

Im ersten Fall beträgt der Abbildungsmaßstab 60 Bogensekunden pro Pixel, also doppelt so viel wie der periodische Fehler; das Autoguiding ist nicht nötig. Im zweiten Fall ist der Abbildungsmaßstab 14-mal geringer als der periodische Fehler, sodass die Verschiebung im Verlauf einer Umdrehung der Schneckenwelle etwa 15 Pixel beträgt; in diesem Fall ist das Autoguiding dringend angeraten.

Zwischen diesen beiden Extremfällen eine genaue Grenze zu definieren, ist schwierig. Ganz entscheidend ist dabei die eigene Toleranz gegenüber solchen Fehlern. Manche Amateure akzeptieren eine Bewegungsunschärfe von mehreren Pixeln, da sie ihre Bilder vor dem Zeigen auf eine geringere Auflösung herunterrechnen. Andere hingegen wollen perfekt runde Sterne auf einem Bild, das in voller Größe gezeigt werden soll. Eines gilt allerdings immer: Je größer die Brennweite, desto mehr sind die Nachführfehler zu sehen. Möchte man seine Astrofotografie einfach halten, sollte man bei Teleskopen mit kurzen Brennweiten (d. h. unter 1000 mm) bleiben. Natürlich kann man mit einer solchen Brennweite nicht so viele Details zeigen wie mit einer größeren, doch diesen Preis muss man zahlen, wenn man runde Sterne auf seinen Bildern möchte!

#### DAS ENDE DES AUTOGUIDINGS?

Werden es die hochauflösenden digitalen Encoder möglicherweise schaffen, das Autoguiding in das Museum des Astronomiezubehörs zu schicken? Zurzeit (2014) kommt diese neue Technik nur an High-End-Montierungen wie Astro-Physics AP1600, ASA DDM und 10 Micron HPS zur Anwendung. Das Grundprinzip ist einfach: In die Montierung integrierte Encoder messen die Position in der Drehachse mit einer Genauigkeit im Bereich unterhalb einer Bogensekunde (was einer Auflösung von mehreren Millionen Schritten pro Umdrehung entspricht). Mit diesen Positionsdaten steuert ein einfaches elektronisches Kontrollsystem jeden einzelnen Motor so, dass die Geschwindigkeit der Rotation auf der entsprechenden Achse äußerst konstant verläuft, sodass auf diese Weise jede Form eines periodischen Fehlers in Echtzeit korrigiert wird, bevor dieser zum Tragen kommt. Bei dieser Technik sind allein noch die Polausrichtungsfehler und Verbiegungen limitierende Faktoren der maximalen brauchbaren Belichtungszeit.

Ein letzter Rat: Bei Verwendung einer DSLR machen Sie Ihre ersten Versuche ohne Autoguiding. Stellen Sie anschließend auf den meisten Bildern eine Verschiebung fest, verbessern Sie als Erstes die Polausrichtung. Sehen Sie dann immer noch auf den meisten Bildern Verschiebungen, prüfen Sie, ob diese entlang der Rektaszensionsachse stattfinden und überprüfen Sie die Justierung der Schneckenwelle der Rektaszension (siehe Anhang 4). Reicht auch das nicht aus, besteht die häufigste Lösung von Amateuren, die keinen Autoguiden verwenden möchten, darin, die Belichtungszeit der Einzelaufnahmen auf einen Bruchteil der Zeit für eine Umdrehung der Schneckenwelle zu beschränken. Dadurch sollte sich der Anteil schlechter Bilder verringern. Führt diese Lösung zu allzu kurzen Belichtungszeiten, sollten Sie über das Autoguiding nachdenken ... oder über den Wechsel Ihrer Montierung oder Ihres Teleskops!

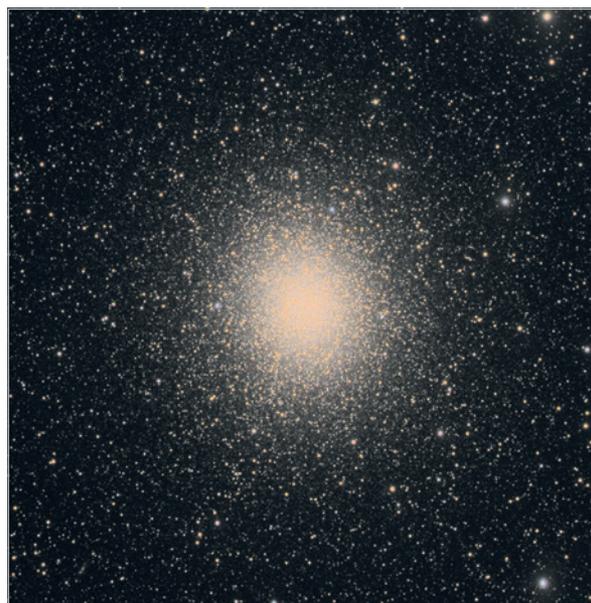
## Deep-Sky-Objekte

Unter dem Begriff *Deep Sky* fasst man unterschiedliche Familien von Himmelsobjekten zusammen, die sich in Beschaffenheit, Größenordnung und Formgebung ziemlich unterscheiden. Dabei muss man den Wellenlängen der von ihnen emittierten Lichtstrahlen besondere Beachtung schenken, da die optimale Art und Weise, sie zu fotografieren, und die anschließende Bildverarbeitung sehr davon abhängen.

### Sterne

Wie die Sonne strahlen die Sterne mit einem kontinuierlichen Spektrum: Alle Wellenlängen (alle Farben) des sichtbaren Lichts sind je nach Oberflächentemperatur und Zusammensetzung des Sterns in bestimmten Anteilen vertreten. Die massereichsten und heißesten Sterne sehen bläulich aus, wohingegen kleinere und kältere Sterne rötlich erscheinen und nur wenig grünes und blaues Licht emittieren. Die Sonne ist ein gelb-weißer Stern.

Offene Sternhaufen wie der Doppelsternhaufen im Perseus (auf Seite 201 abgebildet) kommen in der Milchstraße häufig vor und enthalten oft junge, heiße Sterne. Deren scheinbare Winkelgrößen unterscheiden sich in hohem Maße und können wie im Fall der Plejaden oder der Hyaden – den berühmten offenen Sternhaufen im Sternbild Stier – über  $1^\circ$  gehen.



Die Kugelsternhaufen Omega Centauri (rechts) und M13 (links) wurden jeweils mit einer CCD-Kamera und Refraktoren von 530 mm bzw. 1100 mm Brennweite aufgenommen und im gleichen Maßstab abgedruckt.

Kugelsternhaufen sind sehr alt und bestehen hauptsächlich aus alten und gelblichen Sternen, die es schon sehr viel länger gibt als die massereichen, die man in offenen Sternhaufen sieht.

Unsere Galaxie ist von mehreren Hundert Kugelsternhaufen umgeben. Die eindrucksvollsten davon sind auf der südlichen Himmelshemisphäre zu sehen. Omega Centauri, dessen scheinbarer Durchmesser  $1^\circ$  beträgt, sowie 47 Tucanae in der Nähe der Kleinen Magellanwolke (KMW, engl. SMC) sind Beispiele für Kugelsternhaufen. Omega Centauri ist vom Süden aus beobachtet in etwa  $30^\circ$  nördlicher Breite zu sehen. Auf der Nordhalbkugel erstreckt sich der berühmte M13 im Sternbild Herkules über 20 Bogenminuten.

Weiter außerhalb unserer Galaxie befinden sich die größten Kugelsternhaufen, die andere Galaxien wie M31 (Andromedagalaxie) und M104 (Sombroergalaxie) umgeben und als ganz kleine, diffuse Flecken fotografiert werden können.

Bei einigen nahen Sternen lässt sich eine relative Bewegung zu den Sternen im Hintergrund messen. Der schnellste ist Barnards Stern (oft auch als »Barnards Pfeilstern« bezeichnet) im Sternbild Schlangenträger, der sich sechs Lichtjahre von der Sonne entfernt befindet und mit einer scheinbaren Geschwindigkeit von zehn Bogen Sekunden pro Jahr bewegt, wie sich auf Fotos, die mit einem Jahr Abstand aufgenommen wurden, leicht erkennen lässt. Seine Magnitude beträgt 9,5.



Auf Himmelfotos mit großem Gesichtsfeld haben die Sterne meist blassere Farben und die Sternbilder sind nicht immer leicht zu erkennen. Dessen Sichtbarkeit lässt sich verbessern, indem man ihr Licht leicht streut wie auf diesem Foto, das durch ein leicht streuendes Anti-Newton-Glas vor der Frontlinse fotografiert wurde.



Der Doppelstern Albireo ist aufgrund seiner Helligkeit und des großen Winkelabstands leicht zu fotografieren und dabei auch noch ziemlich fotogen, da die beiden Sterne intensive Farben abgeben. Diese Aufnahme entstand mit einer Sekunde Belichtungszeit mit einer DSLR hinter einem 800 mm-Refraktor. Bei engen Doppelsternen bedient man sich der Technik der Planetenaufnahmen, also Brennweitenverlängerern und Videokameras.

*Dieses Bild der Plejaden entstand innerhalb von 1 Stunde und 50 Minuten und besteht aus einem Stapel von 450 Aufnahmen mit je 15 Sekunden Belichtungszeit, mit einer Sony Alpha 7S im Primärfokus und einem 106 mm-Refraktor mit einem Öffnungsverhältnis von f/5 aufgenommen. Dank des äußerst geringen Ausleserauschens dieser Kamera bei ISO 3200 konnte aufgrund der relativ kurze Gesamtbelichtungszeit auf Autoguiding verzichtet werden, ohne dass dadurch die Erfassung der schwachen Hintergrundnebel gelitten hätte.*



### Diffuse Nebel

Diffuse Nebel bestehen aus riesigen Gaswolken (hauptsächlich Wasserstoff) und interstellarem Staub, aus denen neue Sterne hervorgehen. Fast alle Nebel, die Amateure fotografieren können, gehören zu unserer Galaxie und sind deshalb zahlreich in der Milchstraße vertreten. Hinsichtlich der Fotografie muss man zwei Typen von Nebeln unterscheiden: Reflexionsnebel und Emissionsnebel.

Reflexionsnebel werden von den umgebenden Sternen angestrahlt. Sie weisen ein kontinuierliches Spektrum auf, das durch die hauptsächlich im blauen Bereich des Lichts stattfindende Streuung durch Staubpartikel eine bläuliche Farbe hat. Die berühmtesten unter ihnen sind die, welche die Hauptsterne der Plejaden und NGC 1975 umgeben und sich im Schatten ihres Nachbarn M42, dem Orionnebel, befinden.

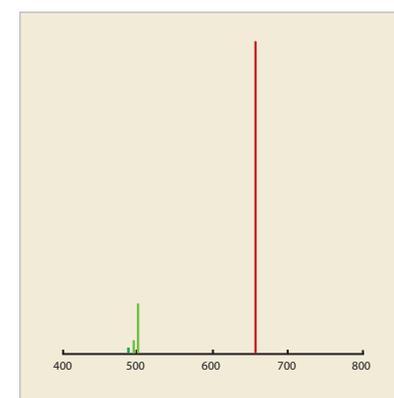
Von den Emissionsnebeln gibt es wesentlich mehr und sie haben eine völlig andere spektrale Signatur. Ihre Materie wird durch die Strahlung der umgebenden Sterne

ionisiert. Dabei reflektieren sie nur einen geringen Anteil dieser Strahlung, der Großteil wird reemittiert. Diese Lichtemission findet in extrem engen Wellenlängenbereichen statt, deren exakte Werte die Physiker monochromatische Emissionslinien nennen. Das Spektrum dieser Nebel ist diskontinuierlich und liefert Informationen über deren chemische Zusammensetzung, da jedes Element (Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Helium etc.) seine spezifischen Wellenlängen im Emissionsspektrum hat. Dabei treten zwei Elemente im sichtbaren Spektrum am deutlichsten hervor:

- Wasserstoff, der eine Reihe von Spektrallinien emittiert, wobei die wesentlichen bei 656,3 nm (H-alpha-Linie) und 486,1 nm (H-beta-Linie) liegen.
- Der zweifach ionisierte Sauerstoff emittiert zwei Spektrallinien bei 495,9 nm und 500,7 nm (die OIII-Linien, ausgesprochen als »O-drei-Linien«), wobei die längere Wellenlänge immer intensiver ist als die erste kürzere.



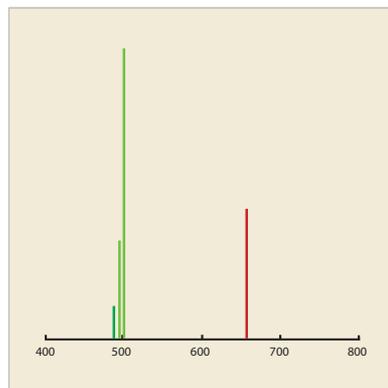
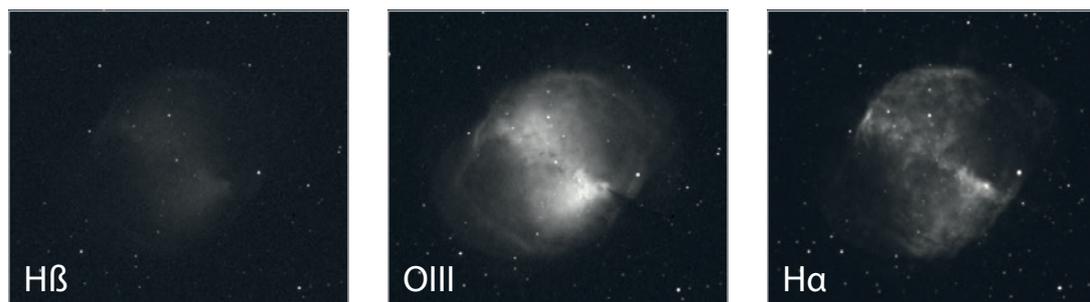
Die relativen Verhältnisse der unterschiedlichen Emissionslinien des Lichts von M8, dem Lagunennebel im Sternbild Schütze



Die wichtigsten Spektrallinien von Emissionsnebeln (von links nach rechts): H-beta, OIII (Doppellinie), H-alpha. Die relativen Intensitäten können sich von Nebel zu Nebel unterscheiden, H-alpha bleibt allerdings immer vorherrschend, gefolgt von OIII und H-beta.

Bei Simeis 147 (auch unter der Bezeichnung Sh2-240 geläufig) handelt es sich um einen Supernova-Überrest, der etwa 40.000 Jahre alt ist. Er erstreckt sich zwischen den Sternbildern Taurus und Auriga über  $3^\circ$ . Sein schwaches Licht erforderte mit einer CCD-Kamera, einem H-alpha-Filter und einem 300 mm-Teleobjektiv eine Belichtungszeit von mehreren Stunden, als im Dezember 2007 der Planet Mars (oben links) diesen Himmelsbereich durchlief.

*Der jeweilige Beitrag diverser Emissionslinien zum sichtbaren Spektrum von M27, dem Hantelnebel im Sternbild Fuchs (Vulpecula). Man beachte die großen Unterschiede in der Form zwischen OIII und H-alpha.*



*Die Hauptspektrallinien planetarischer Nebel entsprechen weitestgehend denen von Emissionsnebeln, allerdings dominiert hier OIII.*

*Der Helixnebel, mit einer CCD-Kamera und Breitband-RGB-Filtern fotografiert. Das Licht der Außenhülle wird von H-alpha dominiert, wobei OIII hauptsächlich im Zentralbereich zu sehen ist. Es gibt noch eine weitere Außenhülle, die sehr viel schwächer ist als der restliche Nebel – man erkennt einen Teil davon im oberen Bildbereich.*

In Nebeln lassen sich noch andere Spektrallinien finden, vor allem die des ionisierten Schwefels (S II) mit 647 nm im tiefen Rotbereich, unweit von H-alpha. Die tatsächliche Farbe einer jeden Emissionslinie kann man sehen, indem man durch die entsprechenden Filter schaut, die man bei Tageslicht vor eine weiße Fläche hält. Die H-alpha-Linie ist tiefrot, die von H-beta ist blaugrün und die OIII-Linien sind, obwohl sie theoretisch an der Grenze zwischen Grün und Blau liegen, noch grüner. Die H-alpha-Linie überwiegt immer; bei vielen Nebeln ist sie die einzige, die man erfassen kann. Auch wenn sich unsere Augen an die Dunkelheit der Nacht angepasst haben, sind wir leider für diese Wellenlänge so gut wie blind.

Beobachten wir einen Emissionsnebel durch ein Teleskop, nehmen unsere Augen hauptsächlich die OIII-Linien wahr, wodurch die hellsten Nebel eine leicht grüne Farbe annehmen. Die Farben der schwächeren Nebel können wir auch mit unseren an die Dunkelheit gewöhnten Augen

nicht erkennen, da wir solche Objekte nur in Schwarz-Weiß sehen können (wie man so schön sagt: Nachts sind alle Katzen grau!).

Und dann gibt es da noch einen weiteren Typ von Nebel: die Dunkelnebel. Da sie selber kein Licht emittieren und nicht von nahe gelegenen oder inneren Sternen angestrahlt werden, werden sie nur dadurch sichtbar, dass sie andere Sterne oder helle Nebel hinter ihnen verdecken. Zu den bekanntesten Dunkelnebeln zählen der Kohlsack im Kreuz des Südens und der Pferdekopfnebel im Sternbild Orion. Im Gebiet um den Pferdekopfnebel sind alle Arten von Nebeln vertreten: Emissions-, Reflexions- und Dunkelnebel (siehe Foto auf Seite 26).

Die Winkeldurchmesser der Emissionsnebel sind breit gestreut, wobei die größten unter ihnen über mehrere Grad reichen können. Übrigens ist es ziemlich schwierig, präzise Größenangaben bei den großen Nebelkomplexen wie im Sternbild Orion, die die Gebiete von M42, dem Pferdekopfnebel und Barnard's Loop (Barnards Schleife) umfassen, zu machen.



### Planetarische Nebel

Bei den planetarischen Nebeln handelt es sich um Materiehüllen von quasi symmetrischer Form, die einen Stern umgeben. Ihr Name rührt daher, dass die Astronomen zunächst davon ausgegangen waren, es handele sich dabei um Gas- und Staubhüllen, die einen jungen Stern und ein begleitendes Planetensystem umgeben. Heute wissen wir, dass es sich um Sterne handelt, die am Ende ihres Lebens einen Teil ihrer Materie in den Weltraum abgestoßen haben. Ihre Strahlung, die im Prinzip aus lauter Spektrallinien besteht, ähnelt der von Emissionsnebeln sehr stark. Es lassen sich darin zahlreiche chemische Elemente nachweisen, doch meistens überwiegen auch hier Wasserstoff und Sauerstoff. Die relativen Intensitäten der Spektrallinien unterscheiden sich von einem planetarischen Nebel zum anderen, doch meistens dominiert OIII mit 500,7 nm, was den hellsten unter ihnen die charakteristische grüne

Färbung verleiht. Nach OIII mit 495,9 nm sind H-alpha und H-beta die Linien, die am stärksten vertreten sind.

Auch andere Spektrallinien kann man finden, vor allem die von Schwefel und Helium in Verbindung mit ionisiertem Stickstoff bei 658,4 nm (NII), der sich ganz in der Nähe von H-alpha befindet und in M57 (dem Ringnebel im Sternbild Leier) sehr hell leuchtet. NII ist mit 2 nm Abstand so nah an H-alpha, dass man diese Spektrallinie nur mit den schmalsten erhältlichen H-alpha-Filtern (3 nm) in Verbindung mit Teleskopen mit großem Öffnungsverhältnis (mindestens 8) erfassen kann. Bei einem Öffnungsverhältnis von beispielsweise f/5 treffen die Strahlen aus dem Randbereich der Teleskopöffnung in einem Winkel von  $5,7^\circ$  auf den Filter, wodurch es eine Verschiebung des passierbaren Wellenlängenbereichs des NII-Filters von 1,5 nm in Richtung Blau gibt, sodass dieser fast genau der H-alpha-Linie entspricht. Da diese Wellenlängenverschiebung antiproportional zum Quadrat des Öffnungsverhältnisses ist, verringert sie sich mit der Steigerung des Öffnungsverhältnisses von f/5 auf f/10 um den Faktor 4. Hat der Filter eine Bandbreite von über 4 nm, überlagern sich die beiden Spektrallinien.

Der Planetennebel mit dem größten scheinbaren Durchmesser ist NGC 7293, der Helixnebel im Sternbild Wassermann, etwa halb so groß wie der Vollmond. Ihm folgt M27 mit einer Größe von 7 Bogenminuten. Die meisten planetarischen Nebel sind kleiner als eine Bogenminute und erfordern, um viele Details beobachten zu können, einen geringeren Abbildungsmaßstab und somit eine größere Brennweite als die meisten Emissionsnebel.

## Galaxien

Von den Galaxien geht ein kontinuierliches Spektrum aus, da sich ihr Licht hauptsächlich aus dem der Sterne zusammensetzt. Das Zentrum einer Spiralgalaxie erscheint meist rötlich oder gelblich, da es aus alten Sternen besteht, wohingegen die Spiralarme in erster Linie junge Sterne enthalten, sodass diese eher bläulich aussehen. Die meisten elliptischen Galaxien (wie etwa M87, die größte Galaxie im Virgo-Haufen) enthalten alte Sterne und zeigen eine gelbliche Farbe. Bis auf ein paar Galaxien (M31, M33 und die beiden Magellanschen Wolken) sind die meisten kleiner als  $0,5^\circ$ . Die berühmte Whirlpool-Galaxie (M51 im Sternbild Jagdhunde) erstreckt sich über 10 Bogenminuten. Die größten Galaxien in den Sternbildern Löwe, Jungfrau und Großer Wagen liegen zwischen 5 und 15 Bogenminuten. In diesen Bereichen finden sich



Galaxien wie M101 im Großen Wagen enthalten häufig kleine HII-Regionen, die eine Mischung aus Rot (ionisierter Wasserstoff) und Blau (junge Sterne) darstellen.



In diesem Ausschnitt der Galaxie M101, die mit ein paar Minuten Belichtungszeit mit einer DSLR an einem Refraktor aufgenommen wurde, ist der kleine helle Fleck rechts neben dem Zentrum auf dem Bild derselben Galaxie links daneben nicht zu sehen. Dabei handelt es sich um die Supernova SN 2011fe, die im August 2011 zu sehen war. Sie war mit einer maximalen Magnitude von 10 die hellste Supernova seit 20 Jahren und durch ein 56 mm-Teleskop mit bloßem Auge zu erkennen.



Der Doppelquasar im Großen Wagen in der Nähe der Galaxie NGC 3079. Obwohl er 50-mal dunkler ist als 3C273, ist er eine der wenigen Gravitationslinsen, die von Amateuren erfasst werden können. Dabei ist einer seiner Bestandteile ein Gravitationsbild des anderen, das durch eine Galaxie verursacht wird, die selbst zu schwach ist, um fotografiert werden zu können. Da sie 5,7 Bogensekunden auseinanderliegen, benötigt man einen Abbildungsmaßstab von zwei Bogensekunden pro Fotodiode, um sie getrennt voneinander darstellen zu können.



Eine Belichtungszeit von nur 30 Sekunden reichte mit einem 130 mm-Refraktor und einer DSLR aus, um 3C273, den hellsten unter den Quasaren, zu fotografieren.

prächtige Galaxienhaufen und Tausende von Galaxien, die kleiner als eine Bogenminute sind und die man mit langen Belichtungszeiten fotografieren kann – viele wunderbare Gelegenheiten, die ausgetretenen Pfade der Astrofotografie zu verlassen!

Bei den Quasaren handelt es sich um sehr weit entfernte und helle Galaxien, die von uns aus wie Sterne punktförmig erscheinen. Der berühmteste, 3C273, befindet sich im Sternbild Jungfrau und ist mit einer Magnitude von 13 der hellste unter ihnen. Hat man ihn erst einmal unter den umgebenden Sternen ausgemacht, ist er einfach zu fotografieren. Es sind zwar noch Tausende weiterer Quasare am Himmel verteilt, doch haben diese selten eine Magnitude von über 18 und erfordern viel längere Belichtungszeiten.