



Eine Planetenansammlung im Mai 2002 über dem Versailler Schloss, mit einer Bridgekamera bei 1 Sekunde Belichtungszeit mit 35 mm Weitwinkel- (links) bzw. 140 mm Teleeinstellung (rechts, Bildausschnitt) fotografiert. Venus und Mars gesellen sich zu der dünnen Mondsichel und der Jupiter ist in der oberen linken Bildecke zu sehen. Mehrere Sterne aus den Sternbildern Fuhrmann (Auriga) und Stier (Taurus) sind ebenfalls zu erkennen.

von Blende und Belichtungszeit abhängt. Eine höhere ISO-Einstellung ergibt auf dem Bildschirm ein helleres Bild, da das Signal innerhalb der Kamera und mit ihm das Bildrauschen lediglich verstärkt wird. Im Anhang 7 dieses Buches wird beschrieben, wie man die optimale ISO-Einstellung einer jeden DSLR bestimmt. Meiden Sie den automatischen Weißabgleich, da die Farben dann nicht vorhersehbar sind. Wählen Sie stattdessen die Einstellung für Tageslicht bzw. Sonne, was einer Farbtemperatur von 5500 K (Kelvin) entspricht. Wenn Sie bei äußerst starker Lichtverschmutzung fotografieren, können Sie versuchen, die Einstellung für Glühlampen bzw. Kunstlicht (3000 K bis 4000 K) zu verwenden, um die rötliche Einfärbung des Himmels zu reduzieren. Der Nachteil dieser Einstellung ist, dass sie den Sternen und der Milchstraße einen bläulichen Farbstich gibt. Die Sterne sollten in der Regel weiß erscheinen und die Milchstraße in einigen dichten Bereichen ein Hauch von Gelb oder Rot aufweisen. Bedenken Sie, dass, wenn Sie im RAW-Format fotografieren, die Einstellung des Weißabgleichs keinen Einfluss auf den eigentlichen Inhalt der RAW-Datei hat. Sie können ihn bei der Konvertierung der RAW-Datei in ein Farbbild noch ändern.

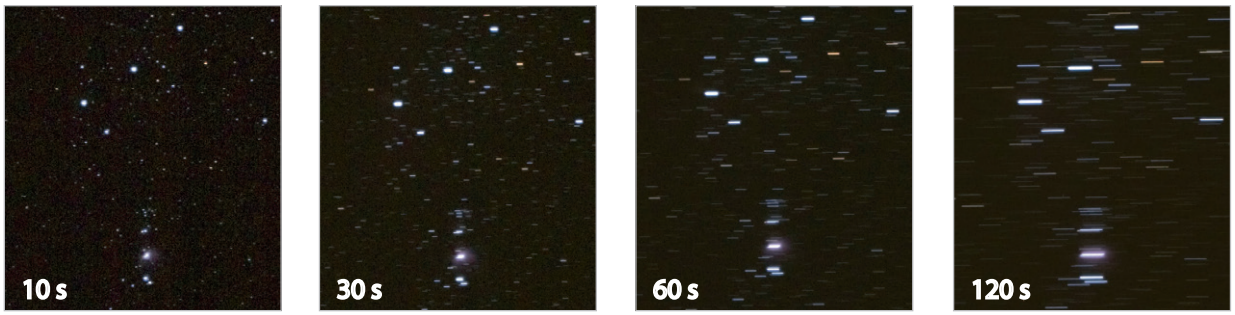
Einer der Vorteile der digitalen Technik bei der Astrofotografie ist, dass Sie so viele Bilder aufnehmen können, wie Sie wollen, und sich diese gleich nach der Belichtung auf dem LCD-Display der Kamera begutachten lassen. Sie können ganz einfach Bildausschnitt, Fokussierung und Belichtung anpassen, bis Sie die besten Einstellungen gefunden haben. Berücksichtigen Sie, dass das Bild auf einem LCD-Display in dunkler Umgebung sehr geschönt wirken kann. Die Objekte sehen unter diesen Bedingungen häufig heller, schärfer und kontrastreicher aus als das Bild, welches Sie später auf Ihrem Computermonitor sehen.

Astronomische Motive

Planetenkonjunktionen

Manchmal sieht man mit dem bloßen Auge mehrere Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn) und meint, dass sie im gleichen Bereich des Himmels eng zusammen mit dem Mond und hellen Sternen stehen. Dieser Eindruck ist jedoch oftmals nur die Folge unserer Perspektive – die tatsächlichen Entfernungen von der Erde und die Abstände zwischen ihnen weichen stark voneinander ab. Solche Gruppierungen sind sehr einladend 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 über die Winkelabstände zwischen den Himmelskörpern, wodurch man vorher festlegen kann, welche Brennweite man verwendet (vgl. dazu Tabelle auf Seite 3). Wählen Sie den Bildausschnitt für die Gruppe solcher Himmelskörper



Diese Großaufnahmen von Gürtel und Schwert des Orion entstanden mit zunehmenden Belichtungszeiten und demonstrieren die Bewegungsunschärfe infolge der Erdrotation.

nicht zu eng, weil ein Foto, das nur mehrere helle Punkte zeigt, den Maßstab schwer erahnen lässt. Der Betrachter würde nicht erkennen, ob das Foto mit einem Tele- oder einem Weitwinkelobjektiv aufgenommen wurde. Versuchen Sie stattdessen, einen gut gewählten Vordergrund in das Foto mit einzuschließen, etwa eine schöne Landschaft, ein Gebäude oder ein Denkmal. Eine schmale Mondsichel zusammen mit etwas Erdschein, zwei bis vier Tage vor oder nach Neumond, unterstreicht solche Fotos künstlerisch und vermittelt einen Eindruck vom Maßstab und den Winkelabständen zwischen den Planeten.

Sternbilder und die Milchstraße

Die meisten Sternbilder lassen sich mit einem 50 mm-Objektiv bei Verwendung von Kleinbildfilm oder Vollformatsensor (bzw. einem 35 mm-Objektiv in Verbindung mit einem APS-C-Sensor) vollständig abbilden. Das Fotografieren von Sternbildern mit einer feststehenden Kamera wird nur durch ein großes Problem kompliziert: Da sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, scheint es so, als ob sich das Himmelsgewölbe in die entgegengesetzte Richtung dreht. Anfänger der Astrofotografie sind stets überrascht von der Geschwindigkeit dieser Bewegung. Am Himmelsäquator beträgt sie immerhin 15 Bogensekunden pro Sekunde, was 1/2° 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° und 5″ pro Sekunde bei 70°.

Schauen wir noch einmal auf die Tabelle auf Seite 3 und schauen uns ein Beispiel für ein 20 mm-Objektiv auf einer DSLR mit APS-C-Sensor an. Der Bildwinkel beträgt 40° × 60°. Nehmen wir an, der Sensor enthält 16 Megapixel, so enthält das Bild 3300 × 5000 Pixel. Eine einfache Division zeigt uns, dass jedes Pixel einen Winkel von 60/5000 = 0,012°, 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 nur 4 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 zu werden, wird schnell klar, warum Belichtungszeiten, die über 15 Sekunden hinausgehen, mit solch einer Ausrüstung nicht sinnvoll sind. Glücklicherweise reicht eine solche Aufnahme aus, um die Milchstraße und alle mit dem bloßen Auge erkennbaren Sterne festzuhalten, vor allen Dingen 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 von der Größe des Ausschnitts ab, den man vom Himmel ablichten möchte, und davon, wie viel Bewegungsunschärfe man zulässt.

Für Aufnahmen von der Milchstraße sind ISO-Einstellungen zwischen 800 und 3200 üblich.

Mit Ausnahme der Finsternisse ist es für die Fotografie astronomischer Motive notwendig, sich von Städten und Straßenbeleuchtungen fernzuhalten. Anderenfalls werden die Sterne mit einem grünen oder orangefarbenen Schleier durchzogen, 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. Natürlich ist ein wolkenfreier Himmel ebenfalls sehr wichtig. Selbst ein leichter hoher Wolkenschleier wirkt sich sehr ungünstig auf die Astrofotografie aus.



Trotz des Vollmonds, der den Himmel hat blau erscheinen lassen, ist die Milchstraße, die hier von einem hellen Meteoriten durchkreuzt wurde, auf dieser Aufnahme mit 1 Minute Belichtungszeit zu sehen. Das Bild entstand mit einem 14 mm 1:2,8-Objektiv und digitalem Vollformatsensor über dem Wallaman-Wasserfall in Australien.

LICHTVERSCHMUTZUNG

Trotz der UNESCO-Erklärung, dass der Nachthimmel der ganzen Menschheit gehöre, werden die Plätze in Industrienationen, von denen aus man das Universum, durch das unserer Planet schwebt, in voller Pracht bewundern und fotografieren kann, immer rarer. Zwischen Straßenlampen, die mehr Licht in den Himmel als auf den Boden abgeben, permanent angestrahlten Gebäuden, Skybeamern und jeder Menge Leuchtreklame wird es immer schwieriger, sich dem Einflussbereich urbaner Beleuchtung zu entziehen. Das wichtigste Hilfsmittel für den Astronomen ist daher nicht das Teleskop, sondern das Auto!

Die Initiative International Dark Sky Association versucht weltweit Beleuchtungshersteller und Kommunen auf sinnvollere Beleuchtungslösungen aufmerksam zu machen, die für nachtaktive Tiere, Zugvögel, Astronomen und letztlich auch für die städtischen Kassen weniger schädlich sind. Die Initiative versucht auch zu verhindern, dass man den Begriff Milchstraße irgendwann nur noch aus Büchern kennt. Vereinzelt tragen die Bemühungen bereits Früchte, denn die Lösungen sind längst bekannt und müssen lediglich umgesetzt werden: Lichtquellen für dekorative Zwecke nachts abschalten, Straßenbeleuchtungen installieren, die ihr ganzes Licht auf den Boden richten, Einsatz von Bewegungsmeldern, die Lichtquellen nur dann aktivieren, wenn sie benötigt werden, und vieles mehr.



Selbst bei einer Belichtungszeit von 10 Sekunden kann die Lichtverschmutzung einer Stadt die Astrofotografie stark beeinträchtigen.





Das Canon 8–15 mm 1:4 Fisheye-Zoomobjektiv (links) und das preisgünstige Peleng 8 mm 1:3,5 Fisheye-Objektiv (rechts)



Eine 2-Minuten-Aufnahme des gesamten Südhimmels mit einem Fisheye-Objektiv. Die Magellanschen Wolken befinden sich in der Nähe des Horizonts (oben links).

Das Fisheye: ein einzigartiges Objektiv

Ein Fisheye-Objektiv hat eine sehr kurze Brennweite und ist so konstruiert, dass es das größtmögliche Bildfeld mit einer DSLR einfängt. Wenn man sie auf den Zenit richtet, produzieren die Gebräuchlichsten von ihnen mit einem Blickwinkel von 180° Bilder, die das gesamte Himmelsgewölbe inklusive des Horizonts abbilden. Je nach Charakteristik von Fisheye-Objektiv und Sensor passt dieses kreisrunde Bild auf die Ausmaße des Sensors oder 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 auf einem APS-C-Sensor ebenso den vollen Bildwinkel als Kreis abzubilden, 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. Mit diesen sehr kurzen Brennweiten sind Belichtungszeiten mit mehreren zehn Sekunden möglich, ohne dass die Sterne stark verwischen. Aufnahmen mit Fisheye-Objektiven sind allerdings besonders anfällig für Lichtverschmutzung, selbst wenn man kilometerweit von Städten entfernt ist. Auch schlägt sich leicht Feuchtigkeit auf der hervorstehenden Frontlinse nieder.



Der Komet C/2011 L4 (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.

Kometen

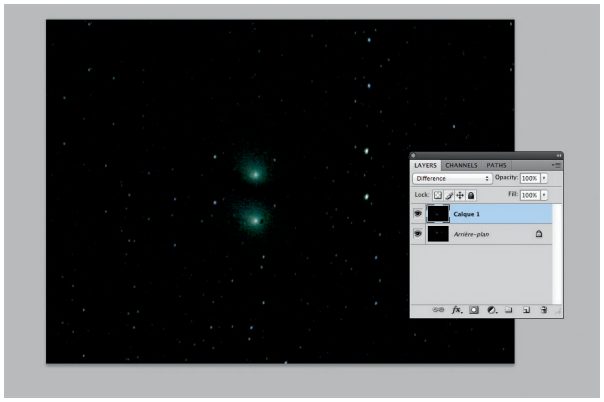
Hellere, aber dafür umso seltenere Kometen wie Hale-Bopp, der uns 1997 besuchte, sind mit Belichtungszeiten von mehreren Sekunden einfach zu fotografieren. Weniger helle Kometen sind von dunklen Orten aus immer noch mit dem bloßen Auge sichtbar und erscheinen mit den Aufnahmetechniken für Sternbilder, die wir im vorigen Abschnitt behandelt haben, als kleiner verwischter Fleck.

Verlängerung der Belichtungszeit

Um noch mehr Sterne auf das Bild zu bekommen und auch die Milchstraße besser abbilden zu können, muss man die Belichtungszeit weiter erhöhen. Um die Auswirkung der Erdrotation auszugleichen, besteht die beste Lösung darin, die Bewegung des Himmels mithilfe einer motorgesteuerten äquatorialen Montierung auszugleichen. Diese Technik wird im Kapitel 7 beschrieben.

Bei einer fest montierten Kamera besteht noch die Möglichkeit, mehrere Aufnahmen mit relativ kurzer Belichtungszeit miteinander zu kombinieren (zu stapeln, »stacking« genannt), um die Helligkeit einer längeren Belichtungszeit zu bekommen. Diese Technik funktioniert am besten ohne sichtbare Elemente der Landschaft, da diese nicht mehr dazu passen, nachdem man die Sterne zur Deckung gebracht hat. Ein Bild, das beispielsweise aus 20 aufeinanderfolgenden Belichtungen mit jeweils 15 Sekunden besteht, wird zwar nicht ganz so gut wie eine einzelne Aufnahme von 5 Minuten mit einem Nachführsystem, aber sehr viel besser als eine einzelne Aufnahme mit nur 15 Sekunden Belichtungszeit. Weil sich die Sterne zwischen den aufeinanderfolgenden Aufnahmen bereits wieder bewegt haben, ist es natürlich notwendig, vor der Vereinigung der Einzelaufnahmen diese korrekt in Deckung zu bringen. Dazu geht man in Bildverarbeitungsprogrammen wie Photoshop oder PaintShop Pro folgendermaßen vor:

1. Öffnen Sie das erste und zweite Bild der Aufnahmeserie und lassen sie sich in der 100 %-Ansicht anzeigen (1 Kamerapixel = 1 Bildschirmpixel). Liegen die Dateien im RAW-Format vor, öffnen Sie sie alle gleichzeitig und nehmen bei jeder Datei die gleichen Helligkeits- und Kontrasteinstellungen vor.
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«.



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

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 (ab Schritt 2) mit dem nächsten Bild der Aufnahmeserie, indem Sie es mittels Kopieren und Einfügen über das vorhandene Bild legen.
5. Zum Abschluss versehen Sie alle Ebenen mit der Füllmethode »Negativ multiplizieren« und reduzieren danach alle Ebenen auf eine einzige.

Je nach Bereich des Himmels und verwendetem Objektiv bei den Aufnahmen besteht das Übereinanderlegen der Einzelbilder aus Verschiebungen (horizontalen und vertikalen Bewegungen) oder Rotationen (die ganze Ebene dreht sich um einen Punkt). Im letzteren Fall muss die Drehung der jeweiligen Ebene vor der Verschiebung um einen Winkel stattfinden, den man durch Ausprobieren herausfinden muss. In Kapitel 7 werden wir sehen, dass die meisten 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.

Sternspuren

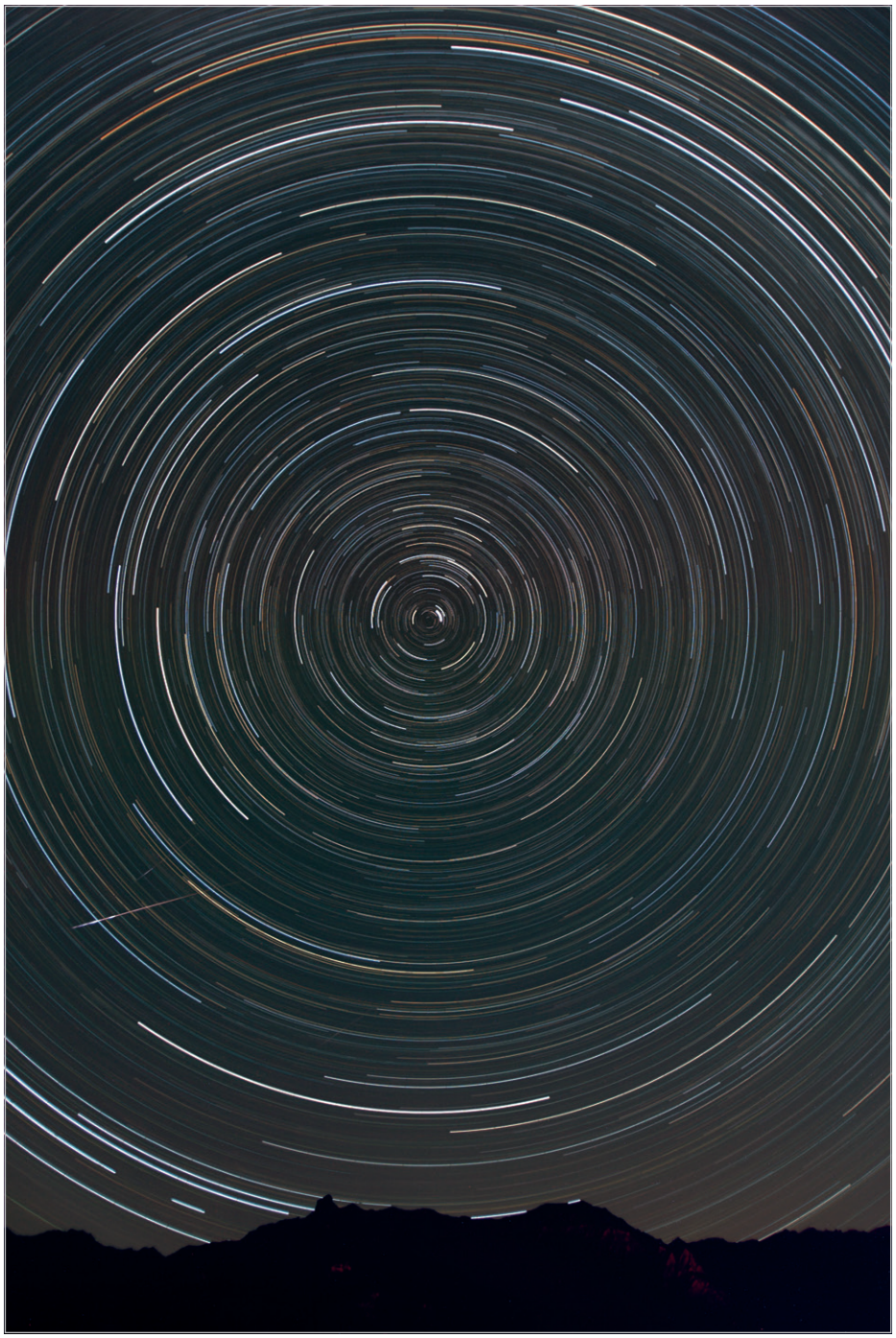
Mithilfe eines Weitwinkelobjektivs kann man sich manchmal die Erdrotation zunutze machen, um die Bewegung des Himmelsgewölbes auf die Spitze zu treiben und die ästhetische Schönheit der Sternspuren um den Himmelspol herum zu zeigen. Dafür muss die Belichtungszeit deutlich erhöht werden und kann bis zu mehrere Stunden betragen. Für diese Variante der Astrofotografie ist es äußerst wichtig, sich einen Aufnahmeort fern ab jeder Lichtverschmutzung zu suchen, da schon eine einzige Straßenlaterne das Bild verdirbt.

Die Kamera muss natürlich für solche Langzeitbelichtungen ausgelegt sein, sodass eigentlich nur DSLRs und spiegellose Systemkameras in Frage kommen. Doch auch eine sehr leistungsfähige Ausrüstung ist nicht frei von dem Problem aller digitalen Sensoren, das wir noch

*Das **Himmelsgewölbe** ist die scheinbare Fläche einer imaginären Kugel, auf der die Himmelskörper projiziert zu werden scheinen.*



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



Ein heller Perseiden-Meteor durchquert den Bereich dieser 4-Stunden-Aufnahme (acht Fotos mit je 30 Minuten Belichtungszeit), die auf den nördlichen Himmelspol ausgerichtet ist.

TAU AUF DER LINSE VERMEIDEN

In den meisten Regionen kann sich in weniger als einer Stunde auf der Frontlinse des Objektivs Tau absetzen. Eine Schutzkappe über dem Objektiv kann die Taubildung zwar etwas verschieben, was in der Regel aber nicht ausreicht. Die Lösung besteht darin, die Frontlinse aktiv zu erwärmen. Eine einfache Möglichkeit, auf diese Weise die Taubildung für mehrere Stunden zu verhindern, sind Handwärmer, wie man sie Sport- oder Outdoor-Handel bekommt, die man mit einem Gummi- oder Klettband am Objektiv befestigt. Vom Astronomiezubehör-Hersteller Kendrick sind spezielle Heizungen unterschiedlicher Länge zur Tauverhütung bei Teleskopen, Okularen, Objektiven usw. erhältlich.

ausführlich in den kommenden Kapiteln besprechen werden: das thermische Signal, auch thermisches Rauschen genannt. Es äußert sich in Form heller, farbiger Punkte, die sich statistisch im Bild verteilen, die berühmten *heißen Pixel* (hot pixels). Heiße Pixel werden mit zunehmender Belichtungszeit stärker sichtbar, sodass man statt einer einzigen Aufnahme über mehrere Stunden besser eine Reihe von Fotos macht, bei der die Belichtungszeiten der Einzelaufnahmen zwischen einer und mehrerer Minuten liegen. Dies hilft auch, das Niveau des Grundsignals zu senken, da sogar an einem sehr dunklen Aufnahmeort die Atmosphäre selbst ein wenig Licht abgibt. Die Einzelaufnahmen der Fotoserie können später am Computer mit der auf Seite 13 beschriebenen Methode vereinigt werden. Die ISO-Einstellung braucht nicht ganz so hoch zu sein wie beim Fotografieren der Milchstraße.

Viele DSLRs bieten eine Rauschunterdrückungsfunktion bei langen Belichtungszeiten. Die Kamera macht dann nach jeder Langzeitbelichtung eine zweite Aufnahme mit der gleichen Belichtungszeit und öffnet dabei den Verschluss nicht, um dadurch die heißen Pixel zu reproduzieren. Diese zweite Aufnahme wird dann anschließend von der ersten automatisch abgezogen bevor die Kamera die Datei auf die Speicherkarte schreibt. Dies ist der Grund, weshalb die Kamera bei einer einminütigen Belichtungszeit zwei Minuten beschäftigt ist. Obwohl die Rauschunterdrückung für Langzeitbelichtungen bei Sternbildern und Kometen anzuraten ist, muss sie bei Serienaufnahmen von Sternspuren inaktiviert werden, da sonst zwischen den Einzelaufnahmen zu große Lücken entstehen



Dieses Bild zeigt abgedunkelte Sternspuren, da sich auf dem Objektiv Tau gebildet hatte.





An einem Objektiv befestigter Handwärmer (links). Der hier gezeigte Handwärmer ist wiederverwendbar, da er in ein paar Minuten mit kochendem Wasser reaktiviert werden kann. Für astronomische Instrumente gibt es auch kleine Heizringe (rechts).

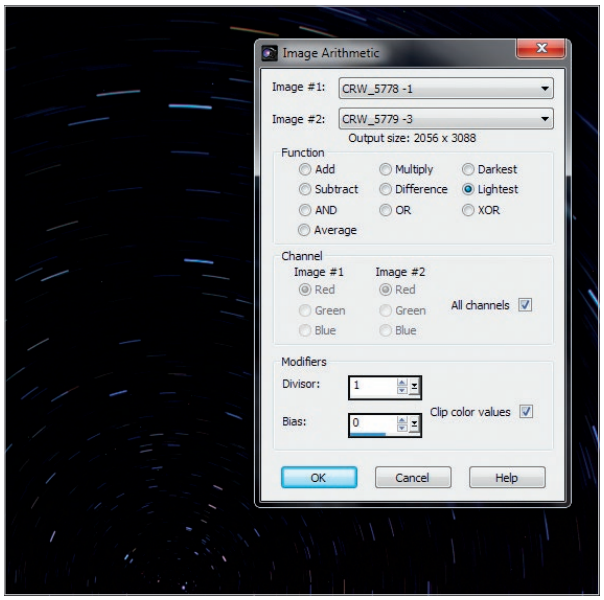
würden. Die Zeit zwischen jeder Einzelaufnahme sollte eine oder zwei Sekunden nicht überschreiten, damit sich die Sternspuren durchziehen. Ein Intervalometer hilft dabei, die Zeiten zwischen den Aufnahmen sehr kurz zu halten, und arbeitet, ohne dass man die Kamera zwischendurch berühren muss. Schließlich muss sie während der gesamten Aufnahmesequenz völlig stillstehen.

Die beste Lösung, die heißen Pixel bei Bildern mit Sternspuren herauszurechnen, ist die, nach der Aufnahmeserie mit der gleichen Belichtungszeit eine weitere Aufnahme zu machen, bei der man den Objektivdeckel auf dem Objektiv lässt. Dieses Dunkelbild (»darkframe«, in Kapitel 3 ausführlicher erläutert) muss in der gleichen Umgebungstemperatur wie die Aufnahmeserie gemacht werden, d.h., dass die Kamera noch draußen sein muss. Wie später noch weiter erklärt, muss dieses Dunkelbild von jedem Einzelbild der Aufnahmeserie abgezogen werden, um die heißen Pixel zu korrigieren.

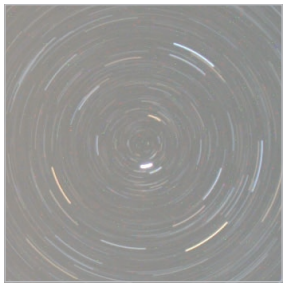
Für ein erfolgreiches Endresultat ist eine sorgsame Auswahl des Ausschnitts entscheidend. Viele Fotografen richten ihre Kamera für Sternspuren zum Himmelspol, der sich auf der Nordhalbkugel in der Nähe des Polarsterns befindet. Doch vor allem wenn man etwas hübschen Vordergrund wie etwa einen Berg, das Meer oder einen Wald hat, muss man den Himmelspol nicht unbedingt in der Mitte des Bildes platzieren. Der Winkel der Rotation der Sternspuren um den Himmelspol ist proportional zur gesamten Belichtungszeit: 15° pro Stunde ergibt eine Viertelumdrehung in 6 Stunden und eine vollständige Umrundung in 24 Stunden. Ein etwas ungewöhnlicheres Bild erhält man, indem man die Kamera auf eine andere Himmelsregion wie etwa den Himmelsäquator richtet.

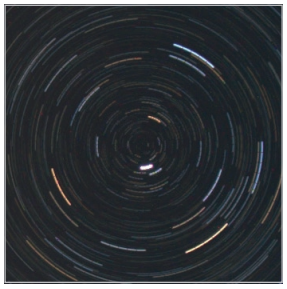
Hinsichtlich der Aufnahmedauer gibt es noch zwei Probleme, um die man sich kümmern muss: Taubildung auf den Linsen und die Akkulaufzeit. Der Akku muss lange genug durchhalten, um die gesamte Aufnahmedauer zu überstehen, da man seine Fotos zwischendurch nicht unterbrechen kann, um ihn zu wechseln. Da der Akku bei tieferen Temperaturen nicht so lange hält, ist es ratsam, in einer für Astrofotografie ungeeigneten bewölkten Nacht Testläufe zu machen. Es kann ratsam sein, sich für seine Kamera eine zusätzliche Spannungsquelle wie einen Batteriegriff oder gar ein Netzteil zu besorgen.

Bei den Langzeitbelichtungen, bei denen man nicht die Rauschunterdrückung der Kamera oder ein Dunkelbild einsetzt, muss man die heißen Pixel mit einer Software eliminieren, bevor man seine Aufnahmeserie zusammensetzt. Wenn es nicht allzu viele heiße Pixel gibt, kann man sie auch mit dem Stempelwerkzeug entfernen, mit dem sich ebenfalls sehr gut Flugzeuge und Satellitenspuren auslöschen lassen. Wenn man jedoch ein Dunkelbild aufgenommen hat, kann man es mit einer weiteren Funktion, die es in den meisten Bildbearbeitungsprogrammen gibt, herausrechnen. In Photoshop geht man dazu im Menü *Bild* auf *Bildberechnungen* und wählt die Füllmethode *Subtrahieren*. In PaintShop Pro geht man entsprechend im Menü *Bild* auf *Berechnung*. Nachdem man sein Dunkelbild von jedem Einzelbild der Aufnahmeserie subtrahiert hat, kombiniert man das erste Bild mit dem zweiten, das zweite mit dem dritten usw. Man kann den Vorgang genauso wie



Heiße Pixel lassen sich eliminieren, indem man ein Dunkelbild, das die gleichen heißen Pixel enthält wie die Aufnahmeserie, von jedem Einzelbild subtrahiert.





Wenn man die Einzelbilder einer Aufnahmeserie lediglich übereinanderlegt, werden die Sternspuren aufgrund der Helligkeit des Hintergrunds mit dem Himmel immer schwächer (links). Durch die Füllmethode Aufhellen *kann man dieses Problem lösen (rechts).*

vorher beschrieben durchführen, benutzt aber in Photoshop die Füllmethode *Aufhellen* bzw. in PaintShop Pro eine *Funktion* namens *Hellstes*. Durch dieses Verfahren wird das Ergebnis sehr viel gefälliger als bei bloßem Übereinanderlegen der Bilder. Wenn die Kamera während der Aufnahmeserie absolut stillgestanden hat und die Einzelaufnahmen mit minimalen Unterbrechungen aufeinanderfolgten, verbinden sich die Bögen der Sternspuren sehr schön. Zur Kombination solcher Aufnahmeserien für Bilder von Sternspuren gibt es auch eine Reihe kostenloser Programme.

Meteore (Sternschnuppen)

Meteore, also jene kleinen Lichtstreifen, die durch interplanetarische Staubpartikel beim Eintritt in die Erdatmosphäre verursacht werden, machen sich sprichwörtlich schnell aus dem Staub. Obgleich diese Meteore nur Sekundenbruchteile überdauern, erfordert deren Fotografie stundenlange Geduld und auch ein wenig Glück. Wenn man erst beim Auftreten eines Meteors die Kamera gen Himmel zu richtet, 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 durch das Blickfeld kreuzt. Aus diesem Grund wendet man die gleiche Technik an wie bei der Fotografie von Sternspuren.

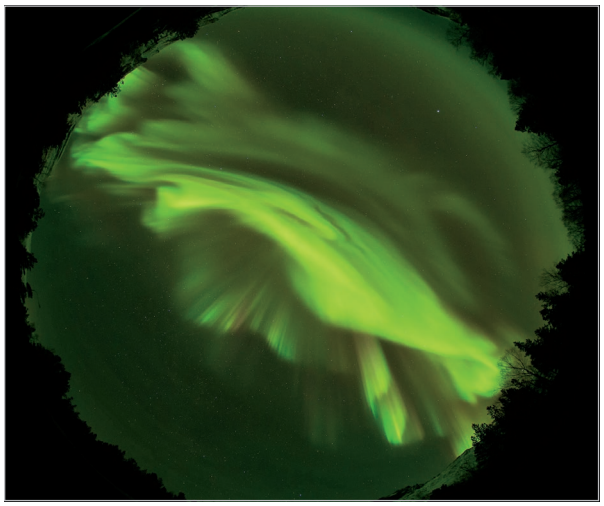
Wie bei den Sternspuren muss man auch hier einen Aufnahmeort ohne Lichtverschmutzung (einschließlich des Mondlichts) aussuchen. Die für das bloße Auge gerade noch erkennbaren lichtschwächsten Meteore sind zu flüchtig, um auf einem Foto eine Spur zu hinterlassen. Für die Chance, eine schöne Spur eines hellen Meteors einzufangen, muss man bei größter Blendenöffnung mehrere Minuten belichten. Am meisten Glück hat man bei den sogenannten Meteorschauern. Von denen ereignen sich jedes Jahr mehrere zu jeweils festen Terminen, wenngleich ihre Intensität von Jahr zu Jahr variieren kann. In der Tabelle in Anhang 8 sind die Meteorschauer aufgelistet, die am vorhersagbarsten sind. Jeder Meteorschauer hat seinen eigenen Radianten, also ein Sternbild, aus dem die Meteore zu kommen scheinen. Doch die Wahrscheinlichkeit ist genauso hoch, Meteore in einem anderen Teil des Himmels zu sichten, sodass man seine Kamera in jede Richtung richten kann.

Zodiakallicht

Das Zodiakallicht wird durch interplanetarischen Staub verursacht, der sich hauptsächlich in der Ekliptikebene befindet und durch die Sonne angestrahlt wird. Es hat die Form einer riesigen Spindel sehr schwachen Lichts und wird auf Aufnahmen mit mehreren Minuten Belichtungszeit sichtbar. Am deutlichsten tritt es im Osten in den ersten ein bis zwei Stunden vor Sonnenuntergang und im Westen ein bis zwei Stunden nach Sonnenuntergang auf, allerdings nur, wenn es keinerlei Lichtverschmutzung gibt. Die besten Orte, das Zodiakallicht zu sehen, befinden sich in den Wüsten Afrikas, Südamerikas und Australiens. Das Zodiakallicht in Industrienationen zu Gesicht zu bekommen, entspricht mehr einer Wunschvorstellung als der Realität.

Polarlichter

Die in den Polregionen der Erde sichtbaren Polarlichter entstehen durch Anregung der Atome in der oberen Atmosphäre infolge schnell beweglicher Partikel, die durch solare Ereignisse wie Eruptionen und koronale Masseauswürfe erzeugt werden. Sobald diese Partikel die Erde erreichen, werden sie durch das Erdmagnetfeld kanalisiert. Die Lichter sind in Breitengraden über 60°, vor allem in Nordskandinavien, Island, Alaska und Kanada zu sehen und treten zur Tag-und-Nacht-Gleiche etwas häufiger auf. Die Polarlichter sehen aus wie Tücher oder Flecken aus



Der Himmel über Skibotn in Norwegen erstrahlte im Oktober 2014 mit Polarlichtern. Dieses Bild entstand mit einer Belichtungszeit von 4 Sekunden und einem Fisheye-Objektiv.

Licht und halten sich für wenige Sekunden bis zu mehreren Stunden. Normalerweise sind sie grün (durch ionisierten Sauerstoff), manchmal aber auch rot (Stickstoff und Sauerstoff). Innerhalb weniger Sekunden lassen sich sehr hübsche Weitwinkelaufnahmen machen. Belichtungszeiten von mehr als 30 Sekunden sind nur selten nötig. Auf der Spaceweather-Website (www.spaceweather.com) findet man Informationen über die aktuellen solaren Ereignisse und neben Polarlichtvorhersagen und Warnhinweisen auch eine Fotogalerie mit Polarlichtern.

(Deutsch z. B. http://www.polarlicht-vorhersage.de/ und siehe auch Polarlichtforum: http://forum.meteoros.de/viewforum.php?f=1)

Mond- und Sonnenfinsternisse

Mond- und Sonnenfinsternisse (eingehender in den Kapiteln 5 und 7 beschrieben) sind gute Motive für fest montierte Kameras, doch machen sie mitunter Schutzvorrichtungen, wie Filter während der partiellen Phasen einer Sonnenfinsternis, absolut notwendig. Wie schon gesagt, braucht man ein Teleobjektiv, um ein ausreichend großes Bild der Mond- oder Sonnenscheibe zu bekommen und



Eine weitere Polarlichtsichtung, festgehalten mit einem 14 mm-Objektiv.



Eine partielle Mondfinsternis, am 21. Dezember 2010 mit einem 135 mm-Objektiv auf einer DSLR mit Vollformatsensor und einer Belichtungszeit von 1 Sekunde auf Mont Saint-Michel in Frankreich aufgenommen



Eine totale Sonnenfinsternis am 21. Juni 2001 in Angola. Da sich dieser Ort auf der Südhalbkugel befindet, begann die Sonnenfinsternis rechts und endete links. Wie man solche Sequenzen einer Finsternis (Perlenschnüre) aufnimmt, ist im Anhang 6 beschrieben.



Eine partielle Sonnenfinsternis, aufgenommen mit einem 300 mm-Objektiv, einer speziellen Filterfolie und einer DSLR. Das Bild wurde mit 1/4000 Sekunde, Blende 4 und ISO 100 fotografiert.



Jedes Loch dieses Siebs, das mehrere Dezimeter hoch über ein Blatt weißen Papiers gehalten wurde, erzeugt ein kleines Bild der partiell verfinsterten Sonne (Lochkamera-Effekt).

ein paar Details ausmachen zu können. In den partiellen Phasen einer Mondfinsternis reichen kurze Belichtungszeiten von etwa 1/1000 Sekunde aus. Um den Erdschein während der totalen Mondfinsternis zu zeigen, ist eine Belichtungszeit von einer bis zu mehreren Sekunden nötig, doch muss man darauf achten, dass die Bewegung des Mondes (etwa 15″ pro Sekunde) keine Bewegungsunschärfe verursacht, die mehr als ein paar Pixel beträgt. Die dazu maximal zulässige Belichtungszeit können Sie, wie schon in der Tabelle auf Seite 3 beschrieben, auch auf die Fotografie des Erdscheins anwenden.

Um eine partielle, eine ringförmige oder die partiellen Phasen einer totalen Sonnenfinsternis zu fotografieren, muss man einen Sonnenfilter sicher vor dem Objektiv befestigen. Vor der Sonnenfinsternis kann man bei Tageslicht experimentieren, um die richtigen Belichtungszeiten herauszufinden und unangenehme Überraschungen nach Ende der Sonnenfinsternis zu vermeiden. Bei Verwendung eines Teleobjektivs kann die Belichtungszeit bei einer totalen Sonnenfinsternis stark variieren, je nachdem, welchen Bereich der Sonnenkorona man auswählt (siehe Kapitel 6 für weitere Einzelheiten), doch auch hier kann die Erdrotation die maximale Belichtungszeit beschränken. Wie sonst auch bei einem Weitwinkelobjektiv können Fotos, die Menschen und Landschaften mit in das Bild nehmen, hervorragend wirken. Vergessen Sie nicht, vor Eintritt der totalen Finsternis den Sonnenfilter abzunehmen und ihn nach deren Ende sofort wieder zu montieren!

Künstliche Satelliten

Die meisten künstlichen Satelliten lassen sich in zwei Gruppen aufteilen: die der niedrigen Erdumlaufbahn und die geostationären Satelliten.

Die Satelliten der niedrigen Umlaufbahn kreisen in einer Höhe von wenigen Hundert Kilometern. Für eine Erdumrundung benötigen sie etwa 90 Minuten. Wenn sie von der Sonne kurz vor deren Auf- oder nach deren Untergang angestrahlt werden, sind sie mit bloßem Auge sichtbar. Ihre scheinbare Geschwindigkeit am Himmel entspricht in etwa der von Flugzeugen in großer Höhe (etwa 1°/s). Flugzeuge erkennt man natürlich an ihren blinkenden Lichtern. Sowohl Satelliten als auch Flugzeuge verursachen auf Langzeitbelichtungen meist Streifen, die abgebrochen werden, sobald das Objekt in den Erdschatten tritt.

Die Internationale Raumstation (ISS)

Die ISS umkreist die Erde in etwa 400 km Höhe und ist von der Helligkeit her mit der Venus vergleichbar. Ihre Umlaufbahn steht in einem Winkel von 51,6° zum Äquator und ist von allen Orten der Erde unterhalb des 60. Breitengrades sichtbar. Mit einer scheinbaren Geschwindigkeit von 1,2° pro Sekunde am Zenit überkreuzt die ISS in wenigen Minuten den Himmel von Westen nach Osten und wird sichtbar, wenn die Sonne weniger als 20° unter dem Horizont steht. Je nach Tiefe der Dämmerung kann sie abends vor Erreichen des Horizonts im Erdschatten verschwinden. Ebenso kann sie im Morgengrauen aus dem Erdschatten heraus auftauchen. Die Daten und Zeitpunkte der ISS-Transite kann man für seinen Aufenthaltsort auf den Webseiten CalSky (www.calsky.com) und Heavens-Above (www.heavens-above.com) abrufen.

Den Überflug der ISS fotografiert man am besten auf einem weiten, offenen Feld. Man stellt dazu eine Belichtungszeit von etwa 2–10 Sekunden ein, montiert seine Kamera auf einem Stativ und verwendet ein Weitwinkelobjektiv. Dazu fokussiert man auf einen hellen Stern, einen Planeten oder auch eine weit entfernte Straßenlaterne und richtet seine Kamera auf denjenigen Bereich des Himmels, den die Website mit den Berechnungen angegeben hat. Dabei mache man sich darauf gefasst, in letzter Minute doch noch seine Position anpassen zu müssen!

Sunday 9 February 2014

Time (24-hour clock)	Object (Link)	Event
19h18m57s	ISS →Ground track →Star chart	Appears 19h13m40s 2.0mag az:233.8° SW horizon at Meridian 19h18m35s -3.5mag az:180.0° S h:49.6° Culmination 19h18m57s -3.9mag az:151.7° SSE h:53.3° distance: 496.8km height above Earth: 405.1km elevation of Sun: -13° angular velocity: 0.86°/s Disappears 19h20m36s -3.1mag az: 83.9° E h:24.5°
20h53m08s	ISS →Ground track →Star chart	Appears 20h50m01s 1.9mag az:266.8° W horizon Disappears 20h53m08s -0.6mag az:277.3° W h:18.2°

Nachdem man auf der Homepage CalSky *unter* Satelliten *auf* Inter. Raumstation ISS *geklickt hat, werden alle sichtbaren Transite von einem bestimmten Aufenthaltsort inklusive ihrer wichtigsten Daten (gelb markiert) aufgeführt: Zeitpunkt, Richtung, Eintrittshöhe, Kulminationspunkt und Verschwinden sowie die Position der Sonne unterhalb des Horizonts. Für das Datum dieser Tabelle wurden zwei Transite berechnet. Während des zweiten verschwindet die ISS schnell wieder im Erdschatten. Klicken Sie im sogenannten* Satelliten-Menü *auf* Sternkarte *und lassen sich den Weg der ISS zwischen den Sternbildern zeigen. Die Website von Heavens-Above zeigt ähnliche Informationen über die Transite.*

Iridium-Flares

Die bemerkenswerten Iridium-Telekommunikationssatelliten, von denen es etwa 100 gibt, befinden sich in einer niedrigen Umlaufbahn von etwa 780 km Höhe. Durch ihre polare Umlaufbahn können sie von jedem Ort der Erde gesichtet werden, wobei sie am Zenit eine scheinbare Geschwindigkeit von 0,5° pro Sekunde erreichen. Wenn ihre flachen Antennen korrekt ausgerichtet sind, reflektieren sie das Sonnenlicht direkt zum Betrachter. Dieser kurze Moment der Reflexion macht sie für das bloße Auge sichtbar, wobei die scheinbare Helligkeit eine Magnitude von –8 erreicht (über 20-mal heller als die Venus!).



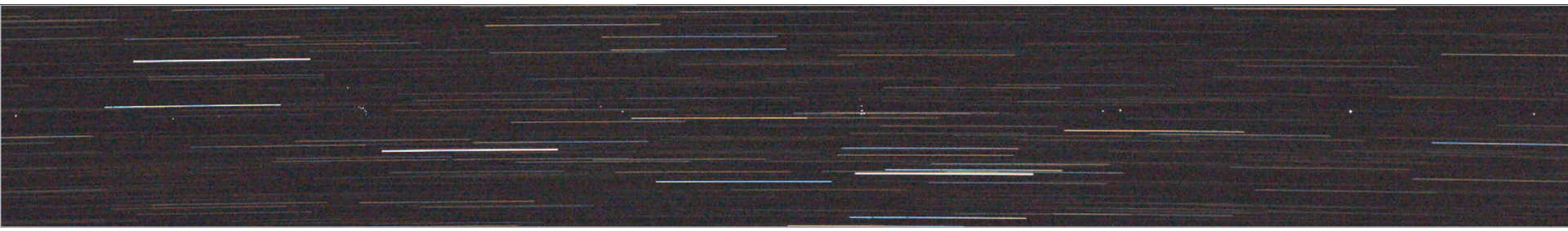
Eine Sternschnuppe? Nein, ein Aufleuchten eines Iridium-Satelliten (2 Minuten Belichtungszeit mit einer DSLR und einem 24 mm-Objektiv).



Die Iridium-Satelliten sind nicht die einzigen, die solche Reflexionen (Flares) verursachen können. Das japanische Versorgungsraumschiff HTV zeigte sich hier am 8. Juli 2013 über dem Großen Wagen auf dieser Weitwinkelaufnahme mit 30 Sekunden Belichtungszeit, ein paar Stunden bevor es an die ISS (heller Streifen oben rechts) andockte. Aufgrund des hohen Grades an Lichtverschmutzung wurde der Weißlichtabgleich bei der Verarbeitung der RAW-Datei auf Glühlampenlicht gestellt, wodurch die Lichtverschmutzung weit weniger störte als bei der Einstellung auf Tageslicht (kleines Bild oben links).

Time	Brightness	Altitude	Azimuth	Satellite	Distance to flare centre	Brightness at flare centre	Sun altitude
Sep 9, 21:24:01	-5.2	61°	110° (ESE)	Iridium 3	7 km (E)	-8.5	-12°
Sep 10, 06:17:53	-1.0	58°	210° (SSW)	Iridium 42	26 km (W)	-8.4	-11°
Sep 10, 21:19:59	-2.7	63°	115° (ESE)	Iridium 76	17 km (W)	-8.5	-11°
Sep 11, 06:11:44	-5.6	59°	209° (SSW)	Iridium 80	7 km (E)	-8.4	-12°
Sep 11, 21:15:22	-5.5	62°	116° (ESE)	Iridium 46	6 km (E)	-8.5	-11°
Sep 13, 06:04:42	-1.2	55°	218° (SW)	Iridium 43	26 km (W)	-8.4	-13°

Ähnlich wie bei CalSky wird auf der Website Heavens-Above das Aufblitzen der Iridium-Satelliten, das an einem bestimmten Ort sichtbar wird, zusammen mit den wichtigsten Daten angegeben: Datum und Zeit, Magnitude (Helligkeit), Position am Himmel (Höhe über dem Horizont und Azimut (Winkelentfernung von der Nordrichtung)) und die maximale Helligkeit vom optimalen Standort (Helligkeit am Flare-Mittelpunkt). Sobald Sie auf das Datum klicken, sehen Sie ein Schaubild, das den Weg des Satelliten und die Region, in der er aufblitzt, zeigt.



Eine Einzelaufnahme von 10 Minuten Belichtungszeit mit einer DSLR und einem 50 mm-Objektiv bei Blende 5,6, die auf den Himmelsäquator gerichtet war. Sie zeigt einen Schwarm geostationärer Satelliten, der in Form kleiner Lichtpunkte inmitten der Sternspuren zu sehen ist. Bei den nahe zusammenstehenden Gruppen handelt es sich um den ASTRA- (links) und den HOT BIRD-Cluster (rechts). Bei solch einem Foto lässt man am besten die Rauschunterdrückungsfunktion eingeschaltet und verschiebt die Ausrichtung der Kamera anschließend leicht, um das zweite Bild aufzunehmen. Falls sich die Position der kleinen weißen Punkts innerhalb des Bildes bei der zweiten Aufnahme verändert hat, handelt es sich um einen Satelliten, und falls nicht, um ein heißes Pixel.

Geostationäre Satelliten

Geostationäre Satelliten sehen völlig anders aus. Sie kreisen in einer Höhe von ca. 36.000 km und absolvieren eine Umrundung innerhalb eines irdischen Tages, wodurch sie am Himmel feststehend erscheinen. Die bekanntesten geostationären Satelliten sind die TV-Satelliten – wir richten unsere TV-Satellitenschüsseln auf sie aus – und die Meteosat-Satelliten. Sie sind einerseits einfacher, andererseits aber auch schwieriger als Satelliten der niedrigen Umlaufbahn zu fotografieren. Schwieriger, weil ihre große Entfernung sie wesentlich dunkler erscheinen lässt, sodass die Helligkeitsunterschiede zweier Satelliten – der eine auf den niedrigen und der andere auf der geostationären Umlaufbahn – den Faktor 10.000 (10 Magnituden) betragen können. Mit bloßem Auge und selbst einem Fernglas kann man die geostationären Satelliten nicht sehen. Glücklicherweise macht ihre fast fixe Position am Himmel es leichter, sie zu fotografieren, da eine auf einem Stativ montierte Kamera während einer Langzeitbelichtung genug Licht einsammeln kann, um sie als kleinen Punkt inmitten von Sternspuren sichtbar zu machen. Man muss allerdings sichergehen, dass man geostationäre Satelliten nicht mit heißen Pixeln verwechselt! Viele dieser Satelliten werden durch die Sonne die ganze Nacht angestrahlt, außer während der Tag-und-Nacht-Gleichen, während derer sie bis zu 90 Minuten vom Erdschatten verfinstert sein können.

Geostationäre Satelliten umkreisen die Erde über dem irdischen Äquator. Von der Erde aus betrachtet, entspricht dies dem Himmelsäquator. Einen geostationären Satelliten zu fotografieren, geht am einfachsten, wenn man die Kamera gen Süden (auf der Südhalbkugel gen Norden) in einem Winkel von 90° minus dem eigenen Breitengrad richtet (bei einer nördlichen Breite von +40° richtet man die Kamera 50° über den südlichen Horizont). Da sich Dutzende von Satelliten den gleichen äquatorialen Streifen teilen, liegen sie manchmal eng nebeneinander. CalSky und andere Webseiten (solche wie Hansa Electronic, http://www.hansa-electronic.com/satcalceng.php) geben die Positionen vieler geostationären Satelliten für jeden Beobachtungspunkt aus. Man beachte, dass die berühmten GPS-Satelliten zu keiner der hier erwähnten Gruppen gehören, da sie in einer Umlaufbahn von etwa 20.000 km unterwegs sind.