ihren Auslöseknopf ausgelöst oder über eine Wi-Fi-Verbindung mit dem Smartphone gesteuert werden. Die resultierenden Fotos (nur JPEG) und Videos (MP4) setzen sich aus zwei Halbkugel-Aufnahmen zusammen. Mit dem Anwendungsprogramm der Ricoh Theta kann man durch das 360°-Bild navigieren und das Foto in unterschiedlichen Ansichten präsentieren: als Panorama, als flache, rechteckige Ansicht oder als »kleiner Planet«. Natürlich lässt sich die Bildqualität aufgrund der kleinen Sensoren und Objektive nicht mit einer SLR-Aufnahme vergleichen, aber die Ergebnisse sind bei Belichtungen von mehreren Sekunden erstaunlich gut.

*Eine Aufnahme des gesamten Südhimmels mit einer Belichtungszeit von zwei Minuten und einem 8 mm-Fisheye-Objektiv an einer Vollformatkamera. Die Magellanschen Wolken sind in der Nähe des Horizonts sichtbar (oben links).*



von 180° nur in der Diagonalen ab. Mit diesen sehr kurzen Brennweiten sind Belichtungszeiten von Dutzenden von Sekunden möglich, ohne dass die Sterne zu stark verwischen. Aufnahmen mit Fisheye-Objektiven sind allerdings besonders anfällig für Lichtverschmutzung, selbst wenn man kilometerweit von der nächsten Ansiedlung entfernt ist. Außerdem schlägt sich leicht Feuchtigkeit auf der vorgewölbten Frontlinse nieder.

### Verlängerung der Belichtungszeit

Damit noch mehr Sterne auf dem Bild zu sehen sind und auch die Milchstraße besser zur Geltung kommt, muss man die Belichtungszeit weiter verlängern. Damit die Erdrotation nicht zu Unschärfen führt, besteht die beste Lösung darin, die Bewegung des Himmels mithilfe einer motorgesteuerten äquatorialen Montierung auszugleichen. Eine solche Montierung muss nicht unbedingt teuer oder sperrig sein: Einige Hersteller bieten heutzutage für ein paar Hundert Euro kleine Äquatorialmontierungen für die Reise an, die auf ein Fotostativ montiert werden und eine DSLR und ein Objektiv mit einer Brennweite von bis zu 200 mm halten können. Alle diese motorgesteuerten Montierungen und ihr praktischer Einsatz werden in Kapitel 7 beschrieben.

Bei einer fest montierten Kamera mit einem Objektiv mit kurzer oder mittlerer Brennweite (diese Methode funktioniert nicht bei Ultra-Weitwinkel- und Fisheye-Objektiven) besteht noch die Möglichkeit, mehrere Auf-

### BESEITIGUNG VON HEISSEN PIXELN

Bei Langzeitbelichtungen entsteht im Inneren des Sensors ein unerwünschtes Phänomen, auf das wir noch häufiger in diesem Buch zurückkommen werden, denn es macht allen Deep-Sky-Fotografen das Leben schwer: das thermische Rauschen. Es äußert sich in Form von hellen, farbigen Punkten, die sich scheinbar zufällig im Bild verteilen (die berühmten heißen Pixel oder »hot pixels«). Diese Pixel befinden sich beim jeweiligen Sensor immer an den gleichen Stellen der Abbildung. Nur die Helligkeit dieser Pixel variiert: Sie steigt an, je länger die Belichtung dauert und je höher die Umgebungstemperatur ist.

Viele Digitalkameras bieten die Funktion »Rauschreduzierung bei Langzeitbelichtung«, in der sofort nach der jeweiligen Langzeitbelichtung eine zweite Aufnahme gleicher Dauer gemacht wird, ohne den Verschluss zu öffnen, sodass die heißen Pixel reproduziert werden. Diese zweite Aufnahme wird dann anschließend automatisch von der ersten abgezogen, bevor die Kamera die Datei auf die Speicherkarte schreibt. Dies ist der Grund, weshalb die Kamera in diesem Modus bei einer einminütigen Belichtungszeit zwei Minuten beschäftigt ist.

Natürlich muss diese Funktion bei Aufnahmen von Sternspuren deaktiviert werden, da sonst zwischen den Einzelaufnahmen zu große Lücken entstehen würden. Auch für Panoramaaufnahmen ist dieser Modus ungeeignet. Man könnte versucht sein, die Funktion bei Ansichten von Sternbildern und von der Milchstraße immer einzuschalten, aber die Kamerahersteller verschweigen grundsätzlich eine wichtige Information: Die heißen Pixel werden dadurch zwar beseitigt, aber dafür erhöht sich das Grundrauschen der Abbildung um 40 %! Ich nutze diesen Modus also fast nie und entferne eventuelle heiße Pixel lieber manuell mit dem Kopierstempel-Werkzeug.

Legen Sie die Bilder als Ebenen mit der Füllmethode »Differenz« übereinander. Falls die Deckung nicht stimmt, erscheinen die Sterne doppelt.

nahmen mit relativ kurzer Belichtungszeit miteinander zu kombinieren, um die Wirkung einer längeren Belichtungszeit zu erreichen; beispielsweise ergeben 20 aufeinanderfolgende Aufnahmen mit 15 Sekunden ein Ergebnis, das mehr oder weniger einer Einzelaufnahme von 5 Minuten mit einem Nachführsystem entspricht. Weil sich die



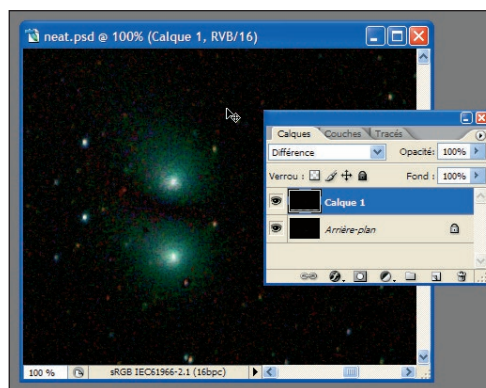


Der Komet C/2001 Q4 (NEAT) ließ sich im Mai 2004 auf der Südhalbkugel beobachten. Bei dieser Einzelaufnahme mit 6 Sekunden Belichtungszeit mit einem 200 mm-Objektiv an einer DSLR (links) konnte die Bewegungsunschärfe infolge der Erdrotation zwar minimiert werden, doch waren dadurch nur der Kern und die Koma des Kometen erkennbar. Bei der längeren Belichtungszeit von 1 Minute (Mitte) ist auch der Schweif des Kometen zu sehen, allerdings auf Kosten der Bildschärfe. Durch die Kombination von zehn aufeinanderfolgenden Aufnahmen mit je 6 Sekunden Belichtungszeit ist der Schweif nach dem Übereinanderlegen ohne Beeinträchtigung der Bildschärfe erkennbar (rechts).

Sterne zwischen den aufeinanderfolgenden Aufnahmen bereits wieder bewegt haben, ist es natürlich notwendig, die Einzelaufnahmen vor ihrer Zusammenfügung korrekt in Deckung zu bringen. Dazu geht man in Bildbearbeitungsprogrammen wie Photoshop oder Paint Shop Pro folgendermaßen vor:

1. Öffnen Sie das erste und zweite Foto der Aufnahmeserie und lassen Sie die Bilder in der 100 %-Ansicht anzeigen.
2. Kopieren Sie das zweite Bild in die Zwischenablage und fügen es über das erste als neue Ebene ein. Stellen Sie anschließend die Füllmethode auf »Differenz«.
3. Mit dem Verschieben-Werkzeug schieben Sie die obere Ebene in die Position, bei der Sie eine zufriedenstellende Deckung der beiden Ebenen erhalten (das Bild erscheint in einem einheitlichen Schwarz). Anschließend stellen Sie die Füllmethode wieder auf »Normal«.
4. Wiederholen Sie den ganzen Vorgang mit den restlichen Bildern der Aufnahmeserie, indem Sie sie kopieren und als neue Ebene über das vorhandene Bild legen.
5. Zum Abschluss wählen Sie für alle Ebenen die Füllmethode »Negativ multiplizieren« und fügen die Bilder zusammen.

Je nach Bereich des Himmels und verwendetem Objektiv bei den Aufnahmen besteht das Übereinanderlegen der Einzelbilder aus Verschiebungen (horizontale und vertikale Bewegungen) oder Rotationen (Drehung der ganzen Ebene um einen Punkt). Im letzteren Fall muss jede Ebene



Legen Sie die Bilder als Ebenen mit der Füllmethode »Differenz« übereinander. Falls die Deckung nicht stimmt, erscheinen die Sterne doppelt.

vor der Verschiebung um einen Winkel gedreht werden, den man durch Ausprobieren herausfinden sollte. In Kapitel 7 werden wir sehen, dass viele Programme für die Astrofotografie diese Rotationen und Verschiebungen der Einzelbilder automatisch vornehmen können, wodurch der ganze Vorgang schneller und genauer abläuft als bei der hier beschriebenen manuellen Methode. Vor diesem Schritt korrigiert man jedoch am besten noch Vignettierungen und Verzerrungen des Objektivs, falls mit dem verwendeten RAW-Konverter möglich.

Wenn Sie mit Photoshop arbeiten, können Sie die Funktion »Ebenen automatisch ausrichten« ausprobieren: Wählen Sie alle Ebenen und den Befehl »Ebenen automatisch ausrichten« im Menü »Bearbeiten« aus; der Ausrichtungsmodus muss auf »Auto« gestellt werden.



### Panoramaansichten

In der Weitwinkelfotografie ist die Erstellung eines Panoramas eine einfache Möglichkeit, den Bildwinkel noch weiter zu vergrößern. Bei einem horizontalen Panorama, auf dem noch einige Landschaftselemente zu sehen sind, muss man zuerst mit einer Wasserwaage überprüfen, ob der Stativkopf genau horizontal ausgerichtet ist. Die einzelnen Aufnahmen sollten sich um mindestens 25–30 % überlappen, damit man zum Zusammenfügen des Gesamtbildes bei der Nachbearbeitung genug Anknüpfungspunkte hat. Die Zeit zwischen den Einzelbildern muss möglichst kurz gehalten werden, damit sich die Erdrotation bei der Zusammenfügung der Bilder nicht bemerkbar macht. Darüber hinaus ist es wichtig, ein Bildbearbeitungsprogramm zu verwenden, das Objektfehler (Vignettierungen, Verzerrungen) korrigiert. Zur Erstel-

lung von Mosaiken können Sie eines der auf dem Markt erhältlichen Panoramaprogramme (PTGui, Autopano, Microsoft ICE usw.) ausprobieren: Bei der Anordnung und Zusammenfügung von scheinbar unvereinbaren Bildern vollbringen sie Meisterleistungen und lassen gleichzeitig helle Übergänge verschwinden.

Fangen Sie mit einem einfachen horizontalen Panorama an. Bei einer Drehung der Kamera um 90° (ins Hochformat) können Sie in vertikaler Richtung mehr Fläche ins Bild rücken als im Querformat. Wenn der Bildwinkel Ihres Objektivs nicht ausreicht, um die gewünschte vertikale Ansicht auf einmal zu erfassen, können Sie mehrteilige Panoramen mit zwei oder sogar drei überlagerten Bildreihen anfertigen. Für solche Aufnahmen empfehle ich Ihnen einen Panoramakopf.



Das Panorama unten besteht aus diesen vier Aufnahmen.

Mit einer Canon 6D und einem 20 mm 1:1,4-Objektiv von Sigma wurden vier Aufnahmen mit 20 Sekunden Belichtungszeit und ISO 1600 gemacht und mit PTGui zu einem Panorama zusammengefügt. Anschließend wurden die Farben und der Himmelshintergrund ähnlich wie bei einem Einzelbild in Photoshop angepasst. In der Mitte der Panoramaaufnahme erkennt man das Zodiakallicht: Es zeigt sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum Planeten Venus am Horizont. Links von der Kuppel des Teleskops SALT (South African Large Telescope) im Südwesten von Südafrika sieht man die Magellanschen Wolken.





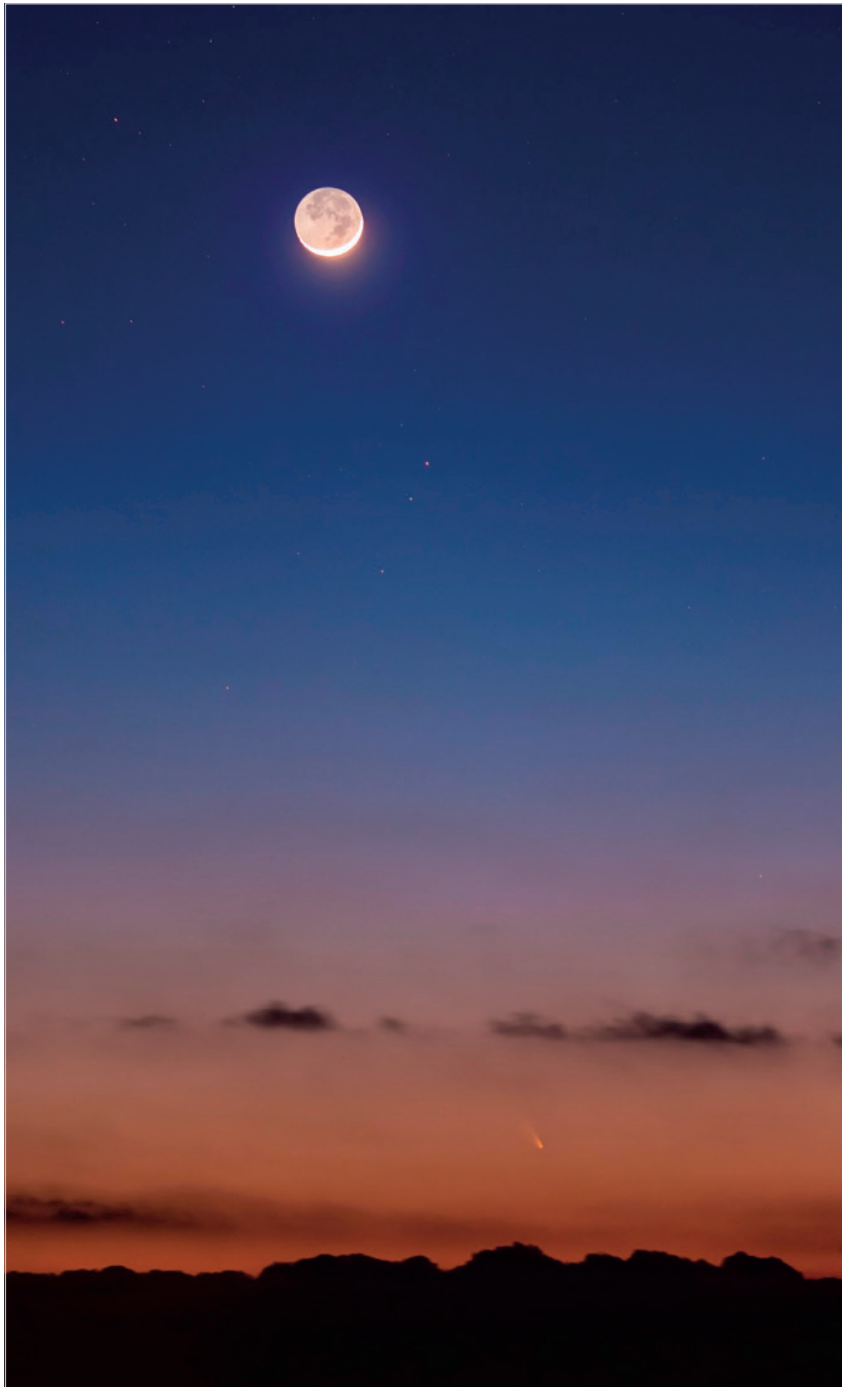
Bei Panoramaaufnahmen kann man mit allen erhältlichen Foto- oder Videostativköpfen arbeiten. Ein Panoramakopf wie der kleine Bushman Gobi (rechts) leistet jedoch besonders gute Dienste: Er trägt ein Gewicht von etwa 2 kg. Dank rastender Einstellungen kann die Kamera (horizontal und vertikal) von einem Bild zum nächsten um einen festgelegten Winkel gedreht werden: Man muss nicht mehr durch den Sucher schauen, um den passenden Winkel zu ermitteln. Einen weiteren Vorteil bieten diese Panoramaköpfe bei Aufnahmen mit Bildelementen im Vordergrund (mit einem Abstand von wenigen Metern zur Kamera), denn der Panoramakopf ermöglicht die Drehung um das Zentrum der Eintrittspupille des Objektivs, damit jegliche Verzerrung der Perspektive vermieden wird. Weitere Informationen über diese Arbeitsweise finden Sie auf der Website des Panoramaspzialisten Arnaud Frich: <http://www.guide-photo-panoramique.com>.



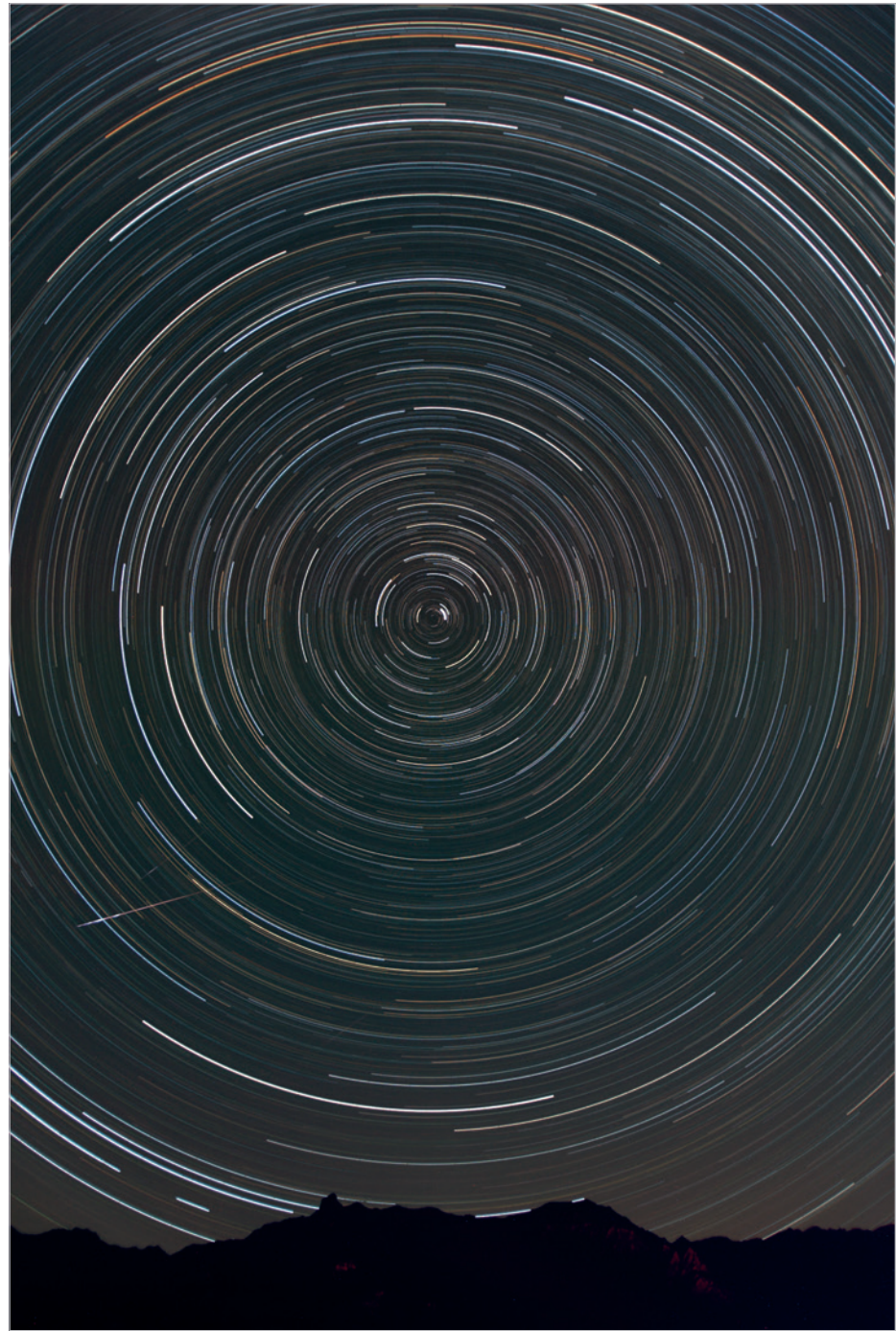
### Zodiakallicht

Das Zodiakallicht (Tierkreislicht) wird durch interplanetarischen Staub verursacht, der von der Sonne angestrahlt wird, und tritt längs der Ekliptik in Richtung des Tierkreises in Erscheinung. Es hat die Form eines schwachen Lichtkegels und wird auf Aufnahmen mit mehreren Minuten Belichtungszeit sichtbar. Am deutlichsten tritt das Phänomen im Osten vor Sonnenaufgang und im Westen nach Sonnenuntergang auf, allerdings nur, wenn es keinerlei Lichtverschmutzung gibt. Die besten Orte, das Zodiakallicht zu beobachten, befinden sich in den Wüsten Afrikas, Südamerikas und Australiens. Das Zodiakallicht in Westeuropa zu Gesicht zu bekommen, grenzt dagegen fast schon an ein Wunder ...





Der Komet C/2011 L<sub>4</sub> (PANSTARRS), mit einem 135 mm-Objektiv bei einer Belichtungszeit von 2 Sekunden unterhalb eines noch sehr dünnen zunehmenden Mondes aufgenommen, war im Abendlicht des 13. März 2013 mit dem bloßen Auge kaum erkennbar.



Konzentrische Sternspuren um den Himmelssüdpol, aufgenommen in Indonesien mit einer Canon 6D, einem 24 mm-Objektiv und einer Belichtungsdauer von insgesamt 5 Stunden.



## Kometen

Helle, aber dafür seltene Kometen wie Hale-Bopp, der 1997 an der Erde vorbeiflog, sind mit Belichtungszeiten von mehreren Sekunden einfach zu fotografieren. Weniger helle Kometen sind von dunklen Orten aus zwar immer noch mit dem bloßen Auge erkennbar, erscheinen aber auf Fotos, die nach den oben beschriebenen Methoden aufgenommen werden, als kleine verwischte Flecken.

## Sternspuren

Mithilfe eines Weitwinkelobjektivs kann man sich die Erdrotation zunutze machen, um die Bewegung des Himmelsgewölbes auf die Spitze zu treiben und die Schönheit der Sternspuren um den Himmelspol herum zu zeigen. Der Winkel der Rotation der Sternspuren um den Himmelspol ist proportional zur gesamten Belichtungszeit:  $15^\circ$  pro Stunde ergibt eine Viertelumdrehung in 6 Stunden und eine vollständige Umrundung in 24 Stunden. Ein etwas ungewöhnlicheres Bild erhält man, wenn man die Kamera auf eine andere Himmelsregion wie etwa den Himmelsäquator richtet.

Die Kamera muss für Langzeitbelichtungen geeignet sein: Die Verwendung einer Spiegelreflexkamera bietet sich hier an. Aus verschiedenen Gründen kann man die Sternspuren nicht viele Minuten oder gar Stunden lang belichten, um sie auf einer Einzelaufnahme zu verewigen: Das Foto wäre komplett überbelichtet, selbst wenn der Aufnahmeort von der Lichtverschmutzung verschont geblieben ist. Stattdessen müssen die Bilder aufeinanderfolgend in mehreren Intervallen mit einer Dauer von jeweils einigen Dutzend Sekunden aufgenommen werden. Meiner Erfahrung nach sollte die Zeit zwischen den Einzelaufnahmen so kurz wie möglich sein (im Idealfall eine Sekunde); andernfalls ziehen sich die Sternspuren nicht durch. Ein Intervalometer hilft dabei, die Zeiten zwischen den Aufnahmen zu steuern (siehe nächstes Kapitel), und erweist sich daher als unverzichtbar.

Vor Beginn der Aufnahmeserie muss man die grundlegenden Einstellungen auswählen. Da in diesem Fall keine schwach leuchtenden Objekte wie die Milchstraße aufgezeichnet werden müssen, können wir die Objektiveblende etwas schließen, sodass die Abbildung der Sterne am Bildrand verbessert und die Vignettierung reduziert wird. Im Hinblick auf die Nachbearbeitung (siehe weiter unten) muss bei der Einstellung der Belichtungszeit und der ISO-Empfindlichkeit berücksichtigt werden, dass das Endergebnis genauso aussehen soll wie eine Einzelauf-



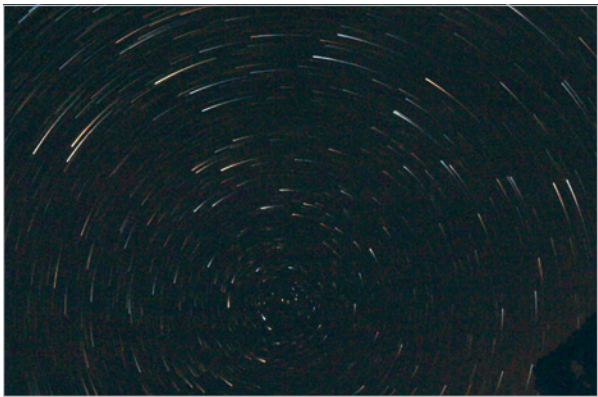
*Auf den Himmelsäquator zentrierte Sternspuren, aufgenommen auf der Südhalbkugel in Afrika (Angola) mit einer DSLR mit APS-C-Sensor und einem 16 mm-Weitwinkelobjektiv. Die Kamera wurde nach Osten gerichtet, um die aufgehenden Sterne und ihre Rotation um den Himmelssüdpol (rechts vom Bild) und den Himmelsnordpol (links vom Bild unter dem Horizont) einfangen zu können. Das zarte Leuchten in der Mitte des Bildes stammt vom Zodiakallicht.*

nahme, was die Menge der Sterne und die Helligkeit des Himmelshintergrunds betrifft. Der einzige Unterschied ist die Länge der Sternstriche, die sich mit steigender Anzahl der miteinander kombinierten Aufnahmen erhöht. Durch die kürzere Belichtungszeit jeder Einzelaufnahme sollen die Helligkeit des Himmelshintergrunds und die heißen Pixel in Grenzen gehalten werden.

Hinsichtlich der Aufnahmedauer gibt es noch zwei Probleme, die man bedenken muss: Taubildung auf den Linsen und die Akkulaufzeit. Der Akku muss lange genug durchhalten, um die gesamte Belichtungszeit zu überstehen, da man die Serie zwischendurch nicht unterbrechen kann, um ihn zu wechseln. Da sich die Akkuleistung bei tieferen Temperaturen oft drastisch verringert, ist es ratsam, Testläufe zu machen und eine zusätzliche Spannungsquelle wie einen Batteriegriff oder sogar ein Netzteil für die Kamera zu besorgen.

Bei der Nachbearbeitung werden alle aufgenommenen Fotos miteinander kombiniert. Die einfachste Methode ist die Entwicklung aller Bilder mit denselben Einstellungen (wenn sie im RAW-Format aufgenommen wurden) und

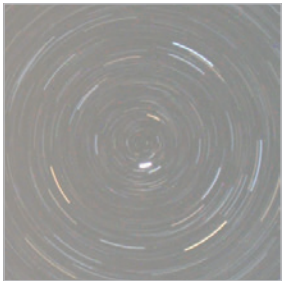




Dieses Bild zeigt abgedunkelte Sternspuren, da sich auf der Frontlinse des Objektivs Tau gebildet hatte.



An einem Objektiv befestigter Handwärmer (links). Das hier gezeigte Modell ist wieder-  
verwendbar: Nach einigen Minuten in kochendem Wasser ist es wieder einsatzbereit.  
Für astronomische Instrumente gibt es auch kleine Heizmanschetten (rechts).



Bei einer Zusammenfügung der Ebenen mit der Füllmethode »Negativ multiplizieren« verlieren sich die Sternspuren in einem immer heller werdenden Himmel im Hintergrund (oben). Mit der Füllmethode »Aufhellen« (unten) wird dieser störende Effekt vermieden.

die Kombination der Fotos als Ebenen. Die Füllmethode dieser Ebenen muss auf »Aufhellen« gestellt werden. Danach werden alle Ebenen zusammengefügt. Wenn die Kamera während der Aufnahmeserie absolut ruhig gestanden hat und die Einzelaufnahmen mit minimalen Unterbrechungen aufeinanderfolgten, verbinden sich die Bögen der Sternspuren auf sehr ästhetische Weise. Falls Sie sehr viele Bilder aufgenommen haben (Dutzende oder sogar Hunderte), können Sie sie auch in kleinen Gruppen zusammenfügen, beispielsweise 150 Aufnahmen in 15 Gruppen à 10 Fotos. Anschließend werden die resultierenden 15 Fotos ebenfalls nach der gleichen Methode als Ebenen miteinander kombiniert.

Zur direkten Kombination ganzer Aufnahmeserien von Sternspuren gibt es auch eine Reihe von Spezialprogrammen, beispielsweise StarMax und StarStaX.

Meteore (Sternschnuppen)

Sternschnuppen, also jene kleinen Lichtstreifen, die durch interplanetarische Staubpartikel beim Eintritt in die Erdatmosphäre verursacht werden, sind ein äußerst flüchtiges Phänomen. Die Erscheinung dauert nur Sekundenbruchteile, und doch erfordert ein Foto einer einzigen Sternschnuppe mehrere Aufnahmen, die etliche Minuten dauern können. Richtet man erst dann die Kamera auf den Himmel, wenn sich der Meteor am Himmel zeigt, kann man nicht mehr schnell genug reagieren. Die Lösung besteht darin, ein Weitwinkelobjektiv zu verwenden, so lange wie möglich zu belichten und zu hoffen, dass ein Meteor mitspielt, der im richtigen Moment das Blickfeld kreuzt. Sternschnuppen fotografiert man also auf dieselbe

TAU AUF DER FRONTLINSE VERMEIDEN

Wird ein Objektiv bei Nacht längere Zeit auf den Himmel gerichtet, so beschlägt unweigerlich in weniger als einer Stunde die Frontlinse der Optik. In feuchter Umgebung geschieht das schon nach wenigen Minuten. Mit der Sonnenblende des Objektivs lässt sich dieses Phänomen ein wenig hinauszögern, aber nicht ganz vermeiden. Die beste Lösung besteht darin, die Frontlinse des Objektivs ein klein wenig zu erwärmen. Ein Handwärmer, der mit Gummibändern oder Klettband am Objektiv befestigt wird, kann die Taubildung über mehrere Stunden verhindern. Solche Handwärmer sind im Sport- oder Outdoor-Handel erhältlich. Der kanadische Astronomiezubehör-Hersteller Kendrick bietet auch Heizmanschetten unterschiedlicher Länge für astronomische Instrumente an. Diese Heizmanschetten werden an ein 12-Volt-Steuergerät angeschlossen, sodass die abgegebene Leistung auf das notwendige Minimum beschränkt werden kann.

Meteorströme	Radiant	Maximum
Quadrantiden	Bärenhüter	3. Januar
Eta-Aquariiden	Wassermann	5. Mai
Perseiden	Perseus	12. August
Orioniden	Orion	20. Oktober
Leoniden	Löwe	17. November
Geminiden	Zwillinge	14. Dezember

Einige auffällige Meteorströme. Die Beobachtungszeit erstreckt sich über einen Zeitraum von mehreren Tagen vor und nach dem angegebenen Datum.