fokussiert

Liebe Leserinnen und Leser,

besondere Sterne sind die Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen, kurz LBV. Durch intensive Strahlung verlieren sie innerhalb kurzer Zeit stark an Masse und enden schließlich als Supernova. Viele von ihnen sind von eigenartigen Nebeln umgeben, die den Massenverlust illustrieren. Dr. Kerstin Weis von der Ruhr-Universität in Bochum forscht zu diesen Sternen. In ihrem Beitrag (Seite 12) erklärt sie die Entstehungsprozesse und stellt die bekanntesten Vertreter vor, die auch für Amateurbeobachter in Reichweite sind.

Die Sonne ist wieder aktiv! Nach langer Durststrecke können endlich wieder größere Fleckengruppen beobachtet werden (Seite 22). Doch Flecken sind längst nicht alles: Im Vergleich zu bisherigen Aktivitätszyklen haben die Amateur-Sonnenbeobachter mächtig aufgerüstet. Neben der klassischen Weißlicht-Beobachtung sind heute Aufnahmen im violetten Kalzium- und roten Wasserstoff-Licht Standard. Der Sonnenfotograf Ralf Gerstheimer zeigt vergleichende Ergebnisse aus den drei Spektralbereichen, die gleichzeitig entstanden sind (Seite 34).

Laue Sommernächte unter der Milchstraße machen Lust darauf, mit dem Teleskop auf Deep-Sky-Tour zu gehen. Für Leser in lichtverschmutzten Gebieten empfiehlt Karl-Peter Julius Kugelsternhaufen, deren schönste am Sommerhimmel er in seiner Serie »Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter« vorstellt (Seite 45). Beobachtern unter dunklem Himmel zeigt Uwe Pilz dagegen bekannte und unbekannte Ziele im Sternbild Adler, die in einem Feld von 100 Quadratgrad zusammen am Himmel stehen (Seite 48).

Clear skies,

الما

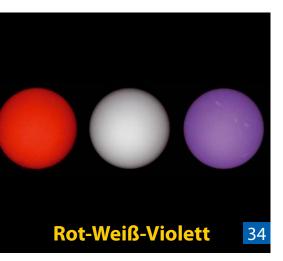




Ronald Stoyan, Chefredakteur



Titelbild: **Eta Carinae** ist das bekannteste Beispiel eines Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen. Er ist umgeben von einem kleinen Nebel, dem sogenannten »Homunculus«. Dieser wurde in den letzten Aktivitätsperioden des Sterns vor ca. 150 Jahren erzeugt (Seite 12). *Wolgang Promper*









Hintergrund

- Hauptartikel
- 12 Vom Winde verweht

LBV-Sterne und ihre Nebel

- 16 Astro- Wissen: Was sind Helligkeit und Leuchtkraft?
- Schlagzeilen
- 8 **Frühlingsregen auf Titan**Zu den Anfängen der
- Planetenentstehung
 9 1:0 für die Dunkle Energie
- 10 Raumfahrt aktuell: Rückkehr zu Tempel 1

Himmel

- Ereignisse
- 18 Mitten im Erdschatten

Totale Mondfinsternis am 15. Juni

- 19 Saturn trifft Porrima am 10. Juni Mondsichel begegnet Venus am 30. Juni
- Sonnensystem
- 22 Sonne aktuell: Der Aufschwung ist da!
- 23 Planeten aktuell: Saturns Atmosphäre aufgewühlt Kometen aktuell: Amateurentdeckung Elenin am Abendhimmel sichtbar?
- Sternhimmel
- Astronomie mit bloßem Auge: Harrington 11
 Astronomie mit dem Fernglas: Stephenson 1
- 28 **Objekt der Saison: M 80**
- 29 Objekt der Saison: M 62
- 30 Veränderlicher aktuell: n Aquilae

Praxis

- Sonne
- 34 Rot-Weiß-Violett

Sonnenfotografie in verschiedenen Wellenlängen

- Mond
- 39 Der bunte Mond

Hochaufgelöste und farbüberhöhte Mondfotografie

- Deep-Sky
- 45 **Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter**

Kugelsternhaufen am Sommerhimmel

48 100 Quadratgrad Himmel

Beim Kopf des Adlers

50 Praxis-Wissen: Welche Erscheinungen kann man in der Dämmerung beobachten?

interstellarum STERNSTUNDE

»interstellarum Sternstunde« ist die erste regelmäßige astronomische Fernsehsendung im Internet. Sie können sie kostenlos auf www.interstellarum.de ansehen.

Ausgabe Nr. 3 (13.5.2011)

Themen

 Aktuelle Neuheiten und Interviews von der Astro-Messe ATT in Essen mit Live-Übertragung am 7.5.

außerden

- Neuigkeiten aus der Forschung in Bild und Tom
- Vorschau auf astronomische Ereignisse

Die interstellarum Einsteigerseiten:



teleskop1x1.de

Das große Teleskop-Portal von interstellarum:

Fernrohrfinder.de

Datenbank aus fast 1500 Produkten:

493 Komplettgeräte 298 Tuben mit Optik 97 Montierungen 529 Okulare

Technik

- Test
- 52 **Die CCD-Kamera MI G2-8300**

Astro-High-Tech aus Tschechien im Test

Astrofotografie

58 Fotografie mit Vergrößerung

Projektionen bei der Astrofotgrafie

Technik-Wissen: Warum ist eine Störlichtblende so wichtig?

Beobachtungen

- Rückblick
- 67 ISS und Mond erhalten Besuch
- First Light
- 68 Bildfelddrehung macht das Stacken schwer
- Objekte der Saison
- 70 M 4 / NGC 6369

- Galerie
- 74 Astrofotos unserer Leser

Service

- Szene
- 77 Termine für Sternfreunde: Juni bis Juli 2011
- Rezensionen
- 76 Cosmic Challenge

Kriegers Mond-Atlas iPhone-App: Gas Giants

- Astromarkt
- 77 Kleinanzeigen

Leserhinweise

Bildorientierung: Allgemein: Norden oben, Osten links; Planeten: Süden oben, vorangehender Rand links

Datenquellen: Sonnensystem: Kosmos Himmelsjahr, Ahnerts Kalender für Sternfreunde, Cartes du Ciel; Deep-Sky: Deep Sky Reiseführer, NGC/IC W. Steinicke, Deep Sky Field Guide

Koordinaten: äquatoriale Koordinatenangaben, Äquinoktium 2000.0

Helligkeiten: sofern nicht anders angegeben V-Helligkeit

Deep-Sky-Objekte: DS (Doppelstern), OC (Offener Sternhaufen), PN (Planetarischer Nebel), GN (Galaktischer Nebel), GC (Kugelsternhaufen), Gx (Galaxie), Qs (Quasar), As (Sternmuster)

Kartenverweise: Deep Sky Reiseatlas (DSRA), Uranometria 1. Auflage (Uran.)

- 1 fokussiert
- 2 Inhaltsverzeichnis, Leserhinweise
- 80 Vorschau, Impressum



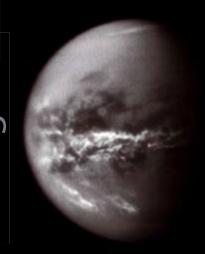


Abb. 1: Methanwolken entlang Titans Äquator. Nur wenige Wolken sind in südlichen Breiten zu sehen.

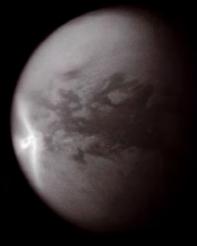


Abb. 2: Eine riesige, Y-förmige Wolke über dem Äquator Titans mit einer Ost-West-Ausdehnung von 1200km, die »Arme« sind etwa 1500km lang. Nachdem die Wolke sich aufgelöst hatte, konnte man neu gebildete dunkle Gebiete auf der Oberfläche beobachten.

Frühlingsregen auf Titan

it der Tag-und-Nacht-Gleiche auf Titan im August 2009 begann auch der Frühling – aufmerksam beobachtet von den Kameraaugen der Raumsonde Cassini. Diese hatten Ende September 2010 zunächst ein Y-förmiges Wolkensystem und im Oktober ein breites Wolkenband auf Titan in der Äquatorgegend entdeckt. Anschließend konnten kurzlebige Veränderungen auf Titans Oberfläche beobachtet werden: Ein etwa 500000 Quadratkilometer großes Gebiet entlang des sog. Belet Dünenfeldes und kleinere Gebiete außen herum hatten sich dunkel eingefärbt. Der Vergleich der Bilddaten mit den Daten von anderen Instrumenten legt den Schluss nahe, dass die Ursache der Dunkelfärbung eine Befeuchtung durch Methan-Regen ist. Man

nimmt an, dass sich auf Titan ein ähnlicher Kreislauf ausgebildet hat wie auf der Erde: Bei uns verdunstet Wasser in der Wärme der Sonne und bildet Wolken, die abregnen auf dem Saturnmond spielt das Methan die Rolle des Wassers. Bisher fand man Hinweise darauf, dass zumindest in der Vergangenheit Flüssigkeiten auf der Oberfläche Titans geflossen sind. Die gefundenen Fließstrukturen könnten auch aus einer viel früheren, feuchteren Episode stammen. Flüssige Kohlenwasserstoffe wie Methan und Äthan konnte man in Seen in den Polarregionen nachweisen. Während auf der Erde solche Wolkenbänder das ganze Jahr in den Tropen präsent sind und sich nur leicht mit den Jahreszeiten verschieben, vermutet man, dass sie auf Titan nur im Frühling am Äguator zu

finden sind und mit fortschreitender Jahreszeit zu höheren Breiten wandern. 2004, im Spätsommer auf Titans Südhalbkugel, wurden in den südlichen Polarregionen noch häufig ausgedehnte Wolkensysteme beobachtet, die seit 2005 selten geworden sind. Dies lässt vermuten, dass die globale Zirkulation in der Atmosphäre Titans sowohl von der Oberfläche als auch der Atmosphäre beeinflusst wird, da die Oberfläche schneller auf Beleuchtungsänderungen reagiert als eine dicke Atmosphärenschicht. Cassinis Instrumente werden beobachten, wie sich das Wetter bis zum Sommer auf der Nordhalbkugel Titans weiter entwickelt und Gemeinsamkeiten und Abweichungen zum Wetter auf der Erde aufspüren. [JPL Pressemitteilung 2011-084]

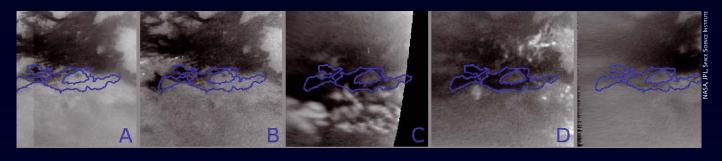


Abb. 3: Veränderungen der Oberfläche an der südlichen Grenze des Belet Dünenfeldes (blaue Linie). Die hellsten Gebiete in der Aufnahme stellen Methanwolken in der Troposphäre dar, welche in Aufnahme B links, in Aufnahme C unten und in Aufnahme D rechts zu sehen sind. Oberflächenstrukturen erscheinen in verschiedenen Grautönen.

Zu den Anfängen der Planetenentstehung

Das SEEDS-Projekt (Strategic Explorations of Exoplanets and Disks with Subaru, zu Deutsch: Strategische Erkundungen von Exoplaneten und Scheiben mit Subaru) ist eine

auf fünf Jahre angelegte, systematische Suche nach Exoplaneten und protoplanetaren Scheiben mit dem japanischen 8,2m-Teleskop Subaru auf Hawaii. Im Rahmen dieses Projektes wurde als erstes Objekt der Stern LkCa 15 untersucht, der rund 450 Lichtjahre von der Erde entfernt im Sternbild Stier liegt. Mit einem Alter von nur wenigen Millionen Jahren ist LkCa 15 sehr jung – unsere Sonne ist mit 4.7 Mrd. Jahren etwa 1000 Mal älter. Die

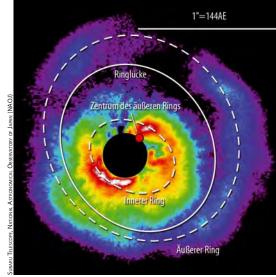
zweite Studie widmete sich dem Stern AB Aur im Sternbild Fuhrmann, 470 Lichtjahre von der Erde entfernt. Dieser Stern lebt erst seit rund einer Million Jahren. Um solche jungen Sterne hofft man, Planetensysteme in der Entstehung untersuchen zu können.

Die neuen Beobachtungen zeigen erstmals Strukturen - Ringe und Aussparungen -, die im kosmischen Maßstab vergleichsweise klein sind, nämlich nicht größer als unser

eigenes Sonnensystem. Die Bilder des Systems LkCa 15 zeigen Sternlicht, das an der Scheibenoberfläche so reflektiert wird, dass sich die scharfe Kante einer Aussparung erstmals direkt zeigt. Interessanterweise ist die elliptische Form der Aussparung nicht um den Stern herum zentriert, sondern etwas verschoben. Die wahrscheinlichste Erklärung für diese Aussparung - und insbesondere für deren Asymmetrie - lautet, dass dort mehrere Planeten kreisen, die gerade erst aus dem Scheibenmaterial entstanden sind und nun das Gas und den Staub entlang ihrer Umlaufbahnen einfangen. Die Aussparung ist so groß, dass die Umlaufbahnen aller Planeten unseres Sonnensystems bequem darin Platz fänden. Daher spekuliert man, dass sich bei LkCa 15 in dieser Lücke ein unserem eigenen Sonnensystem vergleichbares Planetensystem bildet. Die Planeten selbst konnten jedoch noch nicht nachgewiesen werden.

Bei AB Aur beobachtet man ineinander verschachtelte Ringe aus Gas und Staub, die gegenüber der Äquatorebene des Systems verkippt sind und deren Material sich wiederum nicht symmetrisch um den Stern herum anordnet – beide Eigenschaften deuten auf das Vorhandensein mindestens eines sehr massereichen Planeten hin.

In einer vom SEEDS-Projekt unabhängigen Studie am Very Large Telescope Interferometer der ESO hingegen ist es gelungen, ein Objekt in einer Lücke der protoplanetaren Gasscheibe um den erst sieben Millionen Jahre alten, sonnenähnlichen Stern T Chamaeleontis (T Cha) nachzuweisen. Weitere Beobachtungen müssen jedoch noch zeigen, ob es sich bei dem Begleiter um einen Planeten oder einen Braunen Zwerg handelt. Bisher war die Entdeckung von Planeten nur in Scheiben um ältere Sterne gelungen. Außerdem fand man heraus, dass ein Teil des Scheibenmaterials um T Cha einen dünnen Staubring in einem Abstand von nur 20 Mio. Kilometern vom Stern gebildet hat. Außerhalb dieses inneren Teils der Scheibe liegt der Bereich, der frei von Staub ist und in dem der Begleiter bei einer Entfernung von 1 Mrd. Kilometern vom Zentralgestirn gefunden wurde. Der äußere Teil der Scheibe beginnt bei einem Abstand von



Infrarotaufnahme der Scheibe um den Stern AB Aur bei 1,6µm. Man kann einen inneren und einen äußeren Ring erkennen, die gegeneinander verdreht sind, was auf die Anwesenheit eines massereichen Planeten hindeutet.

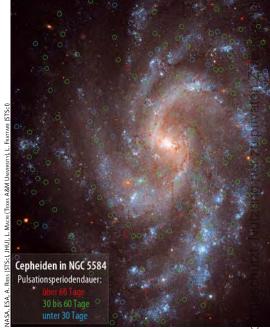
etwa 1,1 Mrd. Kilometern. [Pressemitteilung MPG 17.2.2011; Pressemitteilung des National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) 18.2.2011; ESO Science Release eso1106; Astron. Astrophys. 528, L7 (2011)]

1:0 für die Dunkle Energie

Einer heute favorisierten Theorie zufolge ist der Hauptbestandteil des Universums nicht Gas und Staub, also Materie, sondern mit etwa 72% Anteil die Dunkle Energie. über die man so gut wie nichts weiß. Sie wurde postuliert, um die beobachtete Beschleunigung der Expansion des Universums zu erklären. Eigentlich würde man erwarten, dass die Expansion des Universums aufgrund der Anziehung allmählich abnimmt. Man könnte die Dunkle Energie deshalb auch als negative oder abstoßende Gravitation bezeichnen. Zur Erklärung der zunehmenden Expansion gibt es auch andere, nicht minder fantastische Theorien. Eine davon fordert, dass wir uns ziemlich genau im Zentrum einer etwa 8 Mrd. Lichtjahre durchmessenden Blase befinden - sonst käme es zu Asymmetrien im kosmischen Mikrowellenhintergrund –, die sich als Folge ihrer geringeren Dichte schneller in das umgebende dichtere Universum ausdehnt. Aus dem Inneren der Blase erscheint das Universum dann einer beschleunigten Expansion zu unterliegen. In einem solchen Szenarium ergibt sich eine gegenwärtige Expansionsrate (=Hubblekonstante) des Universums von 60-65km/s/Mpc. Da sich die Hubblekonstante mit der Zeit ändert, kann ihr Wert nur zum gegenwärtigen Zeitpunkt bestimmt werden.

Um die Hubblekonstante zu messen, wurden die Entfernungen von Galaxien mit

Hilfe der Perioden-Leuchtkraftbeziehung der Cepheiden und den Helligkeiten eines speziellen Typs von Supernova bestimmt, die eine einheitliche Maximumshelligkeit aufweisen. Dies ist notwendig, da Cepheiden zu leuchtschwach sind, um auch in entfernteren Galaxien gesehen zu werden. Der größte Messfehler rührt aus der unsicheren Eichung der Supernovahelligkeiten her, weshalb zunächst nach Supernovae in Galaxien gesucht wurde, in denen es auch Cepheiden gibt. Mit Galaxienentfernungen aus 600 Cepheiden-Beobachtungen konnte die Helligkeit von acht Supernovae im Maximum genauer gemessen werden und so die Entfernungsbestimmung zu entfernten Galaxien entscheidend verbessert werden. Darüber hinaus konnten systematische Fehler minimiert werden, indem für alle Messungen nur ein einziges Instrument, nämlich die Wide Field Camera 3 auf dem Weltraumteleskop Hubble verwendet wurde. Der in dieser Studie gemessene Wert für die gegenwärtige Hubblekonstante beträgt (73,8±2,5)km/s/Mpc und passt sehr gut zu den (71,9±2,7)km/s/Mpc, die von der Raumsonde WMAP bestimmt wurden. Der Messfehler der Hubblekonstante wurde damit auf etwa 3% eingeengt, womit der niedrige Wert der Hubblekonstante von 60-65km/s/ Mpc und damit die Theorie der Blase nicht mehr haltbar sind. [STSci-2011-08; NASA Release 11-073; ApJ 730, 119 (2011)]



NGC 5584, dessen 250 Cepheiden – Pulsationsveränderliche, die regelmäßig ihren Durchmesser und ihre Helligkeit ändern – wesentlich zur Verbesserung der Messung der Hubblekonstante beigetragen haben. Die Galaxie ist 72 Mio. Lichtjahre entfernt im Sternbild Jungfrau gelegen.

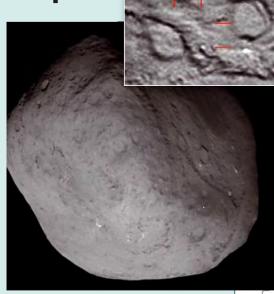
Surftipps

Cassini-Huygens-Mission bei der NASA: saturn.jpl.nasa.gov Cassini-Huygens-Mission bei der ESA: www.esa.int/esaMl/Cassini-Huygens

Raumfahrt aktuell

Rückkehr zu Tempel 1

m Juli 2005 ließ die NASA-Sonde Deep Impact einen Kupferblock auf den Kometen Tempel 1 prallen, um dort einen künstlichen Krater zu produzieren und Material aus der Tiefe des Kerns aufzuwirbeln - was freilich so gut gelang, dass die weiße Wolke die Einschlagsstelle nachhaltig verhüllte. Erst im Februar 2011 konnte nun das Geheimnis gelüftet werden, was für eine Art von Krater Deep Impact einst geschlagen hatte: dank einer alten Raumsonde, die nach ihrer eigentlichen Aufgabe – Staub aus der Koma von Wild 2 zur Erde zu schaffen – Schnürchen: Alle geplanten Be- und kontrastverstärkt. obachtungen ihrer neuen Missi-



Der Kern des Kometen Tempel 1 aus ca. zu Tempel 1 umgeleitet werden 200km Entfernung von der Raumsonde konnte. Zwölf Jahre nach ihrem Stardust aufgenommen – im Ausschnitt Start lief der Vorbeiflug von Starder 5½ Jahre alte künstliche Krater. Um ihn dust am Morgen des 15. Febru- hervorzuheben, wurden mehrere verschiear in 178km Abstand wie am dene Bilder Stardusts aufaddiert, geschärft

on »Stardust-NExT« wurden erfolgreich durchgeführt, die Sonde nahm trotz Beschusses durch viele Staubteilchen keinen Schaden und ihre Bilder erwiesen sich sogar als schärfer als allgemein erwartet. Sie zeigen die bekannten Landschaften, inklusive des markanten Krater-Paares, zwischen dem 2005 der Impaktor niedergegangen war. Doch dessen Wirkung war nur mit einiger Mühe zu erkennen: Der neue Krater hat zwar die berechneten 150m Durchmesser aber nur eine sehr gering ausgeprägte Topografie. Eine derart flache Grube war auch zu erwarten gewesen, wenn nach einem flachen Impakt (30°-Winkel) in eine weiche Oberfläche das meiste aufgeworfene Material gleich wieder zurückfällt: Die Oberfläche des Kometenkerns »heilt« sich gewissermaßen selbst.

Die erneute Besichtigung der Impaktstelle war eine der vier zentralen Aufgaben von Stardust-NExT gewesen, die alle erfüllt wurden. Zu den anderen gehörte die Suche nach Veränderungen bekannter Gebiete der Oberfläche im Laufe der 5½ Jahre: Die hat es vor allem in einer ausgedehnten flachen Zone reichlich gegeben, deren Rand sich verschoben hat und in der ganze Hügel verschwunden sind – deutliche Erosionseffekte von teilweise 20 bis 30 Metern haben hier während eines Sonnenumlaufs stattgefunden. Neuland, das Deep Impact nicht zu Gesicht bekam, hat Stardust auch aufnehmen können: Hier dominieren zahlreiche Schichten aus Material, jeweils mehrere Meter dick, deren Entstehung rätselhaft ist. Und schließlich ging es um den Staub in Tempels Koma: Den konnte das deutsche Experiment CIDA analysieren, in das mehrere Dutzend Teilchen einschlugen, in denen Kohlenstoff-Verbindungen und Cyanide gefunden wurden. Der unabhängige Dust Flux Monitor registrierte derweil rund 5000 Impakte und ein Dutzend große Teilchen durchschlugen gar die Frontseite des zweistufigen Schutzschilds der Sonde. Die nahm nach erfolgreicher Übertragung aller Daten des Vorbeiflugs (78MB) wieder die Beobachtung des Kometen auf, mit offenem Ende: Der Treibstoff ist restlos verbraucht und Stardust nun wirklich zu nichts Neuem mehr zu gebrauchen. Am 25.3.2011 um 0:33 MEZ wurde der Sender Stardust entgültig abgeschaltet – nachdem ihm die Sonde für nur 29 Mio. US-Dollar zum Schluss praktisch eine komplette zweite Kometenmission geschenkt hatte.

Surftipps

Homepage der Missionsverlängerung: stardustnext.jpl.nasa.gov

Daniel Fischer

Vom Winde verweht

LBV-Sterne und ihre Nebel

VON KERSTIN WEIS

Der starke Massenverlust der Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen (LBV), massereichen Sternen in einer sehr instabilen Phase ihrer Entwicklung, erzeugt häufig kleine Nebel, die oft eine bipolare Form haben. Diese Nebel geben Hinweise, aber auch gleichzeitig Rätsel auf, über die Instabilität, welcher diese Sterne unterliegen.

Abb. 1: n Carinae ist das bekannteste Beispiel der Klasse der Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen alias-LBV-Sternen. Die Aufnahme zeigt den Stern und seine Nebelhülle im nahen infraroten Spektralbereich. Der bipolare Nebel entstand bei einer sog. großen Eruption.

Massereiche Sterne und ihre Entwicklung

Sterne, die bei der Entstehung masseärmer sind als ca. sieben Sonnenmassen, werden als massearme, solche, die mehr Masse besitzen, als massereiche Sterne bezeichnet [1]. Diese Einteilung ist nicht willkürlich, sondern basiert auf der wesentlich anderen Entwicklung, die Sterne unter- bzw. oberhalb dieser Massengrenze einschlagen. Als Sternentwicklung bezeichnet man die Veränderung eines Sterns mit der Zeit, also die Änderung seiner Parameter wie Temperatur, Helligkeit, Radius, seine Masse und damit verbunden die Massenverlustrate (Sternwind) im Laufe seines Lebens. Die Entwicklung zeigt sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD, Abb. 2) als ein Pfad, den der Stern durchläuft. Die massereichen Sterne, die in diesem Beitrag behandelt werden, entwickeln sich sehr schnell. Ihre Gesamtlebensdauer beträgt nur einige Millionen Jahre. Im Vergleich dazu wird die Sonne etwa 10 Milliarden Jahre alt. Die längste Zeit ihres Lebens, etwa 90%, verbringen massereiche wie auch massearme Sterne in der Hauptreihenphase. Hauptreihensterne sind stabil, d.h. die nach außen gerichtete Kraft, die ihre Quelle in der Energieerzeugung im Zentrum des Sterns hat und die nach innen wirkende Gravitationskraft halten sich die Waage. Die hohe Temperatur und Energie dieser Sterne wird durch die Fusion von Wasserstoff zu Helium im innersten Bereich des Sterns erzeugt.

In Abb. 2 werden Entwicklungswege, basierend auf computergestützten Sternentwicklungsrechnungen, für massereiche Sterne zwischen 15 und 120 Sonnenmassen skizziert, die zu Beginn ihres Lebens eine Rotation von 300km/s besitzen, die dann kontinuierlich geringer wird. Dabei zeigen sich

leicht die verschiedene Entwicklungswege, massereiche Sterne - je nach ihrer Anfangsmasse - einschlagen. Grob lassen sich drei Pfade unterscheiden, die möglich sind. Farblich hervorgehoben sieht man in Abb. 2. in rot den Weg, den Sterne zwischen 25 und 50 Sonnenmassen, in grün den, den Sterne zwischen 50 und 85 Sonnenmassen und in blau denjenigen, den die massereichsten Sterne, d.h. über 85 Sonnenmassen, durchlaufen.

Ganz generell gilt, dass massereiche Sterne nach der Hauptreihenphase sich zu niedrigeren Temperaturen hin entwickeln [1, 2]. Die masseärmeren (der massereichen) Sterne (roter Pfad) durchlaufen die Hauptreihenphase und werden danach zum Roten Überriesen bevor sie als Supernova explodieren. Die massereicheren Sterne (grüner Pfad) erreichen auf dieselbe Weise die Rote-Überriesen-Phase, kehren dann aber wieder zurück in den blauen, also heißen Bereich, wo sie vor der Supernova noch zu Wolf-Rayet-Sternen werden. Die massereichsten Sterne (blauer Pfad) erreichen nach der Hauptreihen-Phase nicht die Rote-Überriesen-Phase, sondern bleiben immer im blauen, heißen Bereich. Ihre anfängliche Entwicklung in den roten Bereich im HRD kehrt sich früh um und die Sterne werden wieder heißer, also blauer. Dieser Umkehrpunkt, der für hellere Sterne früher erreicht wird, definiert die Humphreys-Davidson-Grenze. Diese Grenze geht ursprünglich zurück auf eine wissenschaftliche Untersuchung aus dem Jahr 1979 [3], bei

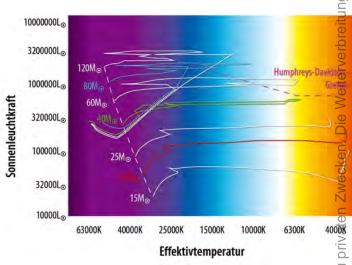


Abb. 2: Das Hertzsprung-Russell-Diagramm zeigt die Entwicklungswege von Sternen zwischen 15 und 120 Sonnenmassen (mit einer Rotationsgeschwindigkeit von 300km/s). Gestrichelt ist die Hauptreihe eingezeichnet und jeweils in rot, grün und blau sind drei unterschiedlichen Entwicklungspfade für Sterne mit 20, 40 und 85 Sonnenmassen hervorgehoben. Die »Umkehrpunkte» der Kurven (rechts) kennzeichnen das so genannte Humphreys-Davidson-Grenze. Da die Grenze empirisch gefunden und festgelegt wurde, stellt es nur eine Richtlinie dar. Reale Sterne können die Grenze daher für kurze Zeit in der LBV-Phase überschreiten.

der durch Beobachtungen festgestellt wurde, dass es in der Milchstraße keine sehr hellen roten (d.h. kühlen) massereichen Sterne zu geben scheint. Die Sterne werden in dieser Phase zu Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen (LBV). Nach der LBV-Phase durchlaufen auch sie das Stadium der Wolf-Rayet-Sterne und enden in einer Supernova.

Schon während der Hauptreihenphase haben massereiche Sterne einen starken Sternwind. Mit einer Geschwindigkeit von einigen Tausend km/s verlieren sie etwa 10⁻⁶ Sonnenmassen pro Jahr. Im Vergleich ist der Sonnenwind nur einige Hundert km/s schnell und bewirkt einen Massenverlust von lediglich 10^{-14} Sonnenmassen pro Jahr. Durch den stetigen und starken Sternwind besitzt so zum Beispiel ein massereicher Stern mit anfänglich 60 Sonnenmassen am Ende seines Lebens nur noch etwa 6 Sonnenmassen. Er hat ganze 54 Sonnenmassen an seine Umgebung abgegeben, bevor er als Supernova sein Leben beendet.

Sterne am Stabilitätslimit

Leuchtkräftige Blaue Veränderliche - daher der Name - sind veränderlich in ihrer Helligkeit und ändern ihr Spektrum, d.h. ihre Temperatur [4]. Die Bezeichnung LBV wurde 1984 von Peter Conti eingeführt [5]. Er vereinigte damit die bis dahin separat stehenden Klassen der S Doradus-, P Cygni- und der Hubble-Sandage-Variablen. LBV sind die Sterne, die sich in der Umkehrphase und damit in der Nähe der Humphreys-Davidson-Grenze befinden. Sie machen eine instabile Entwicklungsphase durch, die gleichzeitig den Übergang vom Hauptreihenstadium zum so genannten Wolf-Rayet-Stadium markiert, der letzten Entwicklungsphase sehr massereicher Sterne. Danach explodieren sie als Supernovae. Viele Aspekte der LBV-Phase sind bisher unverstanden, nicht zuletzt da es an Objekten mangelt. Grund hierfür ist zum einen die geringere Anzahl an massereichen Sternen - massearme Sterne sind im allgemeinen viel häufiger - und zum anderen die Kürze der LBV-Phase. Derzeitige Abschätzungen ergeben eine Phasenlänge von wenigen zehntausend Jahren.

Die erste Voraussetzung, damit ein Stern als LBV klassifiziert wird, ist, dass der Stern massereich ist, die zweite, dass er variabel ist. Die Variationen von LBV, die in der Regel irregulär sind, haben unterschiedliche Helligkeitsamplituden und laufen auf verschieden langen Zeitskalen ab. Ein LBV kann seine visuelle Helligkeit um einen Faktor drei in

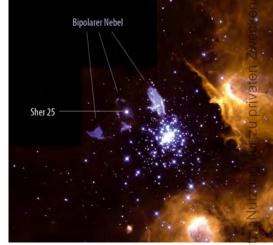
Die bekanntesten LBV in der Galaxis und der Großen Magellanschen Wolke¹ SIMBAD-Stern-Dekl. Helliascheinbare wahre DSRA/ Name R. A. bild Größe Größe Name keit Uran. 10^h 45^{min} 3,6^s -59° 41' 4,3' 9"×18"/60"×60" 0,33Lj×0,65Lj/ η Carinae (ar 4^m6 34/427 (beide optisch sicht-2,18Lj×2,18Lj baren Teile) AG Carinae Car 10^h 56^{min} 11,6^s -60° 27' 12,8" 7_,n1 48"×69" 4,64Lj×6,52Lj -/427 HR Carinae (ar 10h 22min 53,8s -59° 37' 28,4" 7,°6 27"×54" 2,12Lj×4,24Lj -/426 HD 160529 Sco 17h 41min 59,0s -33° 30' 13,7" 6^m8 -/-HD 168625 18h 21min 19,5s 9,5"×13" 0,42Lj×0,55Lj Sgr -16° 22' 26,1" 8, 4 -/-HD 168607 18h 21min 14,9s -16° 22' 31.8" 8^m3 -/-Sgr 10h 53min 59,6s -60° 26' 44,3' -/-He 3-519 Hen 3-519 Car 10^m9 28"×58" 6,85Lj×3,42Lj 24"×24" / 100"×100" P Cygni 34 Cyg 20^h 17^{min} 47,2^s +38° 1' 58,6" 4^m8 0,65Lj×0,65Lj / 14/119 Cyg (beide sichtbaren Teile) 2,74Lj×2,74Lj NGC 3603 25 NGC 3603 25 11h 15min 7,8s -61° 15' 17" 12,5"×32" 1,30Lj×3,26Lj 34/427 Car 12^m3 untersag (Sher 25) 11h 8min 40,1s WRA 751 WRAY 15-751 Car -60° 42' 51,7' 11,^m8 23"×23" 1,63Lj×1,63Lj R 71 RMC 71 5h 2min 7,4s -71° 20' 13,1" 10^m₇8 Men R 110 -/-St **RMC 110** Dor 5h 30^{min} 51,5^s -69° 2' 58,7" 9_n9 itung R 127 **RMC 127** Dor 5h 36min 43,7s -69° 29' 47,5" 9_n0 5"×5" 4,24Lj×4,24Lj R 143 **RMC 143** Dor 5h 38min 51,6s -69° 8' 7,2" 12^m₂2 5"×2,5" 3,92Lj×1,92Lj S Doradus Dor 5h 18min 14,4s -69° 15' 1,1" 9^m7 38/444 S 61 5h 40min 50,8s Weiterve SK-69 266 Dor -69° 26' 31,8' 14^m3 $3,4"\times3,4"$ 2,67Lj×2,67Lj S 119 SK-69 175 Dor 5h 31min 25,5s -69° 5' 38,4" 11^m9 7,4"×7,4" 5,89Lj×5,89Lj 5h 41min 44,7s Sk-69°279 SK-69 279 Dor -69° 35' 15,0' 12^m₇8 18"×26" 14,67Lj×20,21Lj Φ ¹ Daten teilweise aus SIMBAD, simbad.u-strasbq.fr/simbad Abb. 3: Die Region NGC 3603 mit einem

Abb. 3: Die Region NGC 3603 mit einem jungen Sternhaufen, der viele massereiche Sterne enthält. Einer dieser Sterne, Sher 25, ist ein guter LBV-Kandidat und ist von einem bipolaren Nebel umgeben. Aufnahme mit dem Weltraumteleskop Hubble [9].

etwa zehn Jahren verändern. Eine LBV-spezifische Helligkeitsschwankung ist die S Doradus-Variabilität [6], benannt nach dem Stern, bei der diese Variation erstmals gemessen wurde. Hier ist die fotometrische Veränderung mit einer Variabilität des Spektrums verknüpft. In einigen Fällen kommt es neben den Variabilitäten sogar zu Ausbrüchen des Sterns, den großen Eruptionen. Der Stern kann schlagartig – fast einer Supernova vergleichbar – seine Helligkeit um das mehr als Zehnfache vergrößern. Die berühmtesten Ausbrüche waren die der LBV P Cygni (um 1600) und η Carinae (um 1843 und 1890) [7].

Sterne in der LBV-Phase befinden sich nahe am so genannten Eddington-Limit. Diese Grenze ist definiert als der Punkt, an dem der nach außen gerichtete Strahlungsdruck des Sterns die nach innen wirkende Gravitationskraft überwiegt. Ein Stern, der das Eddington-Limit überschreitet wird daher instabil.

Die Nähe der LBV-Sterne zu dieser Grenze – welche sie kurzfristig auch überschreiten können – führt dazu, dass LBV-Sterne besonders leicht viel Materie verlieren, der

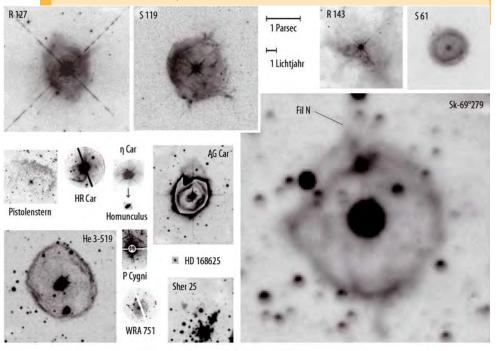


Sternwind ist erhöht. Der Massenverlust der Sterne in dieser LBV-Phase kann (im Durchschnitt) bis zu eintausendstel Sonnenmassen pro Jahr betragen oder eine Erdmasse am Tag! Als Konsequenz des starken Massenverlustes durch den Sternwind, bei einigen LBV auch durch die großen Ausbrüche, können LBV so genannte LBV-Nebel ausbilden.

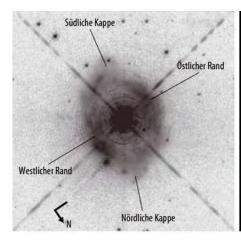
Durch die relativ unspezifischen Klassifikationsmerkmale für LBV und der Tatsache, dass sich die Sterne in der LBV-Phase auch mehrere Jahre lang ganz unspektakulär als blaue Überriesen zeigen, ist es schwer einem Stern anzusehen, ob er nun ein LBV ist oder nicht. Nur langjährige Studien, die seine Variabilität zum Vorschein bringen, erlauben es einen Stern eindeutig als LBV zu klassifizieren oder ihn zu einem guten

S Doradus-Variabilität

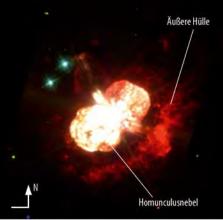
Bei dieser Variabilität, erstmals detektiert am Stern S Doradus in der Großen Magellanschen Wolke, handelt es sich um eine Helligkeitsschwankung, deren Ursprung in einer Veränderung der Temperatur und des Radius des Sterns liegt. Die Leuchtkraft eines Sterns hängt von der Temperatur zur vierten Potenz und quadratisch vom Radius ab. Während einer S Dor-Variabilität ändert sich die Temperatur, der Stern wird zunächst kühler, gleichzeitig aber dehnt er sich aus und der Radius vergrößert sich. Beide Veränderungen sind genau so abgestimmt, dass die Leuchtkraft gleich bleibt: Halbiert sich die Temperatur, so vervierfacht sich der Radius. Nach einiger Zeit kehrt sich dieser Prozess wieder um, der Stern schrumpft und wird wieder heißer. Die Dauer eines solchen S Dor-Zyklus reicht von wenigen Jahren bis zu Jahrzehnten. Da sich die Temperatur, d.h. das Spektrum des Sterns verändert, ändert sich aber innerhalb eines Zyklus die Farbe des Sterns. Bei einer Helligkeitsmessung des Sterns, z.B. im visuellen Band, wird der Stern daher in der kühlen Phase heller und wieder schwächer, wenn er heißer wird.



• Abb. 4: Diese Collage visualisiert die bisher bekannten LBV-Nebel in der Galaxis und in der Großen Magellanschen Wolke. Die Nebel sind im selben Größenverhältnis dargestellt. Alle Aufnahmen, wurden mit einem Hα- oder Stickstoff-Filter (658nm) im roten Spektralbereich aufgenommen (Ausnahme: Pistolenstern im IR-Bereich).



LBV-Kandidaten zu machen. Der bekannteste LBV auf der Nordhalbkugel ist der Stern P Cygni. Nach diesem Stern ist das P Cygni-Profil benannt, das die Form einer stellaren Spektralinie (z. B. der Balmer-Li-



nien) beschreibt, die auf einen starken Sternwind des Sternes hinweist.

Interessanterweise sind die meisten LBV aber auf der Südhalbkugel zu finden. Gerade das Sternbild Carina scheint beliebt zu sein:

η Carinae

Im Herzen des großen Gasnebelskomplexes NGC 3372 liegt eine Region, die man den Schlüssellochnebel nennt. Im Osten glänzt hell η Carinae, ein LBV der seit Jahren als einer der massereichsten Sterne in unserer Milchstraße gilt. Nach einer großen Eruption im Jahre 1843, die n Carinae mit etwa –1^m kurzfristig zum zweithellsten Obiekt der südlichen Hemisphäre werden ließ, ist der Stern nun mit etwa 4^m,6 wieder erheblich schwächer [10]. Doch richtig Ruhe ist nicht eingekehrt, weder bei η Carinae noch beim Interesse der Astronomen an ihm. Sofort kommen Fragen auf, wie es zu diesem Ausbruch kommen konnte, welche physikalischen Instabilitäten sich dahinter verbergen und wie lange es wohl noch dauern wird, bis n Carinae zur Supernova wird. Aktuelle Messungen quer über alle Spektralbereiche zeigen, dass es heute weiterhin Variationen bei η Carinae gibt, mit den unterschiedlichsten Amplituden und Zeitskalen. So zeigen Aufnahmen im Röntgenlicht, dass das Objekt innerhalb von 80 Tagen variiert. Spektrale Untersuchungen im Optischen notieren das Auftauchen und Verschwinden von bestimmten Linien im nahezu periodischen Rhythmus von 5,52 Jahren. Im selben Abstand kommt es auch zu einem zunächst starken Anstieg der harten Röntgenemission, gefolgt von einem steilen Abfall dieser Emission. All diese Ereignisse sprechen gegen eine klassische S Doradus-Variabilität. Es verdichten sich die Hinweise darauf, dass man es hier mit einem Doppelsternsystem zu tun hat: Zwei massereiche Sterne umkreisen sich

◀ Abb. 5: Zwei bipolare LBV-Nebel: Rechts ist der Nebel um η Carinae, der aus der äußeren Hülle und dem Homunculus besteht, zu sehen. Der kleine Homunculus innerhalb des Homunculus ist hier nicht sichtbar. Links ist der Nebel um den Stern R 127 abgebildet. Während der zentrale Bereich nahezu eine perfekte runde Kugel darstellt, sorgen die beiden Kappen oben und unten für eine bipolare Komponente. Messungen haben ergeben, dass die obere, südliche Kappe von uns wegfliegt und die nördliche Kappe sich auf uns zu bewegt.

AG Car, HR Car und η Car sind gleich drei LBV innerhalb von nur $4^{\circ} \times 4^{\circ}$. Bisher wurden LBV hauptsächlich in unserer Milchstraße und den Magellanschen Wolken gefunden, in M 31 und M 33 gibt es ebenfalls einige sehr gute Kandidaten. Tab. 1 listet die bekanntesten und klassischen Objekte in der Galaxis

innerhalb von etwas über 5,5 Jahren auf einer stark elliptischen Bahn. Im Periastron sind die Sterne sich so nah, dass ihre starken Winde kollidieren und Röntgenstrahlung und hoch angeregte Spektrallinien erzeugen. Beim weiteren Umrunden soll dann der Begleiter in die dichte Hülle des Primärsterns, dem LBV, eintauchen, was zum Verschwinden der Röntgenemission und Linien führt.

Schon bei Beobachtungen 1938 konnte W. H. van den Bos feststellen, dass n Carinae - damals gern noch als n Argus bezeichnet nach dem heute nicht mehr existierenden Sternbild Argo oder Argo Navis (Schiff), das in die drei kleineren Sternbilder Carina (Schiffskiel), Puppis (Achterdeck) und Vela (Segel) aufgeteilt wurde – kein punktförmiges Objekt ist, sondern einen roten Halo besitzt. Heute weiß man, dass n Carinae von einem zirkumstellaren LBV-Nebel umgeben ist, den man neuerdings sogar in drei räumlich getrennte Gebiete unterteilen kann und der nach den letzten Messungen eine Gesamtmasse von 20-30 Sonnenmassen besitzt! Erste Aufnahmen des Nebels im Jahre 1944 ließen beim Beobachter Enrique Gaviola die Assoziation aufkommen, ein kleines Männchen zu sehen. So nannte er das, was er sah, den Homunculus, und definierte in seiner Publikation [12] genau den Kopf, linken und rechten Fuß sowie die Schultern.

Mit neueren Aufnahmen, z.B. des Hubble Weltraumteleskops (Abb. 5 und 7) zeigt sich heute aber klar eine bipolare Struktur, die sich mit einer Sanduhr vergleichen lässt. Zwei Kugeln, eine, die auf uns zu, und eine zweite, die von uns weg geneigt scheint, sind in der Mitte durch etwas getrennt, das man als

äquatoriale Scheibe bezeichnet. Um diese bipolare Struktur herum liegt der zweite im optischen Spektralbereich sichtbare Nebel, die so genannte äußere Hülle. Die Form des Homunculus ist aber auch heute noch erkennbar, wenn man nur die Bereiche mit der höchsten Intensität betrachtet. Der zentrale Teil der Scheibe bildet den Kopf und weitere Bereiche der Scheibe markieren die Schultern und Ärmchen, die Beine liegen in der südöstlichen Kugel. Der bipolare Homunculus, wie der Nebel auch heute weiterhin genannt wird, ist der Hauptbestandteil des Nebels um η Carinae. Innerhalb des Homunculus liegt, vergleichbar einer Matrjoschka-Puppe, der kleine Homunculus, ein kleinerer Nebel, der eine ganz ähnliche Struktur und räumliche Ausrichtung hat wie der Homunculus. Da der Homunculus aber ein sehr dichter – und staubiger - Nebel ist, kann dieser kleinere Bruder nicht direkt gesehen werden, sondern nur indirekt über Infrarot-Spektroskopie nachgewiesen werden.

Noch größer als der Homunculus sind die äußeren Bereiche des Nebels von η Carinae, die äußere Hülle. Das HST-Bild in Abb. 7 zeigt im Detail, dass dieser Teil des Nebels am besten als eine Ansammlung von Knoten und Klumpen der verschiedensten Größen und Formen beschrieben werden kann. Eine regelmäßige Struktur scheint hier zu fehlen. Bei genauem Betrachten kann man zwischen der äußeren Hülle und dem Homunculus aber doch einige Zusammenhänge erkennen, so scheinen z.B. einige Teile der äquatorialen Scheibe auch in der äußeren Hülle fortgesetzt zu sein. Die äußere Hülle ist also nicht komplett irregulär. Während ihr Aus-



Der Carina-Nebel NGC 3372, der den Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen η Carinae beheimatet.

sehen doch sehr unregelmäßig ist, haben Untersuchungen gezeigt, dass die Expansion regelmäßiger, ja sogar bipolar ist [12]. Der Homunculus wie auch der kleine Homunculus expandieren, wie nicht anders zu erwarten, bipolar. Ihre maximalen Expansionsgeschwindigkeiten sind 600km/s und 200km/s. Die südöstliche Kugel (in Abb. 5 links unten), bewegt sich dabei auf uns zu, die andere Kugel entfernt sich von uns. Untersucht man die Bewegung der Knoten in der äußeren Hülle, ergibt sich erstaunlicherweise folgendes Bild: Knoten im südöstlichen Bereich um n Carinae herum fliegen auf uns zu (sind also blauverschoben), während Klumpen in der nord-westlichen Region rotverschoben sind und sich damit entfernen. Zusammengefasst beschreibt dies wieder eine bipolare Struktur, mit derselben Ausrichtung wie der Homunculus und der kleine Homunculus. Besonders beeindruckend sind die Geschwindigkeiten, mit der diese Klumpen expandieren, allein der radiale Anteil beträgt einige 1000km/s. So ist es nicht überraschend, dass die äußere Hülle im Röntgenlicht (Abb. 8) zu sehen ist. Durch starke Stöße erhitzt sich das Gas, das dann Röntgenstrahlung aussendet [13]: η Carinae ist eine heiße Sache!

und der Großen Magellanschen Wolke. Neben deren Koordinaten und Helligkeiten – die nur eine derzeitige Abschätzung sind, da sie variabel sind – wurden auch, falls vorhanden, die Dimensionen ihrer Nebel angegeben. Letztere Angabe bezieht sich auf Messungen im Licht der roten H α - (656nm) oder verbotenen Stickstoff-Linie (658nm).

Klein aber fein – LBV-Nebel

Da LBV-Nebel recht klein sind – einige wenige Lichtjahre im Durchmesser – können direkte Aufnahmen bisher nur von Objekten in unserer Galaxis und in den Magellanschen Wolken gemacht werden [8]. Während in beiden Magellanschen Wolken LBV bekannt sind, gibt es in der Kleinen Magellanschen Wolke bisher keinen LBV mit einem Nebel. Ein Beispiel für einen solchen

Nebel um den Stern Sher 25 in der Region NGC 3603 [9] zeigt Abb. 3. Die Morphologie, d.h. Form und Aussehen der LBV-Nebel (Abb. 4) ist sehr vielfältig; von nahezu perfekt kugelförmig wie z.B. bei S 61, über fast kastenförmige Strukturen (He 3-519) bis hin zu komplett irregulären Objekten (R 143) ist alles vertreten. Erstaunlich dabei ist, dass eine signifikante Anzahl an Nebeln bipolar ist oder zumindest bipolare Komponenten aufweisen. Diese bipolaren Objekte sehen

Abb. 6: Die Region, in die η Carinae eingebettet ist, beherbergt viele massereiche Sterne aber auch heißes, leuchtendes Gas und Staub. η Carinae und der Homunculus sind hier als ausgedehntes Objekt unterhalb der Bildmitte zu erkennen, der Schlüssellochnebel ist der ausgedehnte Dunkelnebel rechts davon.

dann entweder aus wie eine Sanduhr wie bei η Car (Abb. 5) bzw. Sher 25 (Abb. 3) oder haben an gegenüberliegenden Enden dreieckig wirkende Kappen wie z.B. R 127 (Abb. 5). Eine statistische Analyse der verschiedenen Morphologien ergibt, dass 50% aller



Dokument

Große Eruptionen

Einige der LBV zeigen so genannte Große Eruptionen. Der Name bezieht sich auf eine kurze Phase von wenigen Jahren, in der der LBV seine Helligkeit drastisch (mehrere Magnituden) steigert, nicht unähnlich zu einer Supernova. So hat sich für diese Art von LBV auch die englische Bezeichnung »Supernova impostors« (engl. impostor = Hochstapler) eingeprägt, er ist also ein Stern, der nur vorgibt eine Supernova zu sein. Heute werden Supernova impostors als »Nebenprodukte« in Supernova Suchprogrammen entdeckt. Detektionen, die nachweislich keine Supernovae sind, sind daher sehr gute Kandidaten für Supernova impostors. Die beiden berühmtesten historischen Beispiele für solche Eruptions-LBV oder supernova impostors (ein supernova imposter kann ein LBV sein, muss aber nicht, während ein Eruptions-LBV definitiv ein LBV ist) sind η Carinae und P Cygni. Zumindest bei η Carinae ist die Bildung seines Nebels auf diese große Eruption zurück zu führen. Warum es zu diesen Eruptionen kommt und was der zugrunde liegende Mechanismus dafür ist, ist bislang nicht vollständig verstanden, einer der Gründe liegt aber in Nähe des Sterns zur Humphreys-Davidson-Grenze, welche ein Stabilitätslimit darstellt.

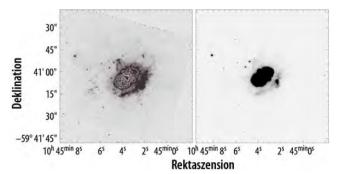


Abb. 7: Der Homunculus und die äußere Hülle aufgenommen mit dem Hubble-Weltraumteleskop (links) und mit dem 0,9m-Teleskop am Cerro Tololo Inter-American Observatorium in Chile (rechts, 0,5s belichtet). Selbst in der Aufnahme des bodengebundenen Teleskops kann man die bipolare Form des Homunculus und Teile der äußeren Hülle gut erkennen. Um die hellsten Stellen vom Homunculus und damit die bipolare Form im Vergleich zur Gesamtform sehen zu können, sind sie im HST-Bild auch als Konturen abgebildet.

Nebel bipolar, 40% wirklich kugelförmig und 10% irregulär in ihrem Aussehen sind [10]. Einige Nebel haben zusätzlich Ausflüsse oder nach außen ragende Filamente wie Sk-69°279. Die wahren maximalen Größen der

Nebel schwanken zwischen 0,42Lj bei HD 168625 bzw. 0,65Lj beim Homunculus von η Car bis zu fast 14,7Lj bei Sk-69°279 (bzw. etwas über 20Li, wenn man das Filament N mit einbezieht, Abb. 4). Bei zwei LBV kann der Nebel in mehrere räumlich getrennte Bereiche eingeteilt werden. P Cygni hat einen inneren (0,65Lj) und einen äußeren Nebel (2,74Lj). Bei n Carinae sind es sogar drei Regionen. Die Expansionsgeschwindigkeiten, mit der sich die LBV-Nebel ausdehnen, reichen mit 14km/s von Sk-69°279 bis 185km/s

für den äußeren Nebel von P Cygni. Die Nebel um η Car sind ungewöhnlich. Sie expandieren extrem schnell, der Homunculus mit durchschnittlich 300km/s und in der äußeren Hülle bringen es einzelne Bereiche auf

bis zu 3200km/s. Typische Werte für die Expansionsgeschwindigkeiten der galaktischen LBV-Nebel liegen bei nur 50km/s, die Nebel in der Großen Magellanschen Wolke bringen es nur etwa auf die Hälfte davon. Die Bipolarität der LBV-Nebel kann auch in ihrem Expansionsverhalten nachgewiesen werden. Nebel mit der Form eines Stundenglases zeigen im Spektrum eine blau (»auf-uns-zu«) und eine rot (»von-uns-weg«) verschobene, expandierende Kugel. In analoger Weise expandieren bei den bipolaren Nebeln die beiden Kappen in verschiedene Richtungen, d.h. eine auf uns zu, die andere von uns weg. In einigen Nebeln ergeben Messungen, dass die Filamente oder Ausflüsse mit höheren Geschwindigkeiten expandieren als der Rest des Nebels so z.B. das Filament N bei Sk-69°279.

Bisher weiß man nicht genau, was den Stern dazu veranlasst, in der LBV-Phase seinen Sternwind zu erhöhen und wieso es zu solchen großen Eruptionsereignissen kommt. Durch Analysen der Eigenschaften der Nebel wie der Form, der Expansionsgeschwindigkeiten und der chemischen Zusammensetzung, lassen sich aber erste Rückschlüsse ziehen, welche Mechanismen hier am Werk sein könnten. Die erhöhte Anzahl an bipolaren Nebeln zum Beispiel legt nahe, dass die stellare Rotation einen Einfluss hat. In der Tat zeigen neue Arbeiten über die LBV HR Carinae und AG Carinae eine schnelle Rotation, passend dazu, dass beide Sterne einen bipolaren Nebel haben. Messungen der chemischen Zusammensetzung der Nebel ergab weiterhin, dass es eine starke Anreicherung an Stickstoff in den Nebeln gibt. Dies lässt sich am besten damit vereinbaren, dass dieses Material direkt aus dem Innersten der Sterne stammt. Nur hier läuft die atomare Kernreaktion ab, in der (im

Was sind Helligkeit und Leuchtkraft?

in Stern wird durch seine Zustandsgrößen wie Masse, Radius, Dichte, Temperatur, Leuchtkraft, Farbe und Spektraltyp charakterisiert. Nicht alle dieser Größen sind unabhängig voneinander, so ergibt sich z.B. die Dichte aus Masse und Radius. Die scheinbare Helligkeit eines Sterns wird oft ebenfalls bei den Zustandsgrößen aufgeführt, obwohl sie genau genommen keine ist, da sie von der Entfernung des Sterns zum Beobachter abhängt. Bereits im Altertum teilte man die Helligkeiten der Sterne in sog. Größenklassen ein. Die hellsten Sterne gehörten zur 1. Größenklasse, die schwächsten - mit bloßem Auge sichtbaren – zur 6. Größenklasse. Die moderne Definition orientiert sich an dieser historischen

Einteilung und berücksichtigt, dass der Sinneseindruck, d.h. das Helligkeitsempfinden des Auges, proportional zum Logarithmus des Reizes durch die einfallende Lichtmenge ist. Als Einheit der Größenklasse (lat.: magnitudo) wird meist ein hochgestelltes ^m gewählt.

Die scheinbare Helligkeit sagt allerdings nichts über die wahre Helligkeit eines Sterns aus, denn ein weit entfernter heller und ein naher schwacher Stern würden denselben Sinnesreiz auslösen, denn die Helligkeit (nicht nur von Sternen) nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zum Beobachter ab. Um die tatsächlichen Helligkeiten der Sterne vergleichen zu können, hat man die absolute Helligkeit definiert. Sie bezeichnet die Helligkeit, die

ein Stern hätte, wenn er in einer (Standard-) Entfernung von 10pc stünde. Zur Berechnung der absoluten Helligkeit aus der scheinbaren Helligkeit ist die Kenntnis der Entfernung des Sterns erforderlich. Wenn die absolute Helligkeit eines Sterns jedoch auf andere Weise ermittelt werden kann, wie zum Beispiel bei den Cepheiden, dann lässt sich aus dem Vergleich mit der scheinbaren Helligkeit die Entfernung ermitteln.

Sterne strahlen über das elektromagnetische Spektrum unterschiedlich viel Licht ab, was sich in den Sternfarben äußert. Die Helligkeit eines Sterns ist deshalb abhängig von der Wellenlänge bei der sie gemessen wird. Man gibt die Wellenlänge oder den Wellen-

sog. CNO-Zyklus) über mehrere Zwischenschritte (Anlagerung an Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff) aus Wasserstoff Helium wird. Innerhalb dieser Reaktionskette gibt es einen Prozess, der sehr langsam ist und in dem aus einem Stickstoffatom ein Sauerstoffatom wird. Da die anderen Prozesse viel schneller ablaufen, kommt es innerhalb der Reaktionskette hier zu einem Stau: In der Materie gibt es sehr viele Stickstoffatome. Die LBV-Nebel zeigen genau diese Überhäufigkeit an Stickstoff. Die Nebelmaterie besteht also zu einem großen Teil aus Material aus dem Kern des Sterns.

Die Konvektion im Inneren des Sterns mischt das Material mit erhöhtem Stickstoffanteil aus den tieferen in höher liegende Schichten und der starke Sternwind legt diese Schichten immer weiter frei. So gelangt der Stickstoff über den Sternwind in die Nebel. Auch die Rotation der Sterne spielt hier eine Rolle, da in rotierenden Sternen ein zusätzlicher Mischungsprozess einsetzt, initiiert durch die zusätzliche Zentrifugalkraft, der diesen Effekt der Anreicherung des Stickstoffs an der Oberfläche beschleunigt.

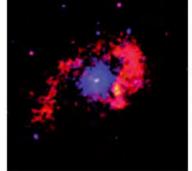
Wissen und nicht wissen

Um LBV, und damit einen wichtigen Teil der Sternentwicklung massereicher Sterne an sich, besser verstehen zu können, ist es wichtig, eine gute und hohe Anzahl an LBV zu analysieren. Dazu gilt es zum einen, neue LBV zu finden, zum anderen, die bekannten weiter zu beobachten. Da die Klassifikation zu einem LBV erfordert, dass er variabel ist, sind längere zeitliche Analysen der Helligkeit von potenziellen Kandidaten nötig, um ihnen die Klassenzugehörigkeit zu verleihen. Da die Objekte aber massereiche Sterne mit

zeitweise großem Radius und relativ niedriger Temperatur sind, leuchten sie in dieser Zeit hell im optischen Spektralbereich und sind daher (im S Doradus-Zyklus) auch mit kleineren Teleskopen beobachtbar. Die aktuelle wissenschaftliche Forschung (mit Großteleskopen und dem Weltraumteleskop Hubble) auf diesem Gebiet beschäftigt sich mit der Suche nach LBV in großen Entfernungen, um u.a. deren Zusammenhang

mit den ersten Sternen und den Gamma-Ray-Bursts zu analysieren. Gleichzeitig helfen die spektralen Analysen mit diesen Teleskopen die Kinematik der Nebel genau zu messen, sowie die chemische Zusammensetzung zu bestimmen. Auch die Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeiten der Sterne, die wie vieles andere eventuell auch zeitlich variieren, ist eine neue wichtige Arbeit, da bisher von nur wenigen LBV diese Werte bekannt sind.

- [1] Langer, N.: Leben und Sterben der Sterne, C. H. Beck Wissen Beck'sche Reihe, München (1995)
- [2] Maeder, A., Meynet, G.: Stellar rotation, stellar evolution, mass loss, mixing, chemical abundances, ARA&A 38, 143 (2000)
- [3] Humphreys, R. M., Davidson K.: Studies of luminous stars in nearby galaxies. III – Comments on the evolution of the most massive stars in the Milky Way and the Large Magellanic Cloud, Astrophys. J. 232, 409 (1979)
- [4] Humphreys, R. M., Davidson K.: The luminous blue variables: Astrophysical geyser, PASP 106, 1025 (1994)
- [5] Conti, P. S.: Basic Observational Constraints on the Evolution of Massive Stars, IAU Sym. 105, 233 (1984)



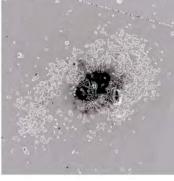


Abb. 8: η Carinae im Röntgenbereich. In der Darstellung links ist in Blau die sehr harte (energiereiche) Röntgenstrahlung, in Rot die etwas weichere (weniger energiereiche) Emission zu sehen. Die harte Strahlung entsteht am Stern durch Sternwinde, während die weichere durch Stöße der Klumpen untereinander in der äußere Hülle produziert wird. Das rechte Bild zeigt dies gut durch die Überlagerung der Konturen der weichen Röntgenstrahlung mit dem HST Bild.

- [6] van Genderen, A. M.: S Doradus variables in the Galaxy and the Magellanic Clouds, Astron. Astrophys. 366, 508 (2001)
- [7] Humphreys, R. M., Davidson, K., Smith, N.: Eta Carinae's Second Eruption and the Light Curves of the eta Carinae Variables, PASP 111, 1124 (1999)
- 8] Weis, K.: LBV Nebulae: The Mass Lost from the Most Massive Stars, Reviews of Modern Astronomy 14, 261 (2001)
- [9] Brandner, W. et al.: Ring Nebula and Bipolar Outflows Associated with the B1.5 Supergiant Sher 25 in NGC 3603, Astrophys. J. 475, 45 (1997)
- [10] Weis, K.: Wind relics: clumps, inhomogeneities and outflows in LBV nebulae, opus.kobv.de/ubp/volltexte/2008/1823/pdf/Article41.pdf (2008)
- [11] Otero, S.: Eta Carinae, varsao.com.ar/Curva_Eta_Carinae.htm
- [12] Gaviola, E.: Eta Carinae. I. The Nebulosity, Astrophys. J. 111, 408 (1950)
- [13] Weis, K. et al.: A spectral and spatial analysis of η Carinae's diffuse X-ray emission using CHANDRA, Astron. Astrophys. 415, 595 (2004)

von Peter und Susanne Friedrich

ASTROWISSEN

längenbereich als Index an. Die scheinbare visuelle Helligkeit wird z.B. mit m, bezeichnet. Die scheinbare bolometrische Helligkeit m_{bol} hingegen berücksichtigt den gesamten Strahlungsstrom, den wir von einem Stern bei allen Wellenlängen, d.h. über das gesamte elektromagnetische Spektrum empfangen. Kennt man die Entfernung zu einem Stern, kann man auch seine absolute bolometrische Helligkeit angeben, die ein direktes Maß für die Energie ist, die der Stern pro Sekunde im gesamten Spektralbereich emittiert. Diese Größe nennt man Leuchtkraft und stellt physikalisch eine Leistung dar. Die Leuchtkraft der Sonne ist gut bekannt und beträgt 3,9·10²⁶W, ihre absolute bolometrische Helligkeit M_{bol} ist 4^M,72.

Sterne können bei gleicher Oberflächentemperatur ganz unterschiedliche Leuchtkräfte besitzen, je nachdem wie groß ihr Durchmesser ist. Diesem Umstand trägt die Yerkes- oder MK-Klassifikation nach W. W. Morgan und P. C. Keenan Rechnung. Sie ist die Weiterentwicklung der Harvard Spektralklassifikation, die eine Temperatursequenz darstellt, zu einer zweidimensionalen Klassifikation der Sterne. Das Linienspektrum eines Sterns wird nämlich nicht nur durch seine Oberflächentemperatur bestimmt, sondern auch durch den Druck der freien Elektronen in der Sternatmosphäre. Dieser ist in den Atmosphären von Riesensternen geringer als in denen von Hauptreihensternen. Man unterscheidet deshalb sieben Leuchtkraftklassen:

| Leuchtkraftklassen nach Morgan und Keenan [1] | | | | | |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| Leucht- kraftklasse | deutsche Bezeichnung | englische Bezeichnung | | | |
| la-0 | Über-Überriesen | super-supergiants $\frac{2}{5}$ | | | |
| la,b | Überriesen | supergiants | | | |
| lla,b | helle Riesen | bright giants | | | |
| IIIa,b | normale Riesen | giants | | | |
| IVa,b | Unterriesen | subgiants t | | | |
| Va,b | Zwergsterne (=Hauptreihensterne) | dwarfs (=main sequence stars) | | | |
| Vla,b | Unterzwerge | subdwarfs | | | |

Voigt, H. H.: Abriss der Astronomie, 4. Auflage,B.I. Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich(1988)

Himmelsereignisse im Juni/Juli 2011

Mitten im Erdschatten

Totale Mondfinsternis am 15. Juni



Am Abend des 15.6.2011 findet eine Totale Mondfinsternis statt, die von Mitteleuropa aus jedoch nur teilweise zu sehen ist. Wie dunkel die totale Phase ausfallen wird, hängt neben der Horizonthöhe vom Aerosolgehalt in der Erdatmosphäre ab und wird durch die Danjon-Skala charakterisiert.

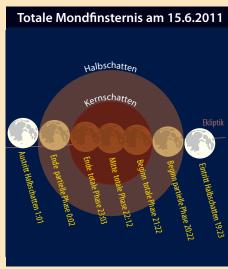
Aufmerksame Beobachter des Nachthimmels werden am 15. Juni 2011 feststellen, dass der Vollmond gegen 21:30 Uhr Sommerzeit in dunkelrotem Licht über dem Südosthorizont aufgeht. Zu diesem Zeitpunkt ist die totale Mondfinsternis bereits in vollem Gange.

Bereits um 19:23 MESZ tritt der Mond, in Mitteleuropa noch unter dem Horizont befindlich, in den Halbschatten der Erde ein. Knapp eine Stunde später, um 20:22 MESZ, beginnt der Eintritt in den Kernschatten. Um 21:22 MESZ ist dann der gesamte Mond im Erdschatten verschwunden. Zu diesem Zeitpunkt ist der Mond noch nicht überall im deutschen Sprachraum aufgegangen, im Westen müssen die Beobachter noch bis zu 20 Minuten länger warten, um den verfinsterten Mond aufgehen zu sehen.

Eine Besonderheit der Finsternis am 15. Juni ist der Verlauf der Mondbahn zum Erdschatten: Bei dieser Finsternis bewegt sich der Mond fast zentral durch den Erdschatten, so dass wir einen der längsten Totalitätszeiträume erleben können. Die Mitte der Finsternis tritt um 22:12 MESZ ein. Der Mond steht dabei je nach Beobachtungsort 4° bis 8° über dem Horizont – eine freie

Horizontsicht mit wenig Dunst ist daher für eine erfolgreiche Beobachtung unabdingbar. Die Magnitude der Finsternis, d.h. das Maß der Eindringtiefe des Mondes in den Kernschatten beträgt 1,71 (maximal möglich ist eine Magnitude von 1,825). Während der Mitte der Totalität sollte die Helligkeit der Finsternis bestimmt werden. Dazu eignet sich die Danjon-Skala (vgl. Kasten). Die Helligkeit einer Mondfinsternis variiert je nach den atmosphärischen Bedingungen. Bei Einbringung von vielen Aerosolen in die Erdatmosphäre, z.B. durch Vulkanausbrüche, wird weniger Licht in der Erdatmosphäre in Richtung Mond gestreut und die Finsternis erscheint dunkel. Bei zentralen Finsternissen, wie bei dieser, wird ein Abfall der Mondhelligkeit von etwa 14 Größenklassen auf etwa +2^m erwartet.

Die Totalität endet um 23:03 MESZ und kurz nach Mitternacht um 0:02 MESZ tritt dann der Mond aus dem Kernschatten aus und befindet sich im Halbschattenbereich der Erde. Diese Phase der Finsternis ist zumindest anfangs noch visuell als Helligkeitsgradient auf der Mondoberfläche zu erkennen, später dann aber mit dem menschlichen Auge nicht mehr wahrzu-



Danjon-Skala

L = 0 sehr dunkle Finsternis; Mond fast unsichtbar, besonders in der Mitte der Totalität

L = 1 dunkle Finsternis; graue oder bräunliche Färbung; Details der Mondoberfläche nur schwierig erkennbar

L = 2 tiefrote oder rostrote Finsternis, mit einem sehr dunklen Zentrum, aber relativ hellem Rand des Kernschattens

L = 3 ziegelrote Finsternis, gewöhnlich mit einem hellen oder gelblichen Rand des Kernschattens

L = 4 sehr helle kupferrote oder orange Finsternis mit einem sehr hellen bläulichen Kernschattenrand.

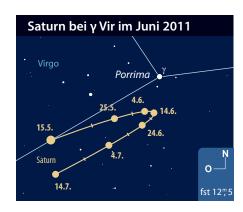
nehmen, messtechnisch aber leicht nachzuweisen. Um 1:01 MESZ ist dann der Mond endgültig aus dem Erdschatten herausgetreten und die erste Mondfinsternis in diesem Jahr beendet

André Knöfel

Saturn trifft Porrima am 10. Juni

Saturn bewegt sich nach seiner Oppositionsstellung im April jetzt zur Jahresmitte nur noch sehr langsam im Sternbild Jungfrau Richtung Westen und wird am 14. Juni stationär. Damit beendet er seine Rückläufigkeit und wandert danach wieder schneller werdend in östliche Richtung. Die Helligkeit nimmt dabei langsam ab – Anfang Juni beträgt sie noch 0,7 und verbleibt ab Ende Juni bei 0,79.

Das Ende der Oppositionsschleife lässt sich durch ein markantes Vergleichsobjekt hervorragend beobachten. In einem Abstand von nur 16', also gerade einmal eine halbe Vollmondbreite entfernt, befindet sich der Stern Porrima (γ Vir), der nach der italienischen Geburtsgöttin benannt wurde. Dieser 2^m,9 helle Doppelstern, dessen beide Komponenten der Spektralklasse F0 angehören und damit beide weiß-gelb erscheinen, eignet sich als Bezugspunkt, um



den Umkehrpunkt von Saturn visuell oder fotografisch zu dokumentieren. Der Doppelstern ist derzeit nur mit größeren Instrumenten zu trennen, da die beiden Komponenten nur einen Abstand von ca. 1" voneinander haben.

■ André Knöfel

| Astronomische Ereignisse im Juni/Juli | | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|--|
| 1.6. | 23:03 MESZ | Neumond | | |
| 9.6. | 4:11 MESZ | Mond Erstes Viertel | | |
| 10.6 | 5:12 MESZ | Saturn bei γ Vir, Saturn 16' südlich | | |
| 13.6. | 1:44 MESZ | Merkur in Oberer Kon- junktion | | |
| 15.6. | 20:22 MESZ | Totale Mondfinsternis | | |
| 15.6. | 22:14 MESZ | Vollmond | | |
| 21.6. | 19:17 MESZ | Sommeranfang | | |
| 23.6. | 13:48 MESZ | Mond Letztes Viertel | | |
| 28.6. | 7:20 MESZ | Pluto in Opposition | | |
| 30.6. | 8:18 MESZ | Mond bei Venus, Mond 25' südlich | | |
| 1.7. | 10:54 MESZ | Neumond | | |
| 4.7. | 16:54 MESZ | Erde im Aphel | | |
| 8.7. | 8:29 MESZ | Mond Erstes Viertel | | |
| 15.7. | 8:40 MESZ | Vollmond | | |
| 20.7. | 7:02 MESZ | Merkur in größter öst- licher Elongation | | |
| 23.7. | 7:02 MESZ | Mond Letztes Viertel | | |
| 29.7. | 15:50 MESZ | Pallas in Opposition | | |
| 30.7. | 20:40 MESZ | Neumond | | |
| Zeiten bez | Zeiten bezogen auf die Mitte des deutschen Sprachraums (Nürnberg) | | | |

Mondsichel begegnet Venus am 30. Juni

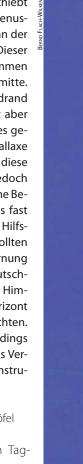


Am Morgen des 30. Juni 2011 überholt der Mond in nur 0,1° südlichem Abstand die hell strahlende Venus. Bereits kurz vor Sonnenaufgang gegen 5:00 MESZ hat sich der Abstand zwischen Mond und Venus auf 1,7° reduziert. Nur 1,8% der uns zugewandten Mondoberfläche sind zu diesem Zeitpunkt, gut einen Tag vor Neumond, noch beleuchtet und erscheinen mit einer Helligkeit von –57°,4. Die Venus dagegen ist zu 98% illuminiert und zeigt sich in einer Winkelausdehnung von nur 10" und einer Helligkeit von –37°,9. Beide Himmelskörper stehen zu diesem Zeitpunkt nur wenige Grad über dem Nordost-Horizont. Im Laufe

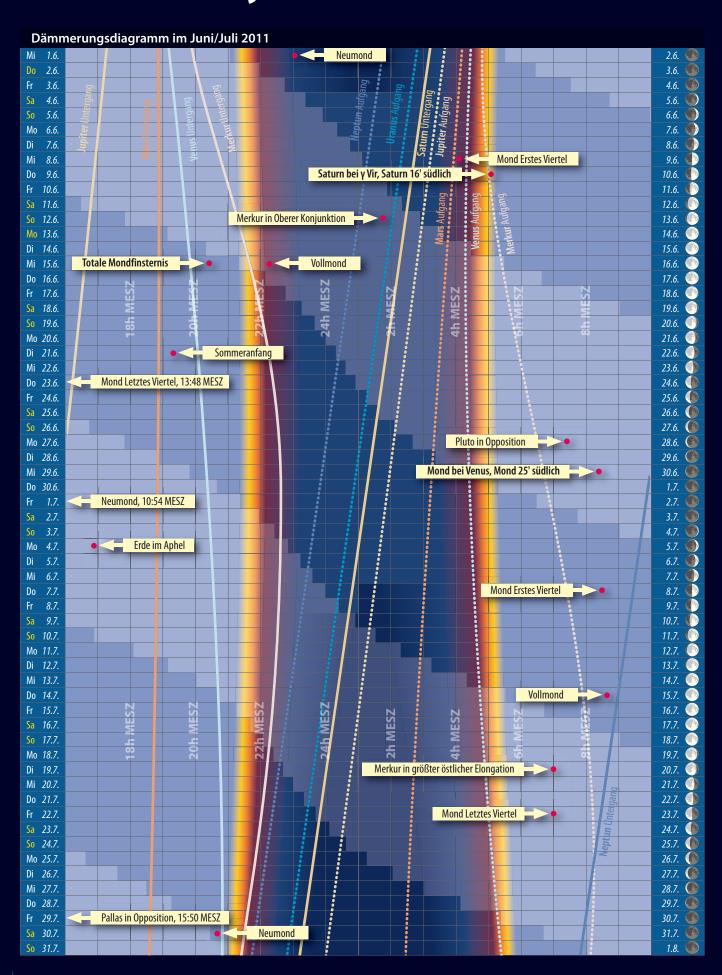
der Stunden nach Sonnenaufgang schiebt sich der Mond immer weiter an die Venussichel heran. Gegen 8:30 MESZ ist dann der geringste Abstand von 25' erreicht. Dieser Abstand gilt allerdings streng genommen vom Mondmittelpunkt bis zur Venusmitte. Die Distanz zwischen Venus und Mondrand beträgt dann nur noch ca. 10', hängt aber - genau wie der genaue Zeitpunkt des geringsten Abstands - wegen der Parallaxe vom Beobachtungsort ab: So beträgt diese Minimaldistanz in Wien ca. 8', in Kiel jedoch ca. 14'. Am Taghimmel dürfte diese nahe Begegnung mit bloßem Auge allerdings fast nicht zu beobachten sein. Optische Hilfsmittel wie Fernglas oder Teleskop sollten aber dieses Duo in knapp 13° Entfernung zur Sonne sichtbar machen. Im deutschsprachigen Raum stehen dann beide Himmelskörper rund 40° über dem Osthorizont und sind damit beguem zu beobachten. Bei der Beobachtung sollte man allerdings sorgfältig darauf achten, dass nicht aus Versehen die Sonne ins Gesichtsfeld des Instruments gerät.

■ André Knöfel

Venus und der Mond werden am Taghimmel des 30.6.2011 ähnlich nahe zusammen stehen wie am 16. Mai vergangenen Jahres.



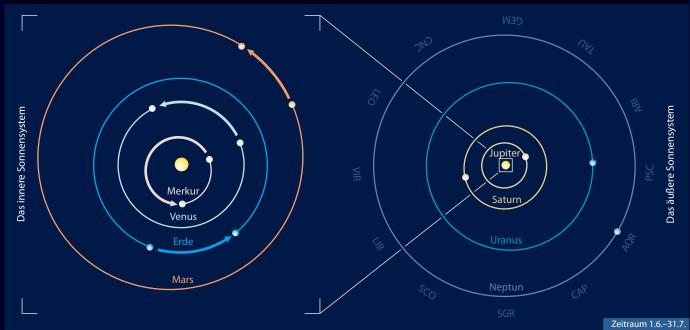
Das Sonnensystem im Juni/Juli 2011



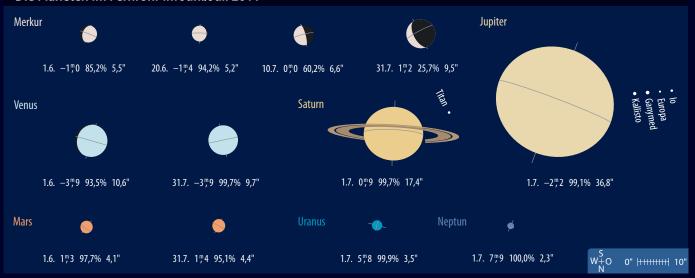




Die Planeten auf ihren Bahnen im Juni/Juli 2011



Die Planeten im Fernrohr im Juni/Juli 2011







◆ Abb. 1: Protuberanz am 17.2.2011, 13:41 MEZ. 4"-Refraktor bei 2800mm, 0,6s, Coronado Solarmax 60 + 2020 Telezentrik. *Erich Kopowski*

▲ Abb. 2: Bipolare Fleckengruppe (AR 11158) am 17.2.2011, 13:20 MEZ. 4"-Refraktor bei 5000mm, 1/250s, Solar Continuum Filter. *Erich Kopowski*

Sonne aktuell Der Aufschwung ist da!

er Redaktionsschluss der letzten Ausgabe war kaum vorüber, da wurde eine neue Prognose für das kommende Sonnenfleckenmaximum veröffentlicht: Im Rahmen des CV-Helios-Programms des Norwegers Kjell Inge Malde (vgl. Surftipps), bei dem die Sonnenaktivität anders bestimmt wird, als etwa bei der klassischen Sonnenfleckenrelativzahl nach Wolf, wurde eine Vorhersage erarbeitet, die ähnlich düster aussieht, wie die der anderen Quellen. Basierend auf den Beobachtungen des CV-Netzes und den aktuellen Beobachtungen, wonach der aktuelle 24. Sonnenfleckenzyklus nur sehr langsam startet, wird das Maximum für den Juli 2013 bei einer mittleren Relativzahl von 109±16, die stärkste Phase des Zvklus zwischen März 2012 und Juli 2014 erwartet. Wie alle anderen Prognosen deutet auch diese auf das schwächste Maximum seit mindestens 100 Jahren hin. Da die Entwicklung bislang stets hinter den Erwartungen zurück geblieben ist, könnte es sogar sein, dass der durchschnittliche Wert für das Maximum des 24. Zyklus am Ende irgendwo zwischen Zyklus Nr. 14 (Dezember 1905, mittlere Relativzahl 63,5) und Nr. 6 (November 1816, mittlere Relativzahl 48,7) liegen wird.

Dessen ungeachtet erschien am 12. Februar die Aktive Region 11158 am Ostrand der Sonne. Binnen weniger Tage entwickelte sie nicht nur beachtliche penumbrale Strukturen, die von Tag zu Tag größer und komplexer wurden, sie war auch im Hα extrem aktiv, und am 15. Februar war es dann soweit: Um 1:56 UT ging aus ihr ein X2,2-Flare hervor, der erdwärts gerichtet war. Daraus entstanden ein Radiosturm und ein koronaler Massenauswurf (CME), dessen Teilchen sich auf 710km/s beschleunigten und schließlich am 18. Februar um 1:40 UT das Erdmagnetfeld erreichten. Doch der erwartete heftige Impakt des Sonnensturms auf das Erdmagnetfeld blieb aus. Der Kp-Index, ein Maßstab für die Stärke eines Strahlungsimpaktes von der Sonne, erreichte zum fraglichen Zeitpunkt nur Werte zwischen 0 und 1. hätte aber mindestens weit oberhalb von

5 liegen müssen, um hierzulande Polarlichter wie in den Jahren 2001 und 2003 hervorzurufen. Die Ursache war ein Fall von klassischem CME-Kannibalismus: Die langsameren Teilchen des mit dem X-Flare verbundenen koronalen Massenauswurfs, der neben Elektronen und Protonen auch Sonnenmaterie in Form von Plasmawolken mit sich führte, wurden von den schnelleren des mit dem nachfolgenden M-Flare verbundenen koronalen Massenaufwurf eingeholt. Die Folge: Beide Stürme vermischten sich auf dem Weg durch das Sonnensystem und neutralisierten sich dadurch. Lediglich in den für Polarlichter typischen nördlichen Breiten (Alaska, Grönland) kam es zu noch nicht einmal besonders spektakulären, sondern eher durchschnittlichen Polarlichtereignissen. Ein aus China gemeldeter Stromausfall hatte dann auch eher irdisch-menschliche Gründe und war nicht auf den Sonnensturm zurückzuführen.

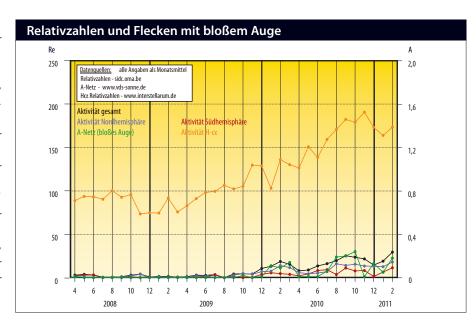
Die Region 11158 war aber kein einzelnes Ereignis. Im Gegenteil: Danach stieg die solare Fleckentätigkeit fast schon sprunghaft an und Beobachter konnten teilweise bis zu sechs verschiedene Fleckengruppen pro Tag zählen, zu denen bis Ende Februar auch mehrere gehörten, die das Stadium der Waldmeierklassen E und F erreichten. Und auch koronale Löcher brachten Unruhe ins geomagnetische Feld, aber leider bei uns keine Polarlichter.

Auf das Anfang März vom Marshall Space Flight Center der NASA prognostizierte Maximum im Jahr 2013 hat die noch bis Mitte März reichende hohe Sonnenaktivität allerdings kaum Auswirkungen. Was im Fernrohr so imposant und beeindruckend wirkte, bewegte sich im Rahmen des erwarteten Anstiegs. Es bedarf einer weitaus höheren Zahl solcher Gruppen, soll das tatsächliche Maximum die Vorhersagen hinsichtlich des Zeitpunktes und der Höhe deutlich übertreffen.

■ Manfred Holl

Surftipps

CV–Helios Netzwerk: www.cv-helios.net Polarlichtinfo: www.polarlichtinfo.de





Planeten aktuell Saturns Atmosphäre aufgewühlt



Abb. 2: Saturn visuell am 4.3.2011. 14"-Newton, 300x. Ronald Stoyan

n der letzten Ausgabe hatten wir an dieser Stelle über den Ausbruch eines Sturmsystems in Saturns Nördlicher Gemäßigter Zone (NTrZ) im Dezember 2010 berichtet. Auch im März und April waren die Auswirkungen dieser Entwicklung noch zu erkennen.

Das Zentrum des Sturms, das Anfang März immer noch sehr gut zu sehen war, befand sich bei 180° (Rotationssystem III). Die folgende Wolkenschleppe zog sich bis zu einer Position bei etwa 50°, umspannte also fast eine Hemisphäre des Planeten.

Die visuelle Beobachtung ist jedoch nicht so einfach, wie es die Fotos suggerieren. Im 120mm-Refraktor gelang es nur vage, Andeutungen des Sturmzentrums zu sehen. Im 14"-Newton war es dagegen bei guten Bedingungen leichter sowie detailliert auszumachen.

Planetenbeobachter sind aufgerufen, ihre Ergebnisse auf www. planetenaktuell.de einzureichen – auch Zeichnungen können jetzt bequem per Uploadmaske eingesendet werden.

■ Ronald Stoyan

Surftipps

Aktuelle Saturnbilder: www.planetenaktuell.de Internationale Saturnbilder: alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/ Latest/Saturn.htm

Kometen aktuell Amateurentdeckung Elenin am Abendhimmel sichtbar?

Der hellste Komet der Sommermonate wird aller Voraussicht nach C/2009 P1 (Garradd) sein. Er steigt nun zwar immer früher über den morgendlichen Ost-Horizont, die Beobachtungszeit bleibt aber bedingt durch die Kürze der Sommernächte kurz. Die beste Zeit um Komet Garradd ohne zu viel störendes Mondlicht zu sehen, ist im Juni und Juli jeweils vom Monatsanfang bis kurz vor der Monatsmitte. Anfang Juni wechselt der Schweifstern vom nördlichen Teil des Sternbildes Wassermann in das Sternbild Fische. Seine Helligkeit

dürfte bei etwa 10\%0 liegen und weiter ansteigen. Zu Sommerbeginn überschreitet der Komet den Himmelsäquator und geht jetzt schon um Mitternacht auf. Den ganzen Monat Juli über befindet sich C/2009 P1 im Sternbild Pegasus, die scheinbare Bewegung Richtung Nordwesten nimmt immer mehr zu. Auch die Helligkeit steigert sich und könnte zur Monatsmitte etwa 8\%5 erreicht haben. Die Entfernung von der Erde ist inzwischen auf 1,8AE gesunken, von der Sonne trennen den Kometen noch immer 2,6AE. Zum Monatsende bewegt

Surftipps

Bahnelemente und Ephemeriden: www.minorplanetcenter.org/iau/

Ephemerides/Comets/index.html

Komet Elenin auf Cometography: www.cometography.com/ lcomets/2010x1.html

Aufsuchkarten: www.kometarium.com Bahnelemente, Aufsuchkarten für zukünftige Kometen: www.aerith. net/comet/future-n.html

sich der Schweifstern auf den Kugelsternhaufen M 15 zu, den er Anfang August passieren wird. Komet Garradd wird noch den ganzen Herbst und Winter über beobachtbar bleiben.

| Kometen im Juni/Juli | | | | | | |
|----------------------|------------|---------------------|---------------------|---|-------------------------------------|--|
| Name Entdeckung | | Perihel | Erdnähe | Beobachtungsfenster | erwartete Helligkeit | |
| C/2009 P1 Garradd | 13.8.2009 | 23.12.2011 (1,55AE) | 5.3.2012 (1,27AE) | April 2011 bis Juni 2012 | 10 ^m bis 8 ^m | |
| C/2010 X1 (Elenin) | 10.12.2010 | 10.9.2011 (0,48AE) | 17.10.2011 (0,23AE) | Juni bis Juli und Oktober bis Dezember 2011 | 13 ^m bis 10 ^m | |



Am 10. Dezember 2010 entdeckte der russische Amateurastronom Leonid Elenin einen neuen Kometen. Es war eine außergewöhnliche Entdeckung: Elenin fand den Schweifstern auf Aufnahmen, die er mit einem per Internet gesteuerten Teleskop am ISON-NM Observatorium in den USA gewonnen hatte. Die erste Bahnberechnung mit einem Perihel im April 2010 in 5,5AE Entfernung ließ C/2010 X1 (Elenin) zunächst wenig interessant für Amateurbeobachter erscheinen. Es dauerte eine ganze Woche, bis eine Bahn mit Perihel im inneren Sonnensystem im Herbst 2011 veröffentlicht wurde und insgesamt gut ein Monat ehe die Bahnelemente wirklich stabil berechnet werden konnten. Inzwischen ist aber sicher, dass der Komet seine Sonnennähe am 10. September in 0,48AE Abstand durchlaufen wird. Im Oktober wird er in nur 0,23AE Abstand an der Erde vorbeizie-

hen und könnte dann zumindest die 4. Größenklasse erreichen. Nicht nur die Bahnelemente auch die Helligkeitsentwicklung dieses Kometen waren nach den Beobachtungen im Winter noch relativ unsicher. Bei einer eher konservativen Annahme bleibt der Komet vor dem Perihel wohl ein ziemlich schwieriges Objekt. Mit einer Bahnneigung von nur 1,8° wandert Komet Elenin nahe entlang der Ekliptik und ist während der Monate Juni und Juli im Sternbild Löwe zu finden. Die Helligkeit könnte Anfang Juni etwa 13^m,0 betragen und bis Ende Juli auf ca. 10^m0 ansteigen, leider wird die Elongation im gleichen Zeitraum von 85° auf 45° abnehmen. Sollte der Schweifstern nicht überraschend heller werden, wird er im Sommer wohl nur von Spezialisten am Abendhimmel aufgefunden werden können.

Der Sternhimmel im Juni/Juli 2011 1. Juni: 23:00 MESZ NOBDEN 1. Juli: 21:00 MESZ für 50° nörd. Br., 10° öst. L. ₽£ M Venus Saturn 0^m SÜDEN

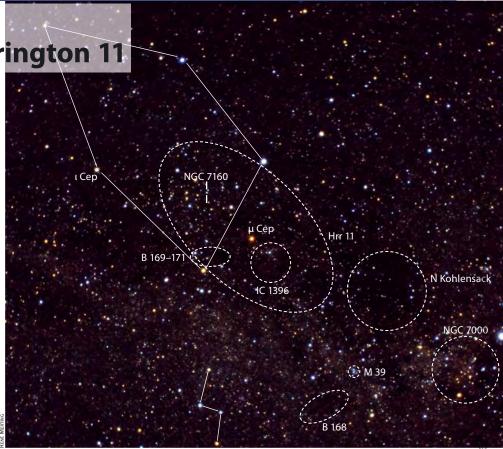
| Beobachtungsempfehlungen für Juni/Juli | | | | | | | | |
|--|----------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------|---------------|-------------|------------|
| Name | Empfehlung für | Тур | R. A. | Dekl. | Helligkeit | Größe/Abstand | Entfernung | DSRA/Uran. |
| Harrington 11 | bloßes Auge | Sternwolke | 21 ^h 48 ^{min} | +61° | - | 10°×5° | 2000–3000Lj | 7/- |
| Stephenson 1 | Fernglas | OC | 18 ^h 53,6 ^{min} | +36° 55' | 3 <u>*</u> 8 | 20' | 1200Lj | 14/117 |
| M 80 | Teleskop | GC | 16 ^h 17,0 ^{min} | –22° 58,5' | 7 , ,3 | 5,1' | 33000Lj | 29/336 |
| M 62 | Teleskop | GC | 17 ^h 1,2 ^{min} | -30° 6,7' | 6 ^m ,5 | 14,1' | 22200Lj | 29/376 |
| η Aquilae | bloßes Auge/Fernglas | Vr | 19 ^h 52,5 ^{min} | +1° 0,3' | 3,,48 - 4,,39 | - | 1400Lj | 22/252 |

Abseits der Standard-Objekte

Astronomie mit bloßem Auge Harrington 11

bwohl direkt über uns tendenziell die besten Bedingungen für die Himmelsbeobachtung herrschen, ist die Zenitregion eher unbeliebt. Beim Blick durch den Sucher oder ein stativgestütztes Geradesichtfernglas renkt man sich fast den Hals aus, Dobsonbenutzer stoßen mit dem Tubus oft kurz vor dem gesuchten Objekt an die Rockerbox. Ganz entspannt lassen sich aber Beobachtungen mit bloßem Auge im Liegestuhl oder auf einer Isomatte durchführen, im Sommer durch die angenehmen Temperaturen unterstützt. Richtet man seine Liegestatt nach Süden aus, entspricht der Blick zum Himmel der Orientierung von Sternkarte oder Atlas. Doch oberhalb einer Deklination von etwa 50° kulminieren die Himmelsobjekte nördlich des Zenits, so dass sich das Ausrichten der Liegeposition nach Norden und das Umdrehen der Karte durchaus Johnen. Dem aufmerksamen Betrachter bietet sich »hoch oben« eine ganze Reihe von Deep-Sky-Objekten, die auch mit bloßem Auge erreichbar sind, z.B. der Nordamerikanebel NGC 7000, M 39, B 168 oder der »Nördliche Kohlensack«. Alle Objekte wurden bereits in dieser Kolumne bzw. als Objekt der Saison in interstellarum

Doch auch die Milchstraße selbst ist in diesen Regionen eine intensivere Betrachtung wert: In das an ein etwas windschiefes Haus erinnernde Sternbild Kepheus erstreckt sich eine Ausbuchtung des Milchstraßenbandes. Sie ist selbst unter mittelmäßigen Bedingungen von etwa 5 $^{\circ}$,5 deutlich sichtbar als etwa 10 $^{\circ}$ × 5 $^{\circ}$ großer »Sporn«, der sich vom »Nördlichen Kohlensack« im Südwesten bis fast zum Stern



Die Sternwolke Harrington 11 liegt zwischen einer Einbuchtung der Milchstraße im Osten und dem »Nördlichen Kohlensack« oberhalb des Nordamerikanebels in Cepheus.

ι Cep nach Nordosten zieht. Im Osten wird die Region vom Milchstraßenband durch einem tiefen Einschnitt getrennt. Handelt es sich dabei auch um einen Dunkelnebel?

Als der bekannte amerikanische Wissenschaftsjournalist und Astronom Phil Harrington für sein Buch »Touring the Universe through Binoculars« einen eigenen Katalog im Fernglas auffälliger Deep-Sky-Objekte erstellte, nahm er diese Region dort als Harrington (Hrr) 11 auf. Sie wird im Wesentlichen gebildet aus Sternen der etwa 2000–3000 Lichtjahre

entfernten Cepheus-OB2-Assoziation, welche wiederum Teil des Orion-Cygnus-Armes unserer Galaxis ist, und beherbergt eine Reihe interessanter Objekte wie den Galaktischen Nebel IC 1396, den Offenen Sternhaufen NGC 7160, Herschels Granatstern μ Cep oder den Dunkelnebelkomplex B 169 – B 171; bis auf μ Cep allesamt für das bloße Auge zu schwierig. Trotzdem Iohnt sich auch der freiäugige Blick entlang unserer Milchstraße immer wieder.

■ Kay Hempel

Astronomie mit dem Fernglas Stephenson 1

A uch für das kleinste Fernrohr – das Fernglas – finden sich neben den viel besuchten Klassikern der Messierliste oder des NGC »exotische« Beobachtungsziele wie z.B. den erst vor 50 Jahren entdeckten Offenen Sternhaufen Stephenson 1. Aufgespürt wurde die Sternansammlung von Gordon Grant, einem 27-jährigen Mitarbeiter an der Sternwarte der Technischen Hochschule in Cleveland, während der Durchmusterung einer Fotoplatte. Dabei fiel ihm eine 40' große und aus 14 Sternen bestehende Gruppierung um den Sterne δ Lyrae herum auf. Nach dem Tode Grants führte sein Kollege Bruce C. Stephenson die Arbeit weiter. 1959 erschien seine Veröffentlichung über die »ver-

mutlich echte«, als Delta-Lyrae-Sternhaufen bezeichnete Gruppe und schließlich wurde die wahre Haufennatur einige Jahre später durch weitere Beobachtungen bestätigt. Der Sternhaufen blieb jedoch die nächsten 50 Jahre wenig beachtet.

Die Sternansammlung ist denkbar einfach zu finden: Positioniert man δ Lyrae, den



Stephenson 1 im 20×60-Fernglas an einem dunklen Standort, Gesichtsfeld etwa 3°.

nordöstlichen Stern des »Leierkastens«, mittig im Gesichtsfeld, hat man schon den gesamten Sternhaufen erfasst. δ Lyrae entpuppt sich bereits im Fernglas mit 7-facher Vergrößerung als Doppelstern, dessen beide Sterne in 10,5' Abstand stehen. Die Komponente δ^1 Lyrae erscheint bläulich-weiß, während ihr Partner δ² Lyrae kräftig gelb-rötlich leuchtet. Während man im letzten Jahrhundert noch annahm, dass zwischen beiden Sternen eine physische Verbindung besteht, geht man heute von einem optischen Doppelstern aus, denn aufgrund ihrer Entfernungen von 900 Lichtjahren (δ¹ Lyr) und 1100 Lichtjahren (δ² Lyr), stehen sie sehr wahrscheinlich nur zufällig dicht am Himmel zusammen.

Auch dass beide Mitglieder des optischen Doppelsterns physisch zum

Sternhaufen gehören, gilt mittlerweile als unwahrscheinlich. Nach aktuellen Entfernungsmessungen steht Stephenson 1 in einer Entfernung von 1200 Lichtjahren.

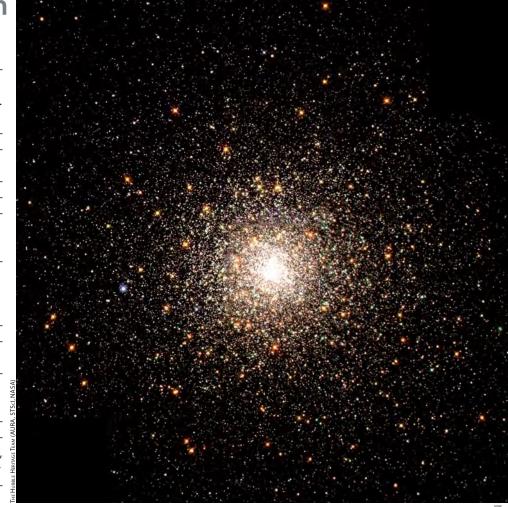
Zwischen dem Sternpaar – mehr in Richtung des orangefarbigen δ^2 Lyrae – erscheint Stephenson 1 im 10×50 -Fernglas als eine lose Ansammlung von etwa 10 Sternen. Zur Beobachtung empfehlen sich ein dunkler Standort und die Verwendung eines Stativs, da die lichtschwachen Sterne des Sternhaufens ansonsten nur schwer erfassbar sind oder sogar unsichtbar bleiben. Höhere Vergrößerungen von 15-fach oder 20-fach lassen den einen oder anderen Stern zusätzlich erkennen.

■ Lambert Spix

Objekt der Saison M 80

n den kurzen Nächten des Früh- und Hochsommers zählen Kugelsternhaufen zu den häufigsten Zielen von visuellen Beobachtern. Trotz zahlreicher Ähnlichkeiten weist jedes Mitglied dieser Objektklasse seine individuellen Charakteristika auf, die es zu einem einzigartigen Kleinod am Himmel machen. Eines der auffälligsten ist dabei der Konzentrationsgrad der Sterne: Während manche Kugelsternhaufen eine eher moderat nach innen zunehmende Sterndichte aufweisen und manchmal schon mit relativ kleinen Öffnungen bis ins Zentrum auflösbar sind, gelingt dies bei anderen aufgrund ihrer Kompaktheit selbst in großen Teleskopen nur teilweise.

Nordwestlich von Antares findet sich mit M 80 ein besonders extremes Exemplar letztgenannter Gattung. M 80 ist eine genuine Entdeckung von Charles Messier, der das Objekt erstmals am 4. Januar 1781 als kometengleichen »Nebel ohne Stern« sichtet. Für William Herschel, der das Objekt wenige Jahre nach Messier mit seinem 18,7"-Spiegelteleskop beobachtet, stellt M 80 »die reichste und am stärksten konzentrierte Masse aus Sternen [dar], welche das Firmament dem Astronomen zur Betrachtung bietet« [1]. Der Kugelsternhaufen ist neueren Erkenntnissen zufolge knapp 33000Lj vom Sonnensystem und etwa 12500Lj vom galaktischen Zentrum entfernt [2]. Mit einer Absoluthelligkeit von -8^m,2 gehört er zu den leuchtkräftigeren Vertretern seiner Klasse, steht einem Giganten wie ω Cen in dieser Hin-

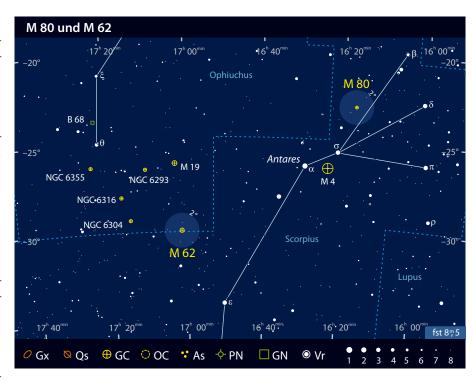


M 80 ist der konzentrierteste Kugelsternhaufen des Messier-Katalogs.

sicht aber immer noch um einen Faktor sechs nach. Beeindruckend ist in jedem Fall die immens hohe Sterndichte im Zentralbereich: So ist die Hälfte der Haufenmasse von insgesamt wohl mehreren hunderttausend Sonnenmassen innerhalb eines Raumbereichs von weni-

ger als 12Lj Durchmesser konzentriert – ein absoluter Spitzenwert unter den Kugelsternhaufen des Messierkatalogs [2]! In dieser Kernregion findet man neben einer beachtlichen Anzahl an blauen Nachzüglern (engl. blue stragglers) – also Sternen, die vermutlich aus der Kollision oder der Verschmelzung zweier Sterne hervorgegangen sind - auch überdurchschnittlich viele Röntgendoppelsterne. Die stärkste dieser Röntgenquellen ist mit einem extrem blauen veränderlichen Stern korreliert, der kürzlich von Dieball et al. [3] als wahrscheinlicher Verursacher der klassischen Nova T Sco identifiziert werden konnte. Zu verdanken ist die Zuordnung dieses Sterns zu der im Mai 1860 beobachteten und im Maximum etwa 7^m hellen Sternexplosion dabei nicht nur den hoch auflösenden Aufnahmen des Hubble-Teleskops, sondern auch den präzisen Positionsangaben der Erstentdecker Arthur Auwers und Eduard Luther [4], die die Suche im Sternaewirr von M 80 entscheidend vereinfachten. Nicht endgültig geklärt ist hingegen die Entstehungsgeschichte von M 80 selbst: Grundsätzlich wird das Objekt zur Kugelsternhaufenpopulation des Galaktischen Zentralkörpers gezählt, Alter und Metallizität gehen aber auch mit einem extragalaktischen Ursprung konform [5]. Unterstützt wird letztere Annahme durch das Farben-Helligkeitsdiagramm des Haufens, dessen strukturelle Besonderheiten auf mehrere Episoden der Sternentstehung schließen lassen. M 80 entstammt somit möglicherweise einer Zwerggalaxie, die sich unsere Milchstraße vor langer Zeit einverleibt hat; eine detaillierte Studie zur endgültigen Klärung dieses Sachverhaltes steht bislang allerdings noch aus.

M 80 gehört aufgrund seiner Helligkeit und Kompaktheit zu den einfacheren Deep-Sky-Objekten des Frühsommerhimmels. Interessant ist hierbei unter anderem ein Vergleich mit dem nur wenige Grad entfernten M 4, der weitaus offener erscheint und dadurch einen reizvollen Kontrast zum kompakten M 80 bietet. Der Haufen ist nahe der Mitte der Verbindungslinie von Antares zu β



Sco einfach zu lokalisieren. Freiäugige Sichtungen von Mitteleuropa aus sind angesichts der Gesamthelligkeit von 7^m,3 vermutlich außer Reichweite, könnten aber von exzellenten südlichen Standorten aus machbar sein. Im 10×50-Fernglas sowie im kleinen Fernrohr erscheint M 80 als runder, etwa 2' großer Nebelfleck mit hellerem Zentrum. Mit Öffnungen ab 6" können in den Randzonen unter guten Bedingungen bereits die ersten der bis zu 13^m hellen Einzelsterne aufgelöst werden. Ab 10" Öffnung lässt sich ein erster Eindruck von der außerordentlich hohen Sterndichte des Objekts gewinnen, der markante Kernbereich bleibt jedoch selbst mit großen Amateurteleskopen unaufgelöst. Bei guter Durchsicht lohnt sich neben erwähntem Ausflug zu M 4 auch ein Abstecher zum benachbarten, von William Herschel als »Loch im Himmel« bezeichneten Dunkelnebelkomplex der p Oph-Molekülwolke. Letztgenannten inspirierte dieses auffallend sternleere, nur gelegentlich von schwachen Reflexionsnebeln unterbrochene Himmelsareal übrigens zu der Vermutung, dass die Mitglieder von M 80 »an dieser Stelle gesammelt wurden und dabei die Leere hinterlassen haben« [1]: ein Deutungsversuch, der heutzutage etwas bizarr anmuten mag, in Anbetracht des damaligen Wissensstandes aber durchaus nachvollzogen werden kann.

■ Matthias Kronberger

- Burnham, R.: Burnham's Celestial Handbook. Volume Three, Pavo Through Vulpecula, Dover Publications, New Vol. (2079)
- [2] Harris, W. E.: Catalog of Parameters for Milky Way Globular Clusters: The database, www.physics.mcmaster. ca/~harris/mwqc.dat (2010)
- [3] Dieball, A. et al.: A Far-Ultraviolet Survey of M80: X-Ray Source Counterparts, Strange Blue Stragglers, and the Recovery of Nova T Sco, Astrophys. J. 710, 332 (2010)
- [4] Luther, E.: Aus einem Schreiben des Herrn Prof. Luther, Directors der Sternwarte in Königsberg, an den Herausqeber, Astron. Nachr. 53, 293 (1860)
- [5] Forbes, D. A., Bridges, T.: Accreted versus in situ Milky Way globular clusters, MNRAS 404, 1203 (2010)

Objekt der Saison M 62

Das Zentrum unserer Milchstraße wird von einem ausgedehnten Halo von Kugelsternhaufen umgeben. Da wir dieses Zentrum in einer frühsommerlichen Beobachtungsnacht knapp über dem mitteleuropäischen Südhorizont bewundern können, ist der Sommer auch die klassische Beobachtungszeit für Kugelsternhaufen. Eines der interessantesten Objekte dieses Typs ist der Kugelsternhaufen M 62 an der Grenze der Sternbilder Skorpion und Schlangenträger.

Die Entdeckung von M 62 gelang Charles Messier am 7. Juni 1771, nur einen Tag nach der alljährlichen Mitternachtskulmination des Sternhaufens, was gleichbedeutend mit der besten Beobachtungszeit ist. Ein genauer Blick auf das Entdeckungsdatum enthüllt eine Kuriosität: Eigentlich müsste M 62 im ansonsten chronologisch angeordneten Messier-Katalog die Nummer 50 tragen. Da Messier jedoch eine genaue Beschreibung und Vermessung des Haufens erst am 4. Juni 1779 durchführen

konnte, reihte sich das Objekt als Nummer 62 ein. Er verglich die Erscheinung mit einem kleinen Kometen. William Herschel beobachtete das Objekt knapp über dem Horizont Südenglands und sah einen hellen Sternhaufen, den er trotz seines 18,7"-Teleskops nur mit Mühe in Einzelsterne auflösen konnte. John Herschel beobachtete den Haufen unter erheblich besseren Bedingungen vom Kap der Guten Hoffnung und beschrieb ihn als »bemerkenswert« und »gut aufgelöst«.



M 62, der dritthellste Kugelsternhaufen im Schlangenträger, fällt besonders durch seine asymmetrische Form auf.

Auge auf [4]. Dieses Beobachtungsprojekt ist allerdings Beobachtern in südlichen Breiten vorbehalten, denn die Deklination von M 62 beträgt -30°. Damit nimmt der Kugelsternhaufen Rang 7 unter den südlichsten Messier-Objekten ein [5] und erreicht in Norddeutschland nur einen maximalen Horizontabstand von 5°. Dieser Wert steigt selbst im Alpenraum nur auf etwa 12°-13° an, so dass eine Nacht mit guter Horizontsicht notwendig ist. Dann aber ist der Haufen selbst in einem 7×50-Fernglas einfach als kleiner Nebelball erkennbar. Unter südlichem Himmel ist M 62 bereits mit 4" - 5" in Einzelsterne auszulösen. In Mitteleuropa muss man hierfür schon die doppelte Öffnung ansetzen. Durch das etwas asymmetrisch liegende, helle Zentrum des Haufens erinnert M 62 tatsächlich an einen Kometen. Im näheren Umfeld befinden sich mit M 19, NGC 6293, NGC 6304, NGC 6316 und NGC 6355 weitere Kugelsternhaufen, die anschaulich die vielfältige Erscheinung dieses Objekttyps demonstrieren und interessante Vergleiche zulassen.

Aus astrophysikalischer Sicht bietet M 62 eine Reihe von Besonderheiten. Die Entfernung zum Kugelsternhaufen beträgt laut der aktuellen Version (2010) des Harris-Katalogs etwa 22200 Lichtjahre [1]. Damit beträgt sein Abstand zum galaktischen Zentrum nur etwa 5500Lj. Dies mache sich bedingt durch die starken Wechselwirkungen in der asymmetrischen Erscheinung von M 62 bemerkbar. Das Zentrum erscheint deutlich nach Südosten verschoben. Der Kugelsternhaufen ist durch seine Lage inmitten dichter Milchstraßenwolken stark gerötet. Eine weitere Besonderheit von M 62 ist der Reichtum an Veränderlichen Sternen – insbesondere vom Typ RR Lyrae

[2]. Hierbei handelt es sich um pulsationsveränderliche Sterne mit relativ kurzen Perioden von wenigen Stunden bis zu 1–2 Tagen. Ähnlich wie die Cepheiden ermöglichen RR Lyrae-Veränderliche die Bestimmung der Entfernung mit Hilfe ihrer Perioden-Leuchtkraft-Beziehung. Außerdem wurden in M 62 bis heute sechs Millisekunden-Pulsare entdeckt [3]. Hierbei handelt es sich um eine extrem schnell rotierende Variante von Pulsaren. Ihre Perioden reichen von 2,295ms bis 7,613ms.

Mit einer visuellen Helligkeit vom 6",4 ist M 62 der dritthellste Kugelsternhaufen im Schlangenträger. Daher wirft bereits O'Meara die Frage nach der Sichtbarkeit mit bloßem ■ Matthias Juchert

- Harris, W. E.: Catalog of Parameters for Milky Way Globular Clusters: The database, www.physics.mcmaster. ca/~harris/mwqc.dat (2010)
- 2] Contreras, R. et al.: Time-series Photometry of Globular Clusters: M62 (NGC 6266), the Most RR Lyrae-rich Globular Cluster in the Galaxy?, Astron. J. 140, 1766 (2010)
- [3] Freire, P. C.: Pulsars in Globular Clusters, www.naic. edu/~pfreire/GCpsr.html
- [4] O'Meara, S. J.: Deep-Sky Companions: The Messier Objects, Cambridge University Press, Cambridge (2001)
- [5] Stoyan, R.: Atlas der Messier-Objekte, Oculum-Verlag, Erlangen (2006)

Veränderlicher aktuell

η Aquilae

Die regelmäßigen Helligkeitsschwankungen von δ Cephei wurden im Oktober 1784 von John Goodricke, einem Amateurastronomen aus York, England, entdeckt. Wenige Wochen zuvor, im September 1784, wurde der Lichtwechsel von η (Eta) Aquilae von Goodrickes Freund und Nachbar Edward Pigott entdeckt. Er ist allerdings durch den südlicheren Stand nicht so gut beobachtbar, sonst würde man diese Klasse von Veränderlichen heute vielleicht als »Aquiliden« statt

als »Cepheiden« kennen. Pigott beschreibt in seinem Brief den Lichtwechsel als regelmäßig aber nicht ähnlich dem des bedeckungsveränderlichen Sterns Algol (β Persei) [1]. Im Helligkeitsmaximum schätzte er die Helligkeit von η zwischen δ und β Aquilae ein, im Minimum zwischen ι (lota) und μ (My) Aquilae. Damit betrug die Helligkeitsänderung etwa eine Größenklasse, ein Faktor 2,5 in der Intensität. η und ι Aquilae bezeichnete Pigott als η und ι Antinoi. Das nach der Formalisierung

der Sternbilder durch die IAU (Internationale Astronomische Union) 1930 nicht mehr offiziell benutzte Sternbild Antinous war im Südteil des Sternbilds Aquila (Adler) gelegen.

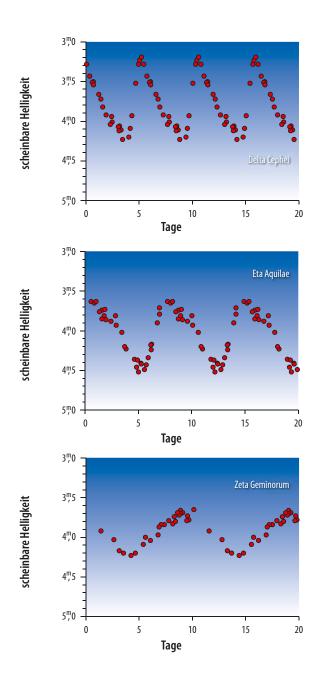
Die von Pigott benutzten Vergleichssterne sind auch heute noch gut geeignet, den Lichtwechsel von η Aql zu beobachten. Verwendet man ihre modernen Helligkeiten im V-Band der Photometrie (nahe der visuellen Helligkeit) so ergeben sich für den von Pigott beobachteten Lichtwechsel Helligkeiten

zwischen 3^m54 und 4^m41. Die Amplitude des Lichtwechsels wird heute von 3",48 bis 4",39 angegeben - Pigotts visuelle Schätzungen waren präzise! Die Periode des Lichtwechsels beträgt knapp über eine Woche, genau 7,176641 Tage und wird wie bei allen δ Cephei-Sternen sekundengenau eingehalten. Während einer längeren Schönwetterperiode im Sommer lässt sich der Lichtwechsel Abend für Abend beguem beobachten. Die Lichtkurven der drei hellen Cepheiden δ Cep, η Aql und ζ (Zeta) Gem unterscheiden sich nicht nur in der Periode sondern auch durch Besonderheiten wie z.B. einen »Buckel« im absteigenden Ast der Lichtkurve von η Aql: Der Stern wird nach dem Maximum nicht gleichmäßig schwächer, sondern bleibt für einen halben Tag nahezu gleich hell.

η Aquilae ist ein Überriesenstern vom Spektraltyp F und leuchtet im Mittel so hell wie 3400 Sonnen. Durch die große Entfernung von ca. 1400Lj [2] erscheint uns der Stern mit nur 4^m scheinbarer Helligkeit. Der Lichtwechsel entsteht durch das Pulsieren des Sterns. Sein Durchmesser, der etwa das 60-65-fache der Sonne beträgt (knapp 90 Millionen Kilometer – fast die Entfernung Sonne-Venus), schwankt dabei nur um etwa zwei Sonnendurchmesser. Wenn ein Stern - eine gewaltige Gaskugel - zusam-

mengedrückt wird, erhitzen sich die komprimierten Gasschichten. Die entstandene Wärme wird abgestrahlt und geht verloren. Der Stern dehnt sich wieder aus, jedoch weiter als es seinem Gleichgewichtszustand entspricht, so dass eine erneute Kontraktion beginnt:

| Vergleichssternhelligkeiten zur Beobachtung von η Aql | | | | | |
|--|--------------------|--|--|--|--|
| Stern | Helligkeit | | | | |
| δ Aql | 3, ^m 36 | | | | |
| β AqI | 3, ^m 71 | | | | |
| ι Aql | 4 ^m 36 | | | | |
| μ Aql | 4, ^m 45 | | | | |



Lichtkurven von \delta Cep, \eta Aql, \zeta Gem aufgenommen mit Digitalkamera Canon Powershot G3. Einzelaufnahmen je 15s belichtet, keine Nachführung (vgl. Surftipp). Die Lichtkurven sind im gleichen Maßstab (Helligkeit und Zeit) gehalten und können so gut miteinander verglichen werden.

Der Stern beginnt zu schwingen. In der Kontraktionsphase kehrt der Stern jedoch nicht mehr ganz in die Extremlage zurück, so dass die Schwingungen gedämpft sind und nach wenigen 1000 Schwingungen – ein Zeitraum von etwa 100 Jahren – zur Ruhe kommen. Die äußere Schicht der δ Cephei-Sterne absorbiert im komprimierten, also dichteren Zustand jedoch mehr Energie als im »Normalzustand«, wodurch zusätzliche Energie für die anschließende Expansionsphase zur Verfügung steht. In dieser Expansionsphase nimmt jedoch die Dichte der äußeren Schicht ab, wodurch weniger Energie absorbiert wird und die Kontraktion bis zur Extremlage begünstigt wird. So wird die Dämpfung überwunden und die

Schwingungen für lange Zeit aufrechterhalten. Eine kleine Störung, ausgelöst z.B. durch die Konvektion, reicht für die Anregung aus. Sterne wie η Aql sind zwar viel jünger als die Sonne aber haben durch ihre enorme Strahlungsproduktion ihren Wasserstoffvorrat im Kern bereits aufgebraucht. Sie durchlaufen am Ende ihres Sternlebens mehrmals eine δ Cephei-Phase bevor der Kern als Weißer Zwergstern sichtbar wird und die äußeren Sternschichten abgestoßen werden.

In der Astronomie hat auch die Entdeckung der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Cepheiden durch Henrietta Leavitt sehr große Bedeutung: Die Leuchtkraft dieser Sterne ist umso höher je länger ihre leicht beobachtbare Periode ist. Mit Leuchtkraft und scheinbare Helligkeiten lässt sich so die Entfernungsmessung bis zu den Galaxien ausdehnen.

■ Wolfgang Vollmann

[1] Pigott, E.: Observations of a New Variable Star. in a Letter from Edward Pigott, Esq. to Sir H. C. Englefield, Bart. F. R. S. and a. S., Philosophical Transactions of the Royal Society of London 75, 127 (1785)

[2] van Leeuwen, F.: Hipparcos, the New Reduction of the Raw Data, Astrophysics and Space Science Library 350, Institute of Astronomy, Cambridge University, Cambridge, UK (2007), Daten unter: vizier.u-strasbg.fr/ viz-bin/VizieR-3?-to=2&-meta=1u&source=1%2F311%2Fhip2

Surftipps

Jim Kaler: η Aql: stars.astro.illinois.edu/ sow/etaaql.html

AAVSO: δ Cep: www.aavso.org/vsots_delcep

AAVSO: ζ Gem: www.aavso.org/vsots_zetagem

Fritz Benedict: Kalibrierung von Cepheiden: hubblesite.org/hubble_ discoveries/science_year_in_review/ pdf/2006/cepheid_calibration.pdf

Veränderlichenbeobachtung mit der Digitalkamera: members.aon.at/ wolfgang.vollmann/var_digital/var_ digital.htm



Sonnenfotografie in verschiedenen Wellenlängen

VON RALF GERSTHEIMER

Durch die Entwicklung leistungsfähiger und erschwinglicher CCD- und Videokameras stehen den Amateurastronomen seit einigen Jahren hervorragende Werkzeuge zur Fotografie der Sonne zur Verfügung, die in Verbindung mit speziellen Video- und Bildbearbeitungsprogrammen immer bessere und höher aufgelöste Aufnahmen ermöglichen. Dabei lassen sich spannende Vergleiche der Sonnenoberfläche in verschiedenen Spektralbereichen anstellen. Fotografiert man zeitgleich, ergeben sich interessante Vergleiche der Sonnenstrukturen zwischen Kalzium-, Hα- und Weißlicht

Abb. 1: Fleckenzählen war gestern: Heute sind Amateure in der Lage, die Sonne in den Wellenlängen Hα (rot), Weißlicht (neutral) und Ca-K (violett) zu beobachten und interessante morphologische Vergleiche anzustellen.

Die Aufnahmen wurden nachträglich koloriert und geben den visuellen Eindruck am Teleskop wieder

m einen Einblick in den aktuellen Stand der Beobachtungstechnik in den Bereichen Hα-, Kalzium- und Weißlichtbeobachtung geben zu können, wurden in der Zeit von April bis Oktober 2010 parallel in den jeweiligen Spektralbereichen Aufnahmen gewonnen. Zu Beginn des Jahres 2010 schien der neue Aktivitäts-Zyklus endlich in Gang zu kommen, nachdem die Fleckenzahlen bis April stetig zugenommen hatten. Im April und Mai ging die Aktivität jedoch wieder stark zurück und erst im September nahm die Flecken-

häufigkeit vorübergehend wieder etwas zu. Die hier gezeigten Aufnahmen fielen entsprechend des geschilderten Aktivitätsverlaufs in einen Zeitraum geringer Aktivität.

Filtertechnik

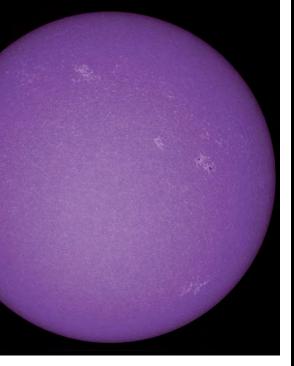
Zur Fotografie im Weißlicht wurde ein 12,5"-Newton bei voller Öffnung eingesetzt, der mit einem selbstgebauten Filter aus Baader Astro-Solar-Filterfolie (Dichte ND5) ausgerüstet war. Kameraseitig befand sich zur Steigerung von Schärfe und

Kontrast noch ein Sperrfilter für UV- und IR-Licht im Strahlengang. Diese Filter verengen das Sonnenspektrum auf einen Bereich von ca. 400nm – 700nm. Am häufigsten wurde bei einer Brennweite von 1520mm gearbeitet, was dem Primärfokus des Gerätes entspricht. Soweit es das Seeing zuließ, wurde unter Verwendung einer 5×-Barlowlinse die Brennweite zum Detailstudium auf 7600mm erhöht (Abb. 2).

Gelegentlich wurde anstatt des UV/IR-Sperrfilters der Kalzium-Filter von Baader Planetarium vor der Kamera eingesetzt. Dieser Filter wird gerne bei der Beobachtung von Fackelgebieten am Sonnenrand verwendet, um diese stärker hervortreten zu lassen und somit einen besseren Kontrast zu erzielen. Er lässt blau-violettes Licht in einem Bereich von 390nm – 400nm passieren und erfasst damit die beiden Kalziumlinien bei 393nm (K-Linie) und 396nm (H-Linie). Da die Intensität des zwischen den Linien abgestrahlten Lichtes deutlich höher ist als die aus den Linien emittierte



Abb. 2: So entstehen Sonnenfotos in verschiedenen Wellenlängen parallel: Der Newton dient mit Filterfolie für Weißlichtaufnahmen, das aufgesetzte Teleskop der Hα-Fotografie.



Strahlung (Ca-H und Ca-K sind Absorptionslinien), zeigen die Aufnahmen im Wesentlichen Merkmale der Photosphäre. Diese Aufnahmetechnik ist deshalb nicht mit der eigentlichen Kalzium-Linienfotografie (s.u.) zu verwechseln, die Strukturen der Chromosphäre zeigt.

Die Aufnahmen von Chromosphärenstrukturen erfolgten mit einem 90/800-Refraktor, der bis April 2010 mit dem Etalon eines Coronado-PST in Verbindung mit einem BF10-Blockfilter ausgerüstet war. Beide Komponenten bilden gemeinsam ein Filtersystem, das nur für rotes Licht der Wellenlänge 656,3nm durchlässig ist. Licht dieser Wellenlänge (Hα) wird in der Chromosphäre von angeregten Wasserstoffatomen ausgesandt.

Als Energieschutzfilter gegen schädliche UV-Strahlung diente ein Schott RG630 Rotfilter mit einer freien Öffnung von 65mm, der vor dem Objektiv angebracht war. Im April 2010 wurde ein Coronado SM90 Frontelement angeschafft, welches zusammen mit dem Blockfilter BF10 ein leistungsfähigeres und flexibleres Hα-System ergibt. Die Halbwertsbreite des Systems liegt bei 0,07nm.

Alternativ zur Ha-Beobachtung konnte der Refraktor mit einem selbstgebauten Filterelement zur Beobachtung in der Ca-K-Linie bestückt werden. Herzstück des Filterelements ist das Etalon aus einem Coronado CaK-PST mit einer Halbwertsbreite von 0,22nm. Analog zum Hα-Filter ist dieser Filter nur für violettes Licht mit einer Wellenlänge von 393,4nm durchlässig, das von einfach ionisierten Kalziumionen ausgesandt wird. Häufig wurde okularseitig ein 0,5x-Reducer eingesetzt, um die gesamte Sonne abbilden zu können. Aufnahmen mit dem Ca-K-Linien-Filter zeigen im Unterschied zum wesentlich breitbandigeren Baader Kalzium-Filter Strukturen der unteren Chromosphäre.

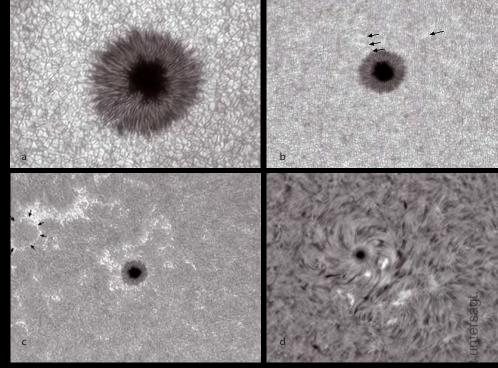


Abb. 3: Das Aktivitätsgebiet NOAA 1084 im Vergleich. a) Weißlicht mit 7500mm Brennweite bei gutem Seeing. b) Mit dem Baader-Planetarium Kalzium-Filter treten Fackeln im Vergleich zum Weißlicht an vielen Stellen stärker hervor. Exemplarisch sind einige Stellen mit Pfeilen markiert. c) Bei 393nm (Ca-K-Linie) ist die Supergranulation sichtbar. Die schwarzen Pfeile markieren eine von Fackeln umschlossene Supergranulationszelle d) Bei 656nm (Ha) prägen Gasfasern (Fibrillen), die sich entlang magnetischer Feldlinien ausrichten, das Erscheinungsbild der Chromosphäre.

Aufnahmetechnik

Die mittlerweile in Amateurkreisen weit verbreitete Videokamera DMK 31AF03.AS der Firma The Imaging Source diente als Aufnahmegerät. Der monochrome 1/3"-Sensor Sony ICX204AL erlaubt eine Auflösung von 1024×768 Bildpunkten und Belichtungszeiten bis zu 1/10000s bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von max. 30 Bildern pro Sekunde.

Soweit es die Aufnahmebedingungen zuließen, wurden pro Summenbild jeweils 1000 Videoframes aufgezeichnet und mit dem Programm AVI-Stack von Michael Teubner bearbeitet. AVI-Stack zeichnet sich besonders dadurch aus, dass bei der Selektion und Aufsummierung der Videoframes durch Luftunruhe verursachte Bewegungen in den Aufnahmen hervorragend kompensiert werden. Das führte im Ergebnis zu einer gleichmäßigen Schärfe über den gesamten Bildbereich hinweg.

Die Bearbeitung der ausgerichteten und aufsummierten Frames erfolgte anschließend mit dem Programm Fitswork4 von Jens Dierks. Im Anschluss an eine Entfaltung (Deconvolution) wurden die Summenbilder in den meisten Fällen mit dem iterativen Gauss-Filter geschärft und abschließend Kontrast und Helligkeit angepasst. In einigen Fällen wurden mit Adobe Photoshop Mosaike der gesamten Sonnenoberfläche erstellt.

Auf eine nachträgliche Kolorierung, wie sie vielfach auf Sonnenaufnahmen zu finden ist, wurde bewusst verzichtet. Die Schwarzweißdarstellung bietet einen besseren Kontrast und vermeidet eine zwar ästhetisch wirkende, aber zugleich auch willkürliche und unrichtige Farbgestaltung.

Ansichten eines Sonnenflecks in weiß...

Ein sehr schönes Beispiel für die Vielfalt der Strukturen, die sich dem Amateurbeobachter in unterschiedlichen Spektralbereichen offenbaren, zeigen die Aufnahmen vom 1. und 2. Juli 2010. Völlig unerwartet herrschte über einen Zeitraum von mehreren Tagen hinweg (bei Vormittagstemperaturen von über 30°C) recht gutes Seeing, so dass im integralen Licht mit einer Brennweite von 7500mm (physikalisch) gearbeitet werden konnte. Niederfrequente, wellenartige Störungen verursachten einerseits starke Verzerrungen, gaben aber auch immer wieder scharfe und detailreiche Ansichten auf die Oberfläche frei.

Da es mithilfe des Programms AVI-Stack möglich war, Unschärfen und Verzerrungen aus der Videosequenz weitgehend zu eliminieren, lässt das bearbeitete Bild eine Fülle hoch aufgelöster Strukturen der Photosphäre erkennen. Abb. 3a zeigt den Sonnenfleck NOAA 1084, eingebettet in ein Meer aus Granulen. Diese polygonal

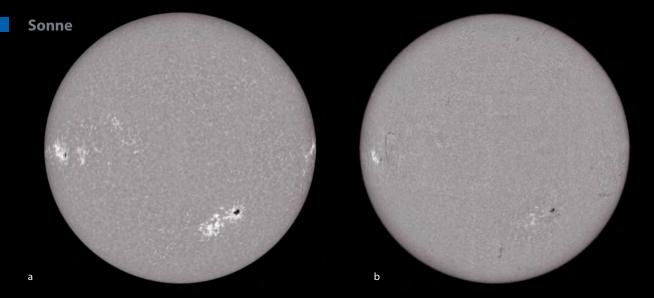


Abb. 4: Gesamtansichten der Sonne. In der Ca-K-Linie (a) sind die aktiven Gebiete besser sichtbar als in der Hα-Linie (b).

unregelmäßig geformten, ca. 1" – 2" großen Erscheinungen überziehen die gesamte Photosphäre und verleihen ihr eine körnige Struktur. In Wirklichkeit besitzen sie einen Durchmesser von durchschnittlich etwa 1000km und sind einer ständigen Veränderung unterworfen. Die Zentren der Granulen erscheinen hell, während intergranuläre Bereiche, in denen das (um wenige hundert Kelvin kühlere) Gas wieder absinkt, deutlich dunkler sind. Granulen teilen sich oder verschwinden innerhalb kurzer Zeit, ihre Lebensdauer beträgt durchschnittlich nur ca. acht Minuten. Die Teilung der Granulen erfolgt entweder vom Zentrum her, wobei zunächst eine dunkle Marke sichtbar wird, oder beginnt als seitliche Einschnürung.

Der Sonnenfleck selbst ist beinahe kreisrund und unipolar. Der dunkle innere Bereich, die Umbra, wird von einem reich strukturierten und helleren Hof, der Penumbra umgeben. Gut zu erkennen ist, dass die Umbra nicht vollkommen schwarz und strukturlos ist. Die »Schwärze« der Umbra ist lediglich ein Effekt der starken Dämpfung des Sonnenlichts, selbst in den kühlsten Regionen der Flecken betragen die Temperaturen noch etwa 4500K. Im ungleichmäßig dunklen Zentralbereich sind einige aufgehellte Punkte oder Flecken zu erkennen, bei denen es sich um so genannte Umbral-Dots handelt. Umbral-Dots messen ca. 0,5" im Durchmesser und entstehen am Rand der Umbra, von wo aus sie in Richtung Zentrum wandern und sich dort auflösen.

Die Penumbra, die sich bei geringer Vergrößerung zumeist nur als hellgrauer Hof zeigt, offenbart sich in Abb. 3a als eine Ansammlung von hellen und dunklen Fasern, die sich als magnetische Flussröhren radial von den Rändern der Umbra nach außen erstrecken. Auf manchen Fasern erscheinen helle Flecken, bei denen es sich

um so genannte Penumbrial Grains handelt. Penumbrial Grains haben eine Lebensdauer von etwa einer halben Stunde und bewegen sich auf den Fasern langsam nach außen.

...violett...

Durch einen Baader Kalzium-Filter bei 3m Brennweite aufgenommen zeigt die Sonnenoberfläche in Abb. 3b ein ähnliches Erscheinungsbild wie in Abb. 3a (abgesehen von der unterschiedlichen Größe infolge der geringeren Aufnahmebrennweite). Beim genauen Hinsehen fällt jedoch auf, dass manche Bereiche in der Umgebung des Flecks etwas heller erscheinen. Es handelt sich bei diesen Aufhellungen um photosphärische Fackelgebiete. Sie treten aufgrund der geringeren Empfindlichkeit des Kamerasensors im kurzwelligen Bereich und der selektiven Durchlässigkeit des Filters für Licht aus dem Grenzbereich zwischen oberer Photosphäre und unterer Chromosphäre stärker hervor.

Im weißen Licht bleiben Fackelgebiete in der Mitte der Sonnenscheibe gewöhnlich unsichtbar, weil sie von Licht aus tieferen Schichten der Photosphäre überstrahlt werden. Am Sonnenrand dagegen kann aus perspektivischen Gründen Licht nur aus den oberen Photosphärenschichten zu uns gelangen. Der Rand erscheint folglich etwas dunkler (weshalb man dieses Phänomen auch als Randverdunkelung bezeichnet) und die helleren Fackeln zeichnen sich deutlich gegen die Umgebung ab.

Die Betrachtung der unteren Chromosphäre durch einen Filter, der ausschließlich Licht der Ca-K-Linie passieren lässt, eröffnet eine ganz neue Perspektive. Sieht man von den unterschiedlichen Aufnahmebedingungen hinsichtlich Teleskop-

öffnung (Auflösungsvermögen!) und Filtertransmission (Helligkeit!) einmal ab, ähnelt das Erscheinungsbild des Sonnenflecks NOAA 1084 stark den Bildern aus Weißlicht- und breitbandigen Kalziumaufnahmen. Die Umgebung des Flecks zeigt jedoch völlig andere Strukturen. Die dunkle, granulierte Oberfläche wird von intensiven hellen Fackelgebieten durchzogen, die fadenförmig oder auch flächig sein können. Sie sind ebenfalls granuliert, was den Verdacht nährt, dass die einzelnen Fackeln mit den photosphärischen Granulen assoziiert sind. Beobachtungen mit professionellen Teleskopen wie z.B. dem schwedischen Sonnenteleskop des Roque de los Muchachos Observatoriums auf La Palma belegen, dass Fackeln »Projektionen« heißer magnetischer Flussröhren auf die Wände der benachbarten Granulen sind. Da am Sonnenrand die perspektivische Sichtlinie auf die »Seitenwände« der Flussröhren fällt, lassen sich Fackeln dort wesentlich leichter beobachten. Sehr gut dargestellt findet sich dieses Phänomen auf der Internetseite des Instituts für Astrophysik Göttingen (vgl. Surftipps).

Die fadenförmig angeordneten Fackeln bilden zumeist ca. 30" - 50" große Areale. Dadurch entsteht eine netzartige Struktur, die die gesamte Sonnenoberfläche überzieht, das so genannte chromosphärische Fackelnetzwerk. Die von Fackeln umsäumten Zellen sind den Granulen übergeordnete Konvektionsstrukturen, die als Supergranulation bezeichnet werden. Abb. 3c zeigt das typische Erscheinungsbild des Fackelnetzwerks, wobei sich die Supergranulen stellenweise als klar umrissene unregelmäßige Areale abzeichnen (siehe mit schwarzen Pfeilen markierte Zelle in Abb. 3c). Häufig ist der Verlauf der »Fackelgrenzen« aber undeutlich oder unterbrochen, so dass vollständig definierte Zelleinheiten nur selten zu finden sind. Der





Abb. 5: Sonnenfleck NOAA 1109. Protuberanzen, Spikulen, Flares und Filamente sind Erscheinungen, die in der Ca-K-Linie (a) nicht sichtbar sind, aber im Licht der Hα-Linie (b) besonders hervortreten.

Durchmesser von Supergranulationszellen beträgt ca. 30000km – 35000km, die Lebensdauer etwa einen Tag.

...und rot

Im Licht der Hα-Linie bei 656,3nm erscheint dieselbe Region in Abb. 3d nicht mehr granuliert, sondern von einer Vielzahl gewundener Fasern, so genannter Fibrillen, überzogen. Nach Form und Anordnung unterscheidet man zwischen einfachen Fibrillen, Büschen und Rosetten. Helle Bereiche mit deutlich körniger Struktur (Grains) lassen sich gut mit den hellen Fackeln der Ca-K-Linie zur Deckung bringen und geben sich dadurch als Fortsetzung dieser Objekte in die obere Chromosphäre zu erkennen (die granulären Strukturen scheinen dabei die Ursprungsorte der Fibrillen zu sein). Sie werden in der Nomenklatur der Chromosphärenstrukturen auch als »Plages« oder »Flocculi« bezeichnet. NOAA 1084 weist neben der dunklen Umbra eine Penumbra auf, die aus vielen, fast konzentrisch angeordneten Flecken gebildet wird, die etwa die Größe von Granulen besitzen. Am äußeren Rand entspringen zahlreiche Fibrillen, die sich wirbelartig entlang von Magnetfeldlinien um den Sonnenfleck winden. Die Umrisse der Supergranulationszellen sind zumeist durch die vielen gewundenen Fibrillen verdeckt und deuten sich nur an wenigen Stellen an.

Die aktive Sonne

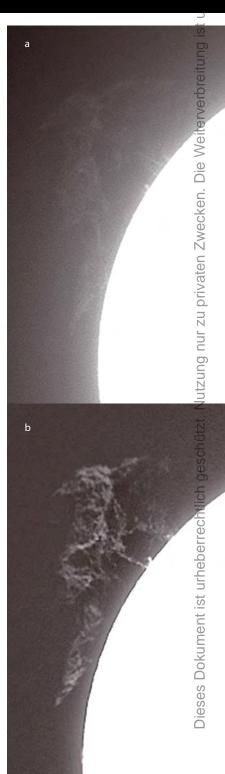
Zieht man neben der detaillierten Betrachtung lokaler Erscheinungen auch die Beobachtung der gesamten Sonnenscheibe hinzu, werden die unterschiedlichen spektralen Ausprägungen noch deutlicher. Anhand einer Aufnahmenserie vom 23. September 2010, die unter anderem Mosaike (6 Aufnahmen) in Hα und Ca-K umfasst und in Abb. 4 dargestellt ist, lassen sich exemplarisch die unterschiedlichen Ansichten der Gesamtsonne illustrieren. Beim Vergleich der Mosaike fällt zu-

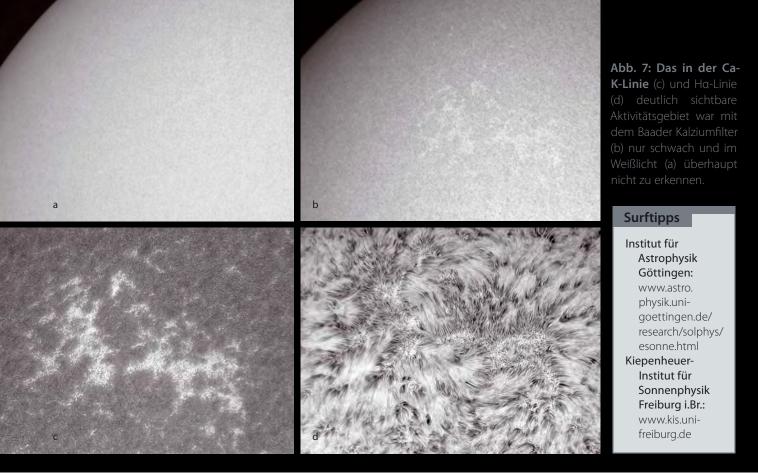
Abb. 6: Die eruptive Protuberanz am ► 13.4.2010 war im Licht der Ca-K-Linie (a) erkennbar, wenn auch nicht so auffällig wie im Hα-Licht (b).

nächst auf, dass aktive Gebiete im Licht der Ca-K-Linie aufgrund der kontrastreichen Fackelgebiete viel stärker zum Vorschein kommen als im H α -Licht. Dieser Eindruck verstärkt sich noch durch das weitverzeigte Fackelnetzwerk und die kontrastreicheren Sonnenflecken. Sehr typisch für die Auflösung von Sonnenflecken blieb der östliche Teil von NOAA 1108 in Abb. 4a noch längere Zeit als großflächiges Fackelgebiet sichtbar, während sich der entsprechende Fleck schon einige Tage zuvor aufgelöst hatte.

Im Hα-Licht hinterließ das Verschwinden des östlichen Flecks hingegen weniger deutliche Spuren. Charakteristische Erscheinungen der oberen Chromosphäre (Fackeln und Flares) bzw. der Korona (Protuberanzen und Filamente) in Abb. 4b weisen auf die verbliebenen aktiven Regionen hin. Die Aufnahme zeigt am östlichen Sonnenrand mit NOAA 1109 noch ein zweites Aktivitätsgebiet. In Abb. 5b wurde diese Region bei einer auf 3m vergrößerten Brennweite in Ha aufgenommen, so dass weitere Details erkennbar sind. Während zwischen dem westlichen p-Fleck und dem sich auflösenden östlichen f-Fleck ein kleinerer Ausbruch stattfand, erstreckte sich ein auffälliges bogenförmiges Filament von der Fleckengruppe weg nach Norden bzw. Westen. Im Kalzium-Mosaik in Abb. 5a blieben die Strukturen indessen unsichtbar. Protuberanzen können allerdings durchaus auch in der Ca-K-Linie beobachtet werden. Als Beispiel sei auf die große eruptive Protuberanz in Abb. 6 verwiesen, die am späten Vormittag des 13. April 2010 aufgenommen werden konnte. Trotz des wesentlich geringeren Kontrasts im Vergleich zur Hα-Aufnahme (Abb. 6b) war der Ausbruch im Kalziumlicht (Abb. 6a) gut erkennbar.

Ebenfalls typische Objekte im Hα-Licht sind die so genannten Spikulen. Diese durch Schallwellen induzierten Gasjets von ca. 500km Durch-





messer und ca. 5000km Höhe spielen eine wesentliche Rolle beim Wärmetransport von der Chromosphäre in die Korona. Sie sind auf der Sonnenscheibe wegen ihrer relativen »Kleinheit« nur bei extrem ruhiger Luft und mit großen Teleskopen zu beobachten. Sehr gut sind Spikulen allerdings schon ab 100mm Teleskopöffnung am Sonnenrand sichtbar, wo sie als »borstiger« Saum in Erscheinung treten (s. Abb. 5b). Obwohl Spikulen durch Konvektion an die Ränder von Supergranulationszellen gedrängt werden und dort somit gehäuft vorkommen, sind sie für Beobachter im Kalzium-Licht nicht sichtbar, wie die Aufnahme in Abb. 5a bestätigt.

Die ruhige Sonne

Ein letzter fotografischer Vergleich richtete den Fokus auf einen Bereich, der im integralen Licht eine fast gleichmäßige, ungestörte Sonnenoberfläche zeigte. Am Vormittag des 24. April 2010, als die Bilder entstanden, präsentierte sich die Sonne den neunten Tag hintereinander völlig fleckenlos, auf der Sonne war, salopp formuliert, »absolut nichts los«.

Diesen Sachverhalt unterstreicht der Ausschnitt in Abb. 7a, aufgenommen im integralen Licht. Dasselbe Gebiet, jetzt allerdings durch den Baader-Kalzium-Filter belichtet, lässt in der Bildmitte von Abb. 7b schon deutlich aufgehellte Strukturen hervortreten, die Teile eines größeren Fackelgebietes sind. In der Ca-K-Linie bei einer Längenwelle von 393,4nm und einer Halbwertsbreite von 0,22nm offenbart sich das Fackelgebiet in Abb. 7c schließlich kontrastreich und von Granulen und Supergranulationszellen überzogen.

Im Licht der H α -Linie des Wasserstoffs bei 656,3nm in Abb. 7d zeigen sich wieder die typischen Strukturen einer gestörten Chromosphäre: Fibrillen, die entlang magnetischer Feldlinien chaotisch verwunden sind und ein Fackelgebiet mit charakteristischer Körnung, das quer durch das Bild verläuft. Nach Form und Größe entspricht es ungefähr dem in beiden Kalziumfiltern aufgenommenen Fackelgebiet.

Fazit

Wie anhand der vorgestellten Aufnahmen demonstriert werden konnte, ist es selbst für Amateurastronomen mit kleinem Budget heutzutage kein Problem mehr, hoch aufgelöste Strukturen aus ganz unterschiedlichen Bereichen der Sonnenatmosphäre abzubilden. Durch den Einsatz preiswerter monochromatischer Filter erhalten Sonnenbeobachter Einsichten in die Prozesse, die in der Chromosphäre und den Übergangsbereichen zu Photosphäre und Korona ablaufen. Der breitbandige Baader Kalzium-Filter zeigt im Wesentlichen die Erscheinungen der Photosphäre, wobei die Fackelgebiete in den Randbereichen der Sonnenscheibe (Randfackeln) deutlich kontrastreicher dargestellt werden. Die geringere Durchlässigkeit des Filters

im Vergleich zur Weißlichtbeobachtung führt jedoch zu längeren Belichtungszeiten und verstärktem Rauschen bei Video- bzw. CCD-Aufnahmen. Mit dem Ca-K-Linien-Filter lassen sich besonders gut Erscheinungen beobachten, die durch den Transport von Wärme in der Chromosphäre verursacht werden. Granulation, Supergranulation und heiße Fackeln prägen das Erscheinungsbild. Da aktive Gebiete fast immer vorhanden sind, ist die Beobachtung im Licht der Ca-K-Linie eine besonders lohnende Beschäftigung. Im Licht der Ha-Linie zeigen sich besonders Magnetfeldstrukturen der Chromosphäre. Gasströme werden von den Feldlinien zu Fibrillen. Filamenten, Protuberanzen, Büscheln, Rosetten und Spikulen geformt, wobei die Interpretation der Strukturen schwierig ist. Darüber hinaus charakterisieren Plages und Flares, hauptsächlich in Zeiten starker Aktivität, das Erscheinungsbild der aktiven Sonne.

- [1] Banisch, J.: Die Sonne, Oculum-Verlag, Erlangen
- [2] Roth, G. D.: Handbuch f
 ür Sternfreunde, Springer Verlag, Berlin Heidelberg (1989)
- [3] Scholz, M.: Kleines Lehrbuch der Astronomie und Astrophysik Band 12, www.astrolehrbuch.de (2009)
- [4] Scholz, M.: Kleines Lehrbuch der Astronomie und Astrophysik Band 13, www.astrolehrbuch.de (2009)
- [5] Zimmermann, H., Weigert, A.: Lexikon der Astronomie, Spektrum-Verlag, Heidelberg Berlin (1995)

Der bunte Mond Hochaufgelöste Mare Imbrium und farbüberhöhte Mare Serenitatis Mondfotografie VON MICHAFI HUNNEKUHI Mare Tranquillitatis Mit kleinen Teleskopen oder den eigenen Augen betrachtet, erscheint der Mond grau und farblos. Es lassen sich Oberflächenstrukturen erkennen, die sich in Form und Helligkeit unterscheiden. Der Anblick durch ein größeres Teleskop offenbart erste schwache Farbnuancen. Einfache Aufnahmen mit einer digitalen Spiegelreflexkamera und Teleobjektiv bestätigen dies: Strukturen, die mit dem bloßen Auge betrachtet nur als dunklere Bereiche auf dem Mond erscheinen, zeigen eine leichte Rot- oder Blaufärbung. Was sind das für Strukturen, die diese

Abb. 1: Der farbige Mond – eine ungewohnte Perspektive für Amateurastronomen. Doch mit zielgerichteter Aufnahme- und Bildbearbeitungstechnik wird der Mond tatsächlich farbig, und es lassen sich Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Mondoberfläche ziehen: Basaltgefüllte Mare erscheinen dunkel und zeigen eine ausgeprägte Rot- und Blaufärbung. Hochlandregionen sind heller und durch abgestufte Rotfärbungen und helle Kraterauswürfe geprägt.

Färbung zeigen, und was bedeuten sie?

eitdem der Mond mit Teleskopen beobachtet wird, werden die großen Strukturen als Terrae und Maria bezeichnet. Am auffälligsten unterscheiden sich diese Strukturen in ihrer Helligkeit. Terrae sind die zerklüfteten und von vielen großen Kratern durchsetzten Hochländer der Mondoberfläche, Maria die Lava gefüllten Tiefebenen, die in der Frühgeschichte des Mondes durch den Einschlag größerer Asteroiden entstanden. Nach der am weitesten akzeptierten Theorie entstand der Mond vor ca. 4,5 Milliarden Jahren durch den streifenden Zusam-

menstoß der jungen Erde mit einem etwa marsgroßen Himmelskörper (vgl. Astrowissen, interstellarum 73). Wissenschaftler gehen davon aus, dass die Oberfläche des jungen Mondes ganz oder zum überwiegenden Teil geschmolzen war. Den Mond bedeckte ein riesiger Magmaozean,



Abb. 2: Das Auswurfmaterial des Kraters Tycho überdeckt Teile das Mare Nubium. Das helle anorthitische Auswurfmaterial bildet einen starken Farbkontrast zum Basalt. Bräunliche Verfärbungen im Krater Alphonsus und im Bereich der Rima Birt zeigen Auswurfmaterial pyroklastischer Vulkaneruptionen.

Procellarum-KREEP-Terrain

Noch in den 1990er Jahren gingen Wissenschaftler davon aus, dass der Grenzbereich zwischen Mondkruste und Mantel aus einem mehr oder weniger homogen verteilten Material namens KREEP besteht. KREEP bezeichnet ein mit Kalium, Seltenenerdelementen (engl.: rare earth elements, REE) wie etwa Samarium oder Gadolinium sowie Phosphor angereichertes Gestein. Elemente hoher Dichte und radioaktive Elemente wie Uran und Thorium liegen ebenfalls in erhöhter Konzentration vor. Aus dem ursprünglichen Magmaozean des Mondes kristallisierte KREEP zuletzt.

Die Messungen der Lunar Prospector Sonde zeigen, dass die großen Maregebiete im Westen sowie die angrenzenden Hochländer hohe Thorium-, Kalium-, Seltenenerdkonzentrationen aufweisen. Es wird angenommen, dass das Material bei der Entstehung des Imbriumbeckens freigelegt und herausgeschleudert wurde. Vulkanismus in dieser Region förderte weiteres Material (KREEP-Basalt) an die Oberfläche. Hohe Konzentrationen an radioaktiven Elementen und die mit ihnen verbundenen Aufheizprozesse werden für den lang anhaltenden Vulkanismus in dieser Region verantwortlich gemacht. An anderen Orten mit vergleichbar tiefen Impaktbecken wie dem Mare-Orientale und dem Südpol-Aitken-Becken auf der Mondrückseite, konnten keine vergleichbaren Oberflächenanreicherungen mit KREEP registriert werden. KREEP-haltiges Gestein zwischen Kruste und Mantel muss daher stark ungleichmäßig verteilt vorliegen.

der langsam abkühlte. Die beginnende Kristallisation des Magmaozeans führte zur chemischen Separation, einer Anreicherung des noch geschmolzenen Anteils mit Elementen wie etwa Eisen und Titan. Radioaktives Uran und Thorium wurden ebenfalls in der verbleibenden Schmelze konzentriert. Nach heutigem Verständnis bestand die junge Mondkruste überwiegend aus hellem anorthitischem Plagioklas-Feldspat. Die Hochländer des Mondes bestehen zum Großteil aus diesem Material. Abbildung 1 zeigt die ausgeprägt rot und blau gefärbten Maregebiete und die überwiegend grau-weiß und schwach rötlich gefärbten Hochländer.

Die Oberfläche des Mondes – Maregebiete

Große Meteoriten schlugen bis vor etwa 3,8 Milliarden Jahren auf dem Mond ein und formten die jetzt mit Basaltgestein gefüllten Becken. Lavaaustritte fluteten die Böden dieser Senken überwiegend bis vor etwa 3 Milliarden Jahren. Größere Teile im Oceanus Procellarum, ein ausgedehntes Maregebiet im Westteil der erdzugewandten Mondseite, werden inzwischen deutlich jünger eingestuft. Lavaaustritte könnten hier bis vor etwa 1,2 Milliarden Jahre aufgetreten sein [1].

Mondbasalt, d.h. an der Oberfläche erstarrte Lava aus dem Mondinneren, enthält erheblich mehr Eisen und Titan als das Gestein der Hochländer. Der höhere Anteil ist dadurch zu erklären, dass Lava aus aufgeschmolzenem Gestein besteht, das sich bei der Mondentstehung aufgrund seiner höheren Dichte im Mondmantel und im Grenzbereich zwischen Mantel und Kruste ansammelte. Eisen und Titan sind in Form von Oxiden in allen Maregebieten zu finden. Titan ist überwiegend im Mineral Ilmenit und Eisen in Pyroxenen und Olivin eingelagert. Der Anteil an Titandioxid im Marebasalt variiert grob zwischen 0% und 8%, der von Eisenoxid zwischen ca. 12% und 24%.

Mondbasalte weisen allgemein eine geringe Albedo auf. Sie reflektieren weniger als 10% des auftreffenden Sonnenlichts. Der Zusammenhang zwischen Basaltfärbung und Eisen- bzw. Titananteil ist komplex. Inzwischen konnten aber eine Reihe grundsätzlicher Zusammenhänge geklärt werden [2]: Bei geringem Titan- (<1% Titandioxid) und Eisenanteil (<18% Eisenoxid) ist eine deutliche Absorption im ultravioletten und blauen Spektralbereich zu beobachten. Der Basalt ist durch den Eisenanteil rötlich gefärbt. Mit zunehmendem Eisen- und konstant niedrigem Titananteil nimmt die Rotfärbung jedoch ab. Bei konstantem Eisenanteil nimmt die Blaufärbung mit zunehmendem Titananteil zu. Dies gilt für Basalte mit beliebigem Eisenanteil. Mit zunehmendem Titananteil wird Basalt immer dunkler. Grundsätzlich zeigen blau gefärbte Basalte einen hohen und rot gefärbte einen niedrigen Titananteil. Allerdings zeigen umgekehrt Basalte mit einem geringen Titananteil nicht zwingend

eine Rotfärbung. Es können zwei Farbtrends unterschieden werden: Bei einem Titandioxidanteil von weniger als 1,5% und einem Eisenoxidanteil von weniger als 17,5% führen geringe Änderungen im Titananteil zu großen Farbänderungen. Bei größeren Konzentrationen an Titandioxid und Eisenoxid sind bei gleichen Änderungen der Titankonzentration deutlich geringere Farbänderungen zu beobachten. Abbildung 1 zeigt anschaulich einen ausgeprägten Farbsprung an der Grenze des Mare Serenitatis und Mare Tranquillitatis. Der Basalt im Mare Tranquillitas zeigt eine deutlich höhere Konzentration an Titan, als der im rot gefärbten Mare Serenitatis. Große Teile des Oceanus Procellarum zeigen sowohl hohe Eisen- als auch Titankonzentrationen und sind blau gefärbt. Der nordöstliche Teil des Mare Imbrium zeigt sowohl niedrige Titan- als auch Eisenkonzentrationen und ist rot gefärbt. Die leicht rötliche und bläuliche Grundfärbung der Maregebiete wird heute im Wesentlichen auf den hohen Eisen- und die Variation im Titananteil zurückgeführt. Korngröße und Alterung des Oberflächenmaterials, sowie das Mengenverhältnis von Pyroxenen und Olivin haben aber ebenfalls einen Einfluss auf die detaillierte Färbung der Maregebiete.

Eine grundlegende Zuordnung gelang erstmalig mit Hilfe der Raumsonde Clementine. Im Jahre 1994 kartierte sie einen Großteil der Mondoberfläche in verschiedenen Spektralbereichen. Die hochaufgelösten Mondbilder der Clementine-Sonde sind für jedermann frei verfügbar (vgl. Surftipps). Mit Hilfe von Mondproben, die die Apollo-Missionen zur Erde brachten, konnten Kalibrationsmessungen zur Reflektivität von Mondgestein durchgeführt werden. In Kombination ließ sich so eine erste Karte der Mondoberfläche erstellen, die die Häufigkeit von Eisen und Titan darstellt. Kenntnis über die Verteilung von nicht-oberflächentypischen Elementen ermöglicht dem Geologen einen Einblick in die inneren Prozesse während der Mondentwicklung.

Die Oberfläche des Mondes – Hochländer

Auch die Hochlandregionen zeigen trotz bedeutend geringerem Eisen- und Titangehalt an vielen Stellen eine leichte Rotfärbung. Der Hauptbestandteil der Hochländer, anorthitischer Plagioklas-Feldspat, zeigt in seiner ursprünglichen Form keine signifikante Färbung im sichtbaren Spektralbereich. Der Ursprung der sichtbaren Rotfärbung kann auf den natürlichen Verwitterungsprozess der Mondoberfläche zurückgeführt werden. Quasi die gesamte Mondoberfläche besteht

aus Regolith, einem lockeren Verwitterungsprodukt des Oberflächengesteins. Färbung und Helligkeit des Regoliths stehen im engen Zusammenhang mit dem Zeitraum, den er dem Einfluss des Weltraums ausgesetzt war. Da der Mond keine Atmosphäre besitzt, wird er noch immer von unzähligen Mikrometeoriten getroffen. Sie erreichen ungebremst die Oberfläche. Trifft ein solcher Mikrometeorit (<1mm) die Oberfläche, so wird Material abgeschlagen, geschmolzen und auch verdampft. Ein Vorgang der seit Entstehung des Mondes andauert. Kleinste Eisenmengen im Oberflächenmaterial verdampfen und kondensieren anschließend in der Umgebung. Hierbei entstehen kleinste Partikel aus reinem Eisen, so genanntes Nanophasen-Eisen. Die Größe dieser Partikel beträgt in der Regolithoberfläche etwa 1nm - 15nm.

Kleine Partikel führen in geringer Konzentration zur Absorption im ultravioletten und blauen Spektralbereich. Mit zunehmender Konzentration von Nanophasen-Eisen wird der Regolith insgesamt dunkler und die Unterschiede in der Absorption im roten und blauen Spektralbereich nehmen ab. Größere Partikel führen ebenfalls zu einer Rotfärbung und Reflexionsverlust. Die Absorptionsunterschiede im roten und blauen Spektralbereich sind aber geringer ausgeprägt. Durch die Bildung von Nanophasen-Eisen nimmt Regolith im Laufe der Zeit eine leicht rötliche Färbung an und wird insgesamt dunkler. Die Bestimmung des exakten Einflusses von Größe und Konzentration der Nanophasen-Eisenpartikel auf Farbveränderungen der Mondoberfläche ist Gegenstand aktueller Forschung [3].

Neben den Mikrometeoriten führen hohe Temperaturschwankungen zwischen Mondtag und -nacht, sowie schwache Mondbeben zur Erosion der Mondoberfläche. Sonnenwind und kosmische Strahlung verändern ebenfalls permanent die Regolithoberfläche. Partikel aus dem Sonnenwind werden in die Oberfläche implantiert, z.B. das auf der Erde extrem seltene Heliumisotop 3He, oder schlagen Atome aus dem Oberflächenmaterial heraus. Hochenergetische Strahlung führt zu Kernreaktionen bei denen Neutronen und Gammastrahlen freigesetzt werden. Über diese Prozesse können eine Vielzahl von Elementen mit Neutronen- und Gammadetektoren aus dem Mondorbit heraus nachgewiesen werden. In den Jahren 1998-99 wurde der Mond erstmalig großflächig mit Hilfe solcher Detektoren an Bord der Raumsonde Lunar Prospector untersucht und dies führte zur Entdeckung des Procellarum-KREEP-Terrains [4].

Die Oberfläche des Mondes – Krater

Jüngere Krater auf dem Mond können leicht identifiziert werden. Durch den Einschlag wird Untergrundmaterial freigelegt und ausgeworfen, das dem Beschuss durch Mikrometeoriten bisher kürzer ausgesetzt war und geringere Konzentrationen von Nanophasen-Eisen aufweist. Es ist in der Regel deutlich heller als die Umgebung und erscheint weißlich-blau. Die Auswürfe, so genannte Strahlensysteme, großer und jüngerer Impaktereignisse zeigen diese Färbung. Abbildung 2 verdeutlicht dies am Krater Tycho.

Abb. 3: In unzähligen Impaktereignissen herausgeschleudertes Material bedeckt heute einen Großteil des Mare Nectaris. Der Westteil zeigt zwei so genannte Dark-Halo-Objekte, Krater mit dunklem Auswurfmaterial.







▲ Abb. 4: Das Grenzgebiet Mare Vapo-

rum, Serenitatis und Tranquillitatis. Tiefbraun gefärbte Gebiete können mit den Auswürfen pyroklastischer Vulkaneruptionen assoziiert werden. Die Auswürfe junger Impaktereignisse erscheinen weiß bis weiß-bläulich.

Dunkle Kraterauswürfe, wie sie zum Beispiel in Abb. 3 im Mare Nectaris südöstlich des Kraters Theophilus zu sehen sind, entstehen, wenn Meteoriten den Regolith der Oberfläche durchschlagen und Basaltmaterial freilegen. Je nach Eisen- und Titangehalt erscheinen diese Auswürfe rötlich oder bläulich. Ein Beispiel für den gleichzeitigen Auswurf von basaltischem Untergrund und gering verwittertem Regolith zeigt der Krater Dionysius am südwestlichen Rand des Mare Tranquillitatis. Abbildung 4 zeigt diesen Krater im rechten Bildteil. Sein Auswurfmaterial besteht sowohl aus titanreichem Basaltgestein als auch aus hellem Regolith.

Beobachtung im Procellarum-KREEP-Terrain

Farbüberhöhungen werden durch eine Verstärkung der Farbsättigung erzielt. Moderate Steigerungen offenbaren eine Vielzahl von gelb bis gelb-orange gefärbten Strukturen im südwestlichen Teil des Procellarum-KREEP-Terrains. Sehr markant ist z.B. der Zentralberg des Kraters Bullialdus im westlichen Teil des Mare Nubium, der in Abb. 2 zu sehen ist. Er zeigt eine intensiv gelbe Färbung. Das Gestein des Zentralberges konnte inzwischen als sehr magnesiumreich identi-

Abb. 5: Das Mare Humorum und angrenzende »Red spots«, die in farbüberhöhten ▲ Aufnahmen gelb gefärbt erscheinen.

fiziert werden [5]. Zentralberge großer Krater sind geologisch von großem Interesse, da sie nicht aus Oberflächengestein, sondern aus tiefliegendem Material bestehen, das durch den Impakt an die Oberfläche transportiert wurde.

Auch der südwestlich an das Mare Humorum angrenzende Teil des Procellarum-KREEP-Terrains zeigt eine Vielzahl gelb gefärbter Regionen, die auf der erdzugewandten Seite des Mondes in dieser Größe nur im Procellarum-KREEP-Terrain zu beobachten sind. Aufgrund ihrer starken Absorption im ultravioletten Spektralbereich werden diese Strukturen vielfach auch als red-spots bezeichnet. Zwei dieser Formationen, Mons Hansteen und Darney χ, werden als vulkanische Domstrukturen gedeutet, die aus zähflüssiger Lava entstanden. Darney χ ist möglicherweise das älteste bekannte Zeugnis von Hochlandvulkanismus. Sein Alter wird mit 3,94 Milliarden Jahren angegeben [6]. Abb. 5 zeigt das betreffende Gebiet.

Der Ursprung anderer Strukturen, die in farbüberhöhten Aufnahmen in nahezu identischer Färbung erscheinen, ist bisher nicht zweifelsfrei geklärt. Dazu gehören die als »The Helmet« bekannte Region, der Südteil des Montes Riphaeus und das Areal um den Krater Agatarchides. Auch der Vulkandom Mons Gruithuisen γ nordöstlich des Aristarchus Plateaus zeigt eine vergleichbare Färbung. Möglicherweise kann die Auswertung hochaufgelöster Bilder der Raumsonden Kaguya/Selene, Chandrayaan-1, Chang'e-1,

Chang'e-2 und Lunar Reconaissance Orbiter den Ursprung dieser Färbungen in den nächsten Jahren abschließend klären.

In vielen Regionen des Mondes kann das Auswurfmaterial pyroklastischer Vulkaneruptionen nachgewiesen werden. Dieses Material erscheint auf farbüberhöhten Aufnahmen in großflächigen Strukturen braun bis rotbraun oder auch tiefblau gefärbt. Abb. 6 zeigt Beispiele dieser als Dark-Mantle-Deposit (DMD) bezeichneten Auswürfe am Ostrand des Mare Vaporum, in dem der etwa 11km großen Krater Hyginus N teilweise von einem Lavadom überdeckt wird. DMD entsteht durch eruptive Lavaauswürfe. Bei schneller Abkühlung ist das Material glasartig und nicht, oder nur zu einem geringen Anteil, kristallisiert. In diesem Zustand ist es deutlich gefärbt. Abhängig vom Anteil an Titandioxid ist es grünlich (>0,6%), gelblich, oder orange bis rot (<16%) gefärbt [7].

In stark farbüberhöhten Aufnahmen ist nördlich einer Linie, die die Krater Euclides und Wichmann R verbindet, eine gelbgrün gefärbte Region zu beobachten. Bilder der Raumsonde Clementine zeigen hier einen Abfall der Titankonzentration. Ob die Färbung auf pyroklastische Lavaeruptionen zurückgeführt werden kann, ist jedoch ungewiss.

Auch einige größere Krater und Rillen zeigen Relikte vulkanischer Aktivität. Beispiele sind der Krater Atlas, sowie in Abb. 2 der Krater Alphonsus und Rima Birt.

Riesenposter Mond



Der Mond in voller Auflösung eines 8"-Refraktors mit moderner Aufnahmetechnik, brillant und in Farbe: Diesen Traum kann man sich nun an die Wand hängen. Die Bilder von Michael Hunnekuhl aus diesem Artikel sind zu einem Poster des Erdtrabanten zusammengestellt worden. Im Großformat A0 ergibt sich so ein gleichzeitig schönes, detailreiches und farbiges Bild des Mondes. Viele Mondformationen sind zur Identifikation benannt. Dieses Poster ist auf jeden Fall ein Blickfang!

Der Mond – Hochaufgelöste Farbaufnahmen von Michael Hunnekuhl, 119cm×84cm, April 2011, 1. Auflage, Oculum-Verlag Erlangen, ISBN 978-3-938469-49-1, 14,90€

Aufnahme farbüberhöhter Mondaufnahmen

Der Markt bietet dem Amateur heute eine Auswahl mehrerer kostengünstiger Schwarz-Weiß (SW)-CCD-Videokameras mit exzellentem Rauschverhalten. Die Entwicklung dieser Kameras hat die Amateurmondfotografie seit etwa Mitte der 1990er Jahre revolutioniert. Mit Hilfe der heute im Amateurbereich eingesetzten Modelle können mit moderaten Teleskopöffnungen (150mm – 350mm Durchmesser) Bildauflösungen erzielt werden, die noch vor 20 Jahren erdgebundenen Großteleskopen vorbehalten waren [8].

Doch erst die Verfügbarkeit geeigneter Bildbearbeitungssoftware gestattet es, die Bildqualität der neuen Kameragenerationen voll auszuschöpfen. Engagierte Amateurastronomen haben hierzu frei verfügbare Computerprogramme (z.B. AviStack und Registax, vgl. Surftipps) entwickelt, mit denen Bildverzerrungen, wie sie durch

atmosphärische Turbulenzen hervorgerufen werden, erheblich reduziert werden können. Mit Hilfe dieser Programme wird aus einer Bildsequenz ein weitestgehend

Abb. 6: Dark-Mantle-Deposits bedecken den Ostrand des Mare Vaporum. Der Krater Hyginus N ist teilweise von Lava überdeckt. Im oberen Bildteil ist die 2,8km große Ina-Struktur im Lacus Felicitatis zu erkennen. Diese wird mit geologisch jungen Ausgasungen an der Mondoberfläche in Verbindung gebracht. Die Ina-Struktur zeigt die physikalische Grenze des Auflösungsvermögens einer 8"-Optik.

entzerrtes Bild generiert. Mit geeigneten Schärfalgorithmen kann ein Amateur – unter guten atmosphärischen Bedingungen – so fotografisch an die physika-



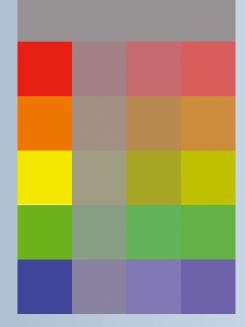


Abb. 7: Werden die Farben der linken Spalte mit einem Anteil von 10% einem hellen Grau (oben) beigemischt, so entstehen die Farben der zweiten Spalte von links. Eine typische Erhöhung der Farbsättigung führt zu den in den beiden rechten Spalten dargestellten Farben.

lische Auflösungsgrenze seines Teleskops stoßen.

Aufgrund der hohen Bildrate heutiger SW-CCD-Videokameras kann ein komplettes Mondmosaik mit geringem Zeitaufwand aufgenommen werden. Die Aufnahmeserie für ein hochaufgelöstes, farbüberhöhtes Mondmosaik nimmt bei Halbmond und einem Teleskop mit 3m Brennweite etwa eine Stunde Zeit in Anspruch. Bei dieser Brennweite fallen typischerweise mehr als 20GB Rohdaten an. Aufnahme und Bearbeitung einer farbüberhöhten Mondaufnahme erfolgen in sechs Schritten:

1. Aufnahme der SW-Filme und Farbbilder: Zur Aufnahme werden eine SW-CCD-Videokamera an das Beobachtungsteleskop montiert und unkomprimierte Filme aufgenommen. Je nach Farbreinheit des Teleskopes wird entweder ein kombinierter IR- + UV-Sperrfilter oder ein Grünfilter vor der Kamera verwendet. Rot- bzw. Blaufilter sowie Filter, die IR-Licht passieren lassen und den sichtbaren Wellenlängenbereich blocken, sind ungeeignet. Diese führen zu starken Kontrastveränderungen zwischen rot und blau gefärbten Regionen. In einer zweiten Aufnahmeserie wird mit Hilfe einer digitalen Spiegelreflexkamera eine Serie von Farbbildern aufgenommen. Die Überlappung einzelner Aufnahmeserien sollte so gewählt werden, dass die Summenbilder unter Berücksichtigung der Aufnahmedauer einzelner Serien, der Nachführgenauigkeit und der Mondbewegung in Deklination und Rektaszension etwa 10% ausmacht.

- 2. Verarbeitung der einzelnen SW- und Farbsequenzen zu getrennten Summenbildern: Die Bildsequenzen werden mit Computerprogrammen zu Summenbildern überlagert. Geeignete Programme sind z.B. AviStack oder Registax. Avi-Stack v2.0 erlaubt eine vollautomatisierte Sequenzverarbeitung. Für ein rauscharmes SW-Summenbild werden ca. 250-400 selektierte Einzelbilder aus jedem aufgenommenen Film benötigt. Bei guten Seeingbedingungen können über 80% des Filmmaterials ausgewertet werden. Für eine Farbsequenz sollten, abhängig vom Rauschverhalten der verwendeten Spiegelreflexkamera, mindestens 20 Aufnahmen verarbeitet werden.
- Schärfen der SW-Summenbilder: Geeignete Werkzeuge bieten z.B. die Programme AviStack, Registax und Fitswork. Fitswork ist ebenfalls frei verfügbar (vgl. Surftipps).
- 4. Kombination der geschärften SW-Summenbilder zu einem Mosaik: Die geschärften Summenbilder werden mit Überlapp zu einem Mosaik kombiniert. Hierfür geeignete Programme sind z.B. Photoshop, Gimpshop und Gimp. Gimpshop und Gimp sind frei verfügbare Bildbearbeitungsprogramme.
- Farbüberhöhung: Hierzu wird die Farbsättigung in den Farb-Summenbildern erhöht. Geeignete Programme sind z.B. Photoshop, Gimpshop, Gimp oder Fitswork, die die entsprechende Funktion als fertiges Werkzeug beinhalten. Abbildung 7 zeigt den Einfluss der Farbsättigungserhöhungen an einem Beispiel. Die Farb-Summenbilder können vor Erhöhung der Farbsättigung kalibriert werden. Hierzu wird ein Bereich außerhalb der Mondoberfläche auf dem Summenbild ausgewählt und hier ein Grauwertabgleich durchgeführt. Die Kalibration reagiert sehr empfindlich auf Streulicht, das durch hohe Luftfeuchtigkeit und im Teleskop selbst erzeugt wird. Der Grauwertabgleich kann z.B. mit Fitswork durchgeführt werden.
- 6. Überlagerung von SW-Mosaik und farbüberhöhten Farb-Summenbildern: Farb- und SW-Bilder werden hierzu in getrennten Ebenen zusammengefasst. Die SW-Ebene wird als Luminanz- und die Farbebene als Farbinformation verwendet. Geeignete Programme sind z.B. Photoshop, Gimpshop und Gimp.

Alle hochaufgelösten SW-Aufnahmen entstanden am 8"-Fraunhofer-Refraktor

und die ihnen hinterlegten Farbaufnahmen am 11"-Schmidt-Cassegrain-Teleskop der Volkssternwarte Hannover. Die verwendeten Kameramodelle sind: DMK 31 (SW) und Canon EOS 40D (Farbe).

Fazit

Die farbüberhöhte Mondfotografie öffnet dem Amateur ein Fenster zu einer neuen Monddimension. Zusätzliche Farbinformationen vertiefen den Einblick in die Mondgeologie über rein morphologische Aspekte hinaus immens. Diese wenig verbreitete Aufnahmetechnik ist sicher ein interessantes Instrument, mit dem der Amateur die aktuelle Mondforschung in eigenen Aufnahmen verfolgen kann.

- [1] Hiesinger, H. et al.: Ages and stratigraphy of mare basalts in Oceanus Procellarum, Mare Nubium, Mare Cognitum, and mare Insularum, Journal of Geophysical Research 108, 5065 (2003)
- 2] Gillis-Davis, J. J., Lucey, P. G., Hawke, B. R.: Testing the relation between UV-vis color and TiO₂ content of the lunar maria, Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 6079 (2006)
- [3] Noble, S. K., Pieters, C. M., Keller, L. P.: An experimental approach to understanding the optical effects of space weathering, Icarus 192, 629 (2007)
- [4] Lawrence, D. J. et al.: Global Elemental Maps of the Moon: The Lunar Prospector Gamma-Ray Spectrometer, Science 281, 1484 (1998)
- [5] Wöhler, C., Berezhnoy, A., Evans, R.: Estimation of elemental abundances of the lunar regolith using Clementine UVVIS+NIR data, Planetary and Space Science 59, 92 (2011)
- [6] Hawke, B. R. et al.: Hansteen Alpha: A volcanic construct in the lunar highlands, Journal of Geophysical Research 108, 5069 (2003)
- [7] Taylor G. J.: Recipe for High-Titanium Lunar Magmas, Planetary Science Research Discoveries, www.psrd. hawaii.edu/Dec00/highTi.html (2000)
- [8] Chu, A., Paech, W., Weigand, M.: Fotografischer Mondatlas, Oculum-Verlag, Erlangen (2010)

Surftipps

Mondaufnahmen des Lunar and Planetary Institute: www.lpi.usra. edu/lunar/lunar_images

Clementine-Kartierungsprogramm: www.lpi.usra.edu/lunar/tools/ clementine

Google Moon: www.google.com/

AviStack: www.avistack.de

RegiStax: www.astronomie.be/registax

Fitswork: www.fitswork.de

Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter

Kugelsternhaufen am Sommerhimmel

VON KARL-PETER JULIUS

WALTER KOPROLIN

Im Sommer präsentiert der Nachthimmel die schönsten Kugelsternhaufen – zumindest für die Sternfreunde, die von dunklen Standorten aus beobachten. In der Stadt wird die Beobachtungsfreude zumeist wegen der hohen Empfindlichkeit dieser Objektklasse gegenüber Streulicht getrübt. Die heutige Tour von M 3 in den Jagdhunden bis zu M 71 im Sternbild Pfeil zeigt jedoch, dass die visuelle Wahrnehmung von Kugelsternhaufen keineswegs so aussichtslos ist, wie häufig behauptet. Entscheidend für den Erfolg sind dabei nicht so sehr Helligkeit oder Größe des Objekts, sondern vielmehr die Struktur des Haufens und seine Position, insbesondere die Deklination.

M 3, M 5 und M 53

M 3, M 5 und M 53 zählen eigentlich zu den klassischen Frühlings-Objekten des Deep-Sky. Die drei Kugelsternhaufen in den Sternbildern Jagdhunde (Canes Venatici), Kopf der Schlange (Serpens Caput) und Haar der Berenike (Coma Berenices) lassen sich aber auch noch im Frühsommer am westlichen Firmament gut auffinden. Interessant ist zunächst der optische Vergleich von M 3 mit M 5. Die Daten über visuelle Helligkeit und Ausdehnung beider Haufen sind recht ähnlich, wobei M 5 im Vergleich zu M 3 etwas heller (5,7 gegenüber 6,3) und etwas größer erscheint (23' gegenüber 18'). Bereits ein Blick auf die Fotos bzw. Skizzen zeigt aber auch, dass M 5 einen sehr viel kompakteren und helleren Kernbereich aufweist als M 3. Und auch in den Beobachtungsberichten wird M 5 als das durchweg schönere Objekt beschrieben, da sich sein extrem helles Zentrum zwar nicht auflösen lässt, in den Randbereichen aber schon mit einem kleinen Refraktor (60mm- oder 80mm-Öffnung) ab 80-facher Vergrößerung »zahlreiche sehr schwache Einzelsterne« zu erkennen sind [1, 2]. Um dieses Ergebnis bei M 3 zu erreichen, sind Öffnungen ab 6" erforderlich [2]. Am Stadthimmel dagegen ist M 5 das weitaus schwierigere Objekt. So erscheint M 5 im 80mm-Refraktor bei 15-facher Vergröße-

rung kleiner als M 3, wobei sein heller Kern bei weitem nicht so weiträumig ausstrahlt wie der von M 3. Bei 50× steht der Doppelstern 5 Ser noch am äußeren südöstlichen Okularrand und kann so noch recht gut als Fokussierhilfe dienen: Wenn man den 5^m₂ hellen Stern scharfstellt, ist auch der Haufen optimal fokussiert. Trotzdem bleibt M 5 ein kleiner nebliger Fleck und auch höhere Vergrößerungen führen eher dazu, dass sich dieser Fleck noch verwaschener gibt. Keine vollständige Auflösung, wohl aber eine Andeutung einer Granulation stellt sich ein, wenn man M 5 mit einem 8"-Spiegelteleskop ins Visier nimmt. Bei 125× muss man allerdings recht geduldig beobachten und mit indirektem Sehen arbeiten, um immer wieder einmal einzelne Mitgliedersterne 12. Größenklasse im Randbereich aufblitzen zu sehen.

M 3 ist mit 6^m,3 visuell etwas lichtschwächer als M 5 und auch seine hellsten Einzelsterne erscheinen mit 12^m,7 nicht ganz so hell wie die von M 5. Der Kugelsternhaufen im Sternbild Jagdhunde steht aber mit einer Deklination von +28° sehr viel weiter nördlich als der im Kopf der Schlange liegende M 5. Daher wird auch die Wahrnehmung der Randbereiche von M 3 weniger durch die Horizontaufhellung gestört, ein Vorteil, der sich ganz entscheidend auf die Qualität der Beobachtung auswirkt. So kann man etwa

Abb. 1: M 13 ist sicher der bekannteste Kugelsternhaufen, der derzeit am Abendhimmel sichtbar ist. Doch es gibt noch andere vergleichbare Haufen, die auch für Großstadtbeobachter erreichbar sind. Das Bild gibt den Anblick im 10-Zöller unter lichtverschmutztem Himmel wieder.

mit einem 80mm-Refraktor bei indirektem Sehen und einer Vergrößerung von 75× feststellen, dass im äußersten Randbereich immer wieder Lichtpunkte auftauchen. Auch hier liefert der 8-Zöller im hohen Vergrößerungsbereich etwas bessere Ergebnisse. M 3 erscheint bei 250× zwar immer noch als ein recht großflächiger Nebel im Okular, weist dann aber – ebenfalls bei geduldigem Hinschauen – eine leichte und noch recht unbeständige und »flimmernde« Granulation auf. Insgesamt kann man somit M 3 als stadtgeeigneter ansehen als M 5.

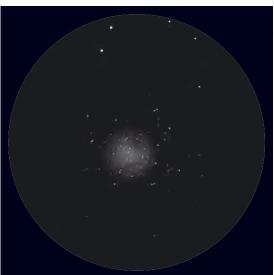
Der dritte Kugelsternhaufen, M 53, wird zwar mit einer Deklination von +18° nur noch gering von der Horizontaufhellung beeinträchtigt, ist aber mit 7,7 und 13' Durchmesser erheblich lichtschwächer und kleiner als seine beiden Nachbarn. So behält er im 80mm-Refraktor bei jeder Vergrößerung seinen Charakter als ein strukturloser Nebel, ohne dass sich Granulation auch nur im Ansatz zeigt. Immerhin steht M 53 in einem recht schönen Sternumfeld, das sich im klei-



nen Instrument mit geringer Vergrößerung noch im Okularfeld zeigt. Ein 8"-Spiegelteleskop liefert bei einer relativ mäßigen Vergrößerung von 83× allenfalls »Ausfransungen« am Rand des hellen Kerns, mehr Struktur lässt sich nicht wahrnehmen. Doch auch wenn die Beobachtung von M 53 eher enttäuschend ist, leistet er als Vergleichsobjekt zu M 3 und M 5 gute Dienste. Denn häufig lassen sich im Anschluss an die Beobachtung eines schwächeren Objekts bei leichter wahrnehmbaren Objekten mehr Details erkennen. Man sollte also immer wieder zwischen den benachbarten Kugelsternhaufen hin und her schwenken.

M 10 und M 12

Die nächsten Ziele, M 10 und M 12, befinden sich im Sternbild Schlangenträger und liegen mit einer Deklination von -4° und -1° noch ein paar Grad südlicher als M 5. Beide Haufen sind nahezu gleich hell (M 10: 6,6, M 12: 6^m,1), weisen allerdings unterschiedliche Strukturen auf. Während M 10 ähnlich dicht konzentriert wie M 5 ist, erscheint M 12 wesentlich lockerer und gilt damit allgemein als das leichter aufzulösende Objekt [1, 2]. Diese auf den Landhimmel bezogene Feststellung kann jedoch für Stadtbeobachtungen nicht bestätigt werden. Dies dürfte vor allem daran liegen, dass die hellsten Einzelsterne, die M 12 eine lockere und damit einfacher aufzulösende Struktur verschaffen, von der Horizontaufhellung des Stadthimmels nahezu komplett verschluckt werden. So bleibt M 12 im 80mm-Refraktor ein insgesamt schwacher und flüchtiger Nebel, der auch bei höheren Vergrößerungen keine beständige Granulation zu erkennen gibt. Einige hellere Sterne, die vor allem bei kleineren Vergrößerungen im Gesichtsfeld auftauchen, zählen nicht zum Haufen, sondern gehören lediglich zu den vielen Feldsternen in der Umgebung. Dagegen gibt sich M 10 mit der



gleichen Optik schneller zu erkennen, da sich sein hellerer Kernbereich etwas besser gegen den aufgehellten Stadthimmel durchsetzen kann. Im 120mm-Refraktor gelingt es sogar mit indirektem Sehen bei 100×, im weiteren Randbereich einzelne blitzartig auftretende Lichtpunkte wahrzunehmen, ein Erfolg, der sich bei M 12 nicht einstellt.

M 13

Nach diesen eher schwierigen Objekten des Sommerhimmels geht es nun in das Sternbild Herkules, wo sich bei einer Deklination von +36° der so genannte Herkuleshaufen M 13 präsentiert. Er gilt allgemein als »Synonym für den beeindruckendsten Kugelsternhaufen, den mitteleuropäische Beobachter bewundern können« [1], eine Beurteilung, der man sich auch und gerade als lichtgeplagter Sternfreund der Stadt nur anschließen kann. Ein Blick auf seine Daten zeigt zunächst, dass M 13 mit 20' Durchmesser vergleichbar ist mit M 10 (20') und M 3 (18'), dass er darüber hinaus mit 5\(^n8\) eine nahezu gleiche Gesamthelligkeit wie M 5 besitzt und mit 24000 Lichtjahren ähnlich weit entfernt liegt wie dieser. Was jedoch die Beobachtung angeht, so lässt sich der Herkuleshaufen mit den übrigen Kugelsternhaufen kaum vergleichen. Zwar verlangt die städtische Lichtverschmutzung auch bei M 13 ihren Tribut, so dass er sich weder für das bloße Auge noch für den Feldstecher eignet. Mit dem Teleskop kommt man jedoch dem Ziel, die Pracht eines vollständig aufgelösten Kugelsternhaufens genießen zu können, bei keinem anderen Objekt so nahe wie bei M 13.

Beobachter, die M 13 unter guten bis sehr guten Sichtbedingungen anvisieren, können eine komplette Auflösung bereits im 60mm- bzw. 80mm-Refraktor erreichen. Dort nimmt M 13 bei 80× »ein körniges oder granuliertes Aussehen« an und ab 140× werden »separat fassbare Sterne« erkennbar [1].

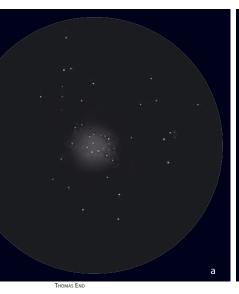
Abb. 2: Öffnung ist auch für Stadtbeobachter entscheidend bei der Wahrnehmung von Einzelsternen in Kugelsternhaufen. Beide Zeichnungen zeigen M 13, einmal mit 80mm Öffnung (40x), einmal mit 150mm Öffnung (100x).

Bei Verwendung größerer Öffnungen verbessert sich das Ergebnis weiter, bis hin zu einem auch im Zentrum durchgehend aufgelösten Sternfeld [1]. Sternfreunde in der Stadt sollten M 13 zunächst mit der kleinsten Vergrößerung beobachten. Dann bildet der als kleine Nebelscheibe erkennbare

Haufen gemeinsam mit zwei benachbarten Sternen 7. Größenklasse ein gleichschenkliges Dreieck. Bis 30× bleibt M 13 neblig und konturenlos, dann aber beginnt bis etwa 75× der ideale Vergrößerungsbereich, in dem je nach Dunkelheit des Himmels die größte Chance besteht, das plötzliche Aufblitzen einzelner Lichtpunkte zu entdecken. Höhere Vergrößerungen erscheinen dagegen nur im Zusammenhang mit größeren Öffnungen sinnvoll. So präsentiert der Herkuleshaufen im 5"-Refraktor bei einer Vergrößerung von 115× und mit indirektem Sehen bereits eine Anzahl von Einzelsternen im Halo und im zentralen Bereich. Im 8"-Spiegelteleskop schließlich entfaltet der Herkuleshaufen im Vergrößerungsbereich von 100× bis 166× das Wunschergebnis: ein Gesichtsfeld, das zu einem Drittel mit zahlreichen fixierbaren Sternen ausgefüllt ist.

M 92 und NGC 6229

Der Besuch bei M 13 zeigt, dass die Qualität der Beobachtung von Kugelsternhaufen am Stadthimmel neben der Öffnungsgröße vor allem von der Position des Objekts abhängt. M 92 und NGC 6229, die nächsten Ziele der Tour, stehen mit Deklinationen von +43° (M 92) und +47° (NGC 6229) dem Zenit noch ein Stück näher als M 13, sind aber mit visuellen Helligkeiten und Größen von 6,5 und 14' (M 92) bzw. 9^m,4 und 4.5' (NGC 6229) doch erheblich lichtschwächer und kleiner. M 92 ist mit 25000Lj ähnlich weit entfernt wie M 13, steht aber eindeutig im Schatten des attraktiveren Herkuleshaufens, da er ähnlich wie M 5 – ein stärker ausgeprägtes Zentrum besitzt, das in kleinen Teleskopen kaum auflösbar ist und mit mittleren und größeren Öffnungen nur im hohen Vergrößerungsbereich Einzelsterne zeigt [1]. Am Stadthimmel muss man im unteren Vergrößerungsbereich sehr genau hinsehen, um





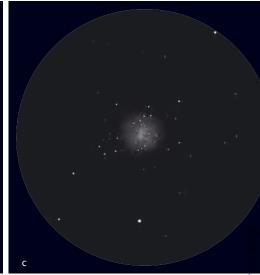


Abb. 3: Die auf den ersten Blick sich gleichenden Kugelsternhaufen zeigen schon in mittleren Teleskopen unterschiedlichen Charakter: M 10 (a), M 12 (b), M 92 (c), gezeichnet mit 150mm Öffnung bei 100×.

zu erkennen, dass M 92 ein nicht-stellares Objekt ist. Zum Glück befinden sich im Gesichtsfeld einige Sterne, die sich gut fokussieren lassen, so dass M 92 mit zunehmender Vergrößerung als unscharf bleibender Lichtpunkt immer eindeutiger seinen Charakter als Kugelsternhaufen verrät. Der Haufen bleibt aber sehr klein und vermittelt fast den Eindruck eines verknoteten Mehrfachsternsystems, das sich nicht trennen lässt. Im 8"-Spiegelteleskop muss man hoch vergrößern (250×) und geduldig zwischen direktem und indirektem Sehen wechseln, um die Andeutung einer Granulation auszumachen. Insgesamt muss M 92 für Stadtbeobachter trotz seiner Deklination als ein schwieriges Objekt eingestuft werden.

Dies gilt erst recht für NGC 6229, den einzigen Kugelsternhaufen der Tour, der nicht in der Messier-Liste aufgeführt ist. Der Haufen ist mit einer Deklination von +47° das zenitnächste Objekt. Er behält aber wegen seiner geringen Größe und Lichtschwäche durchweg, d.h. unabhängig von Teleskopöffnung und Vergrößerung, seinen Charakter als kleiner Nebelpunkt bzw. Nebelfleck. Gleichwohl lohnt sich ein Abstecher zu ihm, denn zum einen bildet NGC 6229, ähnlich wie M 13, mit zwei kleinen Sternchen ein Dreieck, das in einem relativ sternarmen Umfeld ein optisch durchaus reizvolles Bild bietet. Vor allem aber zählt NGC 6229 wegen seiner extrem großen Entfernung zu den außergewöhnlichen Zielen des Deep-Sky. Während die bisher besuchten Kugelsternhaufen Distanzen von 14000Lj bis 56000Lj aufweisen, ist das Licht, das NGC 6229 aussendet, rund 100000 Jahre unterwegs. Der kleine Nebelfleck gehört da-

| Kugelsternhaufen am Sommerhimmel | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------|--|-------|------------|-------------|
| Name | Sternbild | R. A. | Dekl. | Helligkeit (Einzelstern) | Größe | Entfernung | DSRA/Uran. |
| M 3 | CVn | 13 ^h 42,2 ^{min} | +28° 22,5' | 6, 3 (12, 7) | 18' | 32000Lj | 12/110(109) |
| M 53 | Com | 13 ^h 12,9 ^{min} | +18° 10,2' | 7 ^m ,7 (13 ^m ,8) | 13' | 56000Lj | 12/150 |
| M 5 | Ser | 15 ^h 18,6 ^{min} | +2° 5,0' | 5,,7 (12,,2) | 23' | 25000Lj | 21/244 |
| M 12 | 0ph | 16 ^h 47,2 ^{min} | –1° 56,9' | 6 ^m 1 (12 ^m 2) | 16' | 18000Lj | 21/246 |
| M 10 | 0ph | 16 ^h 57,1 ^{min} | -4° 6,0' | 6,6 (12,0) | 20' | 14000Lj | 21/247 |
| M 13 | Her | 16 ^h 41,7 ^{min} | +36° 27,6' | 5,,8 (11,,9) | 20' | 24000Lj | 13/114 |
| M 92 | Her | 17 ^h 17,1 ^{min} | +43° 8,2' | 6,5 (12,1) | 14' | 25000Lj | 13/81 |
| NGC 6229 | Her | 16 ^h 47,0 ^{min} | +47° 31,7' | 9,,4 (15,,5) | 4,5' | 100000Lj | 6 (13)/80 |
| M 56 | Lyr | 19 ^h 16,6 ^{min} | +30° 11,1' | 8,,4 (13,0) | 8,8' | 31000Lj | 14/118 |
| M 71 | Sge | 19 ^h 53,8 ^{min} | +18° 46,7' | 8,,4 (12,,1) | 7,2' | 13000Lj | 14/162 |

mit zu den am weitesten entfernten Objekte unserer Milchstraße, die sich mit einfachen Instrumenten beobachten lassen.

M 56 und M 71

Mit dem Besuch bei M 56 sind wir bereits im Sternbild Lyra und immer noch bei einer Deklination von +30°. Mit einer Helligkeit von 8,4 und einer Größe von 8,8 ist der 31000Lj entfernte Haufen ebenfalls recht lichtschwach und nur gering konzentriert. Im 80mm-Refraktor bleibt M 56 auch bei 75× ein äußerst blasses und schwaches Nebelfleckchen, das allerdings durch das reiche Sternumfeld aufgewertet wird, vor allem, wenn man ein Weitfeldokular verwendet. Seine sternreiche Umgebung ist Teil der Sommermilchstraße, durch die hindurch man M 56 quasi wie durch ein »Fenster« beobachten kann [3]. M 71 im kleinen Sternbild Pfeil ist das letzte Ziel der Tour und der für Stadtbeobachter mit Abstand schwierigste Kugelsternhaufen, obwohl dies ein erster Blick auf seine Daten über Helligkeit (8^m,4), Größe (7,2'), tatsächliche Entfernung (13000Lj) und Deklination (+18°) nicht vermuten lässt. M 71 ist jedoch ein Kugelsternhaufen mit außergewöhnlich lockerer Struktur, so dass er in der Vergangenheit häufig als Offener Sternhaufen klassifiziert wurde [4]. Da ihm die für Kugelsternhaufen signifikante zentrale Verdichtung fehlt, ist man bei der Beobachtung auf die Wahrnehmung der Mitgliedersterne angewiesen – und die sind überwiegend kaum heller als 14^m,0 [1]. Man muss daher schon ein Spiegelteleskop mit einer Öffnung von mindestens 200mm verwenden und zudem eine der wenigen dunklen Nächte erwischen, um einige Sterne dieses Messier-Objekts wahrnehmen zu können.

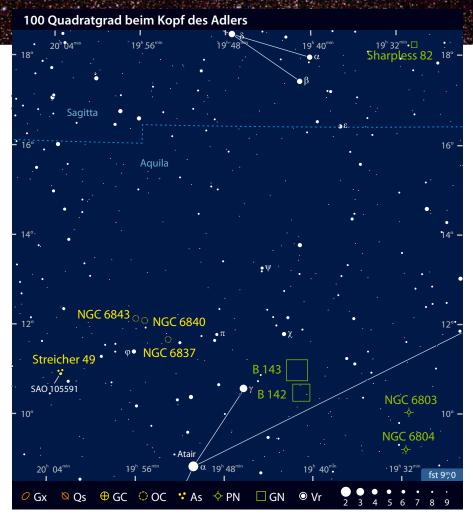
- [1] Stoyan, R.: Deep Sky Reiseführer, Oculum-Verlag, Erlangen, 4. Aufl. (2010)
- [2] Lang, H.: Faszinierende Kugelsternhaufen, interstellarum 46, 53 (2006)
- [3] Koch, B., Korth, S.: Die Messier-Objekte, Kosmos-Verlag, Stuttgart (2010)
- [4] Stoyan, R.: Atlas der Messier-Objekte, Glanzlichter des Deep Sky, Oculum-Verlag, Erlangen (2006)
- [5] Julius, K.-P.: Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter, interstellarum 68, 47 (2010)

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken.

100 Quadratgrad Himmel

Beim Kopf des Adlers

VON UWE PILZ



Dunkelnebel B 142/142

Der Himmelsspaziergang führt diesmal durch das Sternbild Adler und beginnt da-

bei in der Nähe des Sterns γ, dem obersten der drei Kopfsterne. Etwa ein halbes Grad westlich von diesem befindet sich einer der bekanntesten Dunkelnebel überhaupt: **Abb. 1: Dunkelnebel Barnard 142/143,** die Dreiteilige Dunkelhöhle, ist eine dunkle Staubwolke vor hellem Sternhintergrund.

In den kurzen Nächten im Juni erscheint das Sommerdreieck mit den Sternbildern Leier, Schwan und Adler wieder auf der Himmelsbühne und ist dann bis in den Spätherbst hinein zu sehen. Anfang Juni steht der Adler kurz vor Mitternacht erst etwa 30° über dem Horizont, klettert aber bis Ende Juli zur Kulmination auf etwa 50°.

die dreiteilige Höhle, auch »Barnards E« genannt. Zu seiner Beobachtung benötigt man einen wirklich dunklen Himmel, frei vom Streulicht der Städte und des Mondes. Dann aber ist der Nebel bereits mit dem freien Auge als »Loch« in der Milchstraße zu sehen. Ein kleiner Feldstecher zeigt eine Trennung in einen nördlichen und einen südlichen Teil und lässt beim indirekten Sehen weitere Einzelheiten erscheinen. Den schönsten Anblick bietet ein Fernglas mit großer Öffnung oder ein Kometensucher. In meinem kurzbrennweitigen 120mm-Refraktor zeigt sich der Nordteil B 143 C-förmig. Die innere Begrenzung

ist abrupt, die äußere verfließend. Östlich und nördlich des besonders opaken zentralen Teils sind weitere kontrastarme Filamente zu erkennen.

Der südliche Bereich B 142 ist leicht gebogen. Die Südgrenze ist scharf abgegrenzt. Im Osten offenbaren sich bei indirektem Sehen einige Nebelstrukturen, auch der westliche Rand lässt bei genauem Beobachten einen zarten Ausläufer erkennen.

Das Sternmuster Streicher 49

Der Kopfteil des Adlers birgt ein wenig bekanntes Sternmuster, den »Rasensprenger« Streicher 49. Diese Sterngruppe wurde von der südafrikanischen Astronomin Magda Streicher in ihre Sammlung der himmlischen Merkwürdigkeiten aufgenommen. Der zentrale Stern ist SAO 105591. Er steht als östlichster Stern in einer Dreiergruppe, die sich über ein halbes Grad erstreckt. Diese Gruppe ist zwar im Fernglas sichtbar, die Eigenheit der Konstellation um SAO 105591 herum aber nicht. Dies erfordert mindestens eine mittlere Vergrößerung, da das Sternmuster nur 5' misst. Die meisten Sterne sind hell genug für das kleinste Fernrohr. Nur der schwächste Stern des östlichen Bogens erfordert einen 8-Zöller. Seinen Namen erhielt die Sterngruppe durch die beiden konzentrisch zu SAO 105591 angeordneten Sternbögen, die wie Scharen von Wassertropfen aussehen.

Doppelsternhaufen NGC 6840/6843

Knapp 3° ostnordöstlich von γ Aquilae liegen die von W. Herschel 1784 bzw. J. Herschel 1829 entdeckten Sternhaufen NGC 6840 und 6843. Mittlerweile werden sie im NGC als »Gruppe« geführt [1], d.h. sie stellen keine physischen Sternhaufen dar, was durch neuere Studien belegt wird [2]. Obwohl dieser »Doppelsternhaufen« einiges vom Glanz seines großen Bruders h+x Persei vermissen lässt, so sind doch beide Anhäufungen vom Sternhintergrund zu unterscheiden. Ein Dreizöller ist zur Sichtung ausreichend: Die Sterne beider Anhäufungen liegen im Bereich der 11. bis 12. Größenklasse. Da die Sternansammlungen jeweils nur 6' einnehmen, ist eine mittlere Vergrößerung von ca. 150× ratsam.

NGC 6843 ist die nordöstliche Anhäufung. Sie besteht aus ca. 20 Sternen jenseits von 11^m. Sieben Sterne formen am Nordostrand der Konstellation eine auffällige, Ost-West-gerichtete Kette. NGC 6840 ist et-





♣ Abb. 2: Streicher 49. Den Namen »Rasensprenger« erhielt das Sternmuster von den konzentrisch zu SAO 105591 angeordneten Sternbögen, die wie Scharen von Wassertropfen aussehen.

▲ Abb.3: Die Sternanhäufungen NGC 6843 und 6840 heben sich kaum vom Sternumfeld ab.

Abb. 4: Offener Sternhaufen ► NGC 6837, 320/1440-Newton-Teleskop, 144x. *Uwe Pilz*

was stärker konzentriert, aber immer noch lose. Er hebt sich besser von den Hintergrundsternen ab als NGC 6843. Das Zentrum und der Südteil sind sternarm.



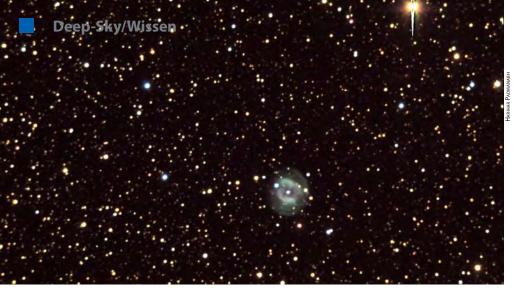


Abb. 5: Der Planetarische Nebel NGC 6804 erscheint im Teleskop leicht elongiert.

Der »nicht existierende« Offene Sternhaufen NGC 6837

NGC 6837 wird in den meisten NGC-Katalogen als nicht existierend geführt. Dies rührt vermutlich von einer Koordinatenungenauigkeit her: Etwa 3' südwestlich von William Herschels Position kann man eine schwache Sternanhäufung finden, die sich nicht besonders gut vom Hintergrund abhebt. Die hellsten Sterne haben etwa 12. Größenklasse, damit wäre das Objekt etwas für einen Vierzöller. Im Zwölfzöller

zeigte erst eine Vergrößerung von 144× den Haufen deutlich. Das Haufenzentrum ist sternenleer, so dass es sich möglicherweise um zwei benachbarte Haufen handelt. Der östliche Teil hat etwa 3' Durchmesser, der westliche misst 5'×3'.

Die Planetarischen Nebel NGC 6803 und 6804

Die beiden Planetarischen Nebel NGC 6803 und 6804 liegen fast übereinander, 1° voneinander entfernt. Der nördliche der beiden ist NGC 6803: 11^m,4 hell mit 5" Durchmesser. Die Identifikation gelingt mit genauen Aufsuchkarten oder der

[OIII]-Blink-Methode. Zu seiner Sichtung genügt ein Dreizöller. Um jedoch Einzelheiten zu sehen, muss man sehr stark vergrößern. Mein 12"-Newton zeigt bei 430× ein gerade eben flächiges Zentrum mit einer feinen Nebelhülle – die jedoch auch durch Reflexe innerhalb des Instruments bewirkt worden sein kann.

NGC 6804 ist eine Größenklasse schwächer, aber mit 40" viel größer. Bereits ein Vierzöller wird einige Einzelheiten offenbaren. Mein Zwölfzöller zeigt bei 430× einen in NNW-SSO-Richtung ausgerichteten ovalen Nebelhauch, in dessen Inneren ein unterbrochener Ring liegt. Von den beiden eingebetteten Sternen könnte einer der Zentralstern sein.

Heller Nebel Sharpless 2-82

Dieser Nebel ist eine Herausforderung für visuelle Beobachter. Er liegt schon im Sternbild Pfeil und ist auch unter der Bezeichnung »Little Cocoon« bekannt. In Lynds Katalog Heller Nebel erhielt er die Nummer 129. In der Literatur ist der Nebel als eine Kombination von Reflexions- und Emissionsnebel beschrieben. Der Nebel ist sehr leuchtschwach, so dass für eine Sichtung 10"–12" Öffnung nötig sind. Ein

Welche Erscheinungen kann man in der Dämmerung beobachten?



fter als die meisten anderen Menschen erleben Astronomen die Dämmerungszeit ganz bewusst. Meist wird die Ausrüstung bei Tageslicht aufgebaut, und dann beginnt das Warten auf die Dunkelheit. Gerade diese Zeit des Übergangs zwischen Tag und Nacht hält eine Reihe von Sehenswürdigkeiten bereit.

Die »Blaue Stunde« und das Purpurlicht

Kurz nach Sonnenuntergang sind am Westhorizont die Reste der Dämmerung zu sehen: Die gelben und roten Töne werden zunächst farbintensiver und verblassen danach allmählich. Im Gegensatz dazu ist der Himmel von einem besonders tiefen Blau. Dies ist verwunderlich, da der Himmel gar kein direktes Sonnenlicht mehr erhält. Die für das Tages-Himmelsblau verantwortliche Rayleigh-Streuung [1] kann hierfür nicht zuständig sein.

Die Himmelsfarbe der »Blauen Stunde« konnte erst in den 1950er Jahren erklärt werden. Es handelt sich um einen Effekt der Ozonschicht in 20 bis 30 Kilometern Höhe in der Stratosphäre. Allgemein bekannt ist die Fähigkeit des Ozons, ultraviolettes Licht zu absorbieren. Weniger bekannt ist, dass Ozon auch oranges Licht herausfiltert. Aus dem schwachen gestreuten Sonnenlicht der Dämmerung werden somit die gelblichen und orangen Anteile herausgefiltert. Übrig bleibt das blaue Leuchten. Schon bei tiefem Sonnenstand trägt dieser Effekt

Abb. 6: Sharpless 2-82, der aus einem Reflexions- und Emissionsanteil bestehende Nebel, ist eine Herausforderung für visuelle Beobachter.

extrem guter Himmel ist die zweite Voraussetzung.

Unter einem guten Alpenhimmel auf 1500m Höhe sah ich mit meinem 12"-Newton einen matten runden Hauch von etwa 5' Größe. Dazu war konzentriertes Beobachten und indirektes Sehen nötig. Ob es sich dabei um den Reflexionsnebel oder eine Summe von Reflexions- und Emissionsnebel handelte, war unklar. Um auch den Emissionsanteil zu erhaschen, wurden ein UHC-, [OIII]- und Hβ-Filter eingesetzt: Es konnte jedoch keine wesentliche Emission entdeckt werden, anscheinend ist weitgehend der Reflexionsnebel zu sehen. Eine deutlich größere Öffnung und ein wirklich dunkler Himmel sind die Schüssel dazu, mehr an Einzelheiten zu sehen.

- [1] Steinicke, W.: Historic NGC, www.klima-luft.de/ steinicke/ngcic/Historic_NGCIC.zip (2011)
- [2] Krone-Martins, A. et al.: Kinematic parameters and membership probabilities of open clusters in the Bordeaux PM2000 catalogue, Astron. Astrophys. 516, A3 (2010)



| Deep-Sky-Objekte in Aquila | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-------------------------------------|------------|------------|---------|----------------------------------|--------------|
| Name | Тур | R. A. | Dekl. | Helligkeit | Größe | Bemerkung | DSRA/Uran. |
| B 142 | GN | 19 ^h 41,0 ^{min} | +10° 31,0' | - | 40' | Dreiteilige Höhle (südl. Teil) | 22/207 |
| B 143 | GN | 19 ^h 41,4 ^{min} | +11° 1,0' | - | 40'×60' | Dreiteilige Höhle (nördl. Teil) | 22/207 |
| Streicher 49 | As | 20 ^h 2,8 ^{min} | +10° 56,3' | | 5' | Sternmuster | -/- |
| NGC 6840 | 00 | 19 ^h 55,3 ^{min} | +12° 7,3' | 10,00 | 7' | Sternmuster | -/- |
| NGC 6843 | 0C | 19 ^h 56,1 ^{min} | +12° 9,8' | 10,00 | 5' | Sternmuster | -/- |
| NGC 6837 | 0C | 19 ^h 53,1 ^{min} | +11° 41,9' | 12,0 | 5' | | -/- |
| NGC 6803 | PN | 19 ^h 31,3 ^{min} | +10° 3,4' | 11,74 | 0,09' | | -/207 |
| NGC 6804 | PN | 19 ^h 31,6 ^{min} | +9° 13,6' | 12,0 | 0,6' | | 22/207 |
| Sh2-82 | GN | 19 ^h 30 ^{min} | +18° 17' | | | sehr dunkler Himmel erforderlich | -/162 |

von Uwe Pilz

PRAXISWISSEN

erheblich zur Himmelsbläue bei, während er am hellen Tag vom »gewöhnlichen« Himmelsblau überdeckt wird. Durch diesen Effekt kann man die Ozonschicht direkt sehen! Die »Blaue Stunde« ist die Zeit des Ozons.

Einige Minuten nach Sonnenuntergang tritt am Westhimmel eine Purpurfärbung des Himmels ein. Diese Farbe wird durch kleine Staub- und Aerosolpartikel ausgelöst. Ihre Intensität ist von der Menge der streuenden Partikel abhängig. Es ist allgemein bekannt, dass nach starken Vulkanausbrüchen für eine Weile prächtige Dämmerungsfarben zu sehen sind. Eine gewisse Trübung ist aber stets vorhanden, so dass ein schwaches Purpurlicht häufig zu sehen ist. Durch den Wind nach Mitteleuropa geblasener Saharastaub, nahe Waldbrände und auch manche Typen von Stratosphärenwolken können es verstärken.

Das Purpurlicht lässt sich leicht fotografieren. Die Kamera sollte auf einem Stativ befestigt sein, niedrigen ISO-Werten ist der Vorzug zu geben. Die beste Belichtungszeit ist mit einigen Zehntelsekunden recht lang. Besser noch als Weitwinkelobjektive eignen sich Fischaugenobjektive oder -vorsätze.

Der Erdschatten und die Gegendämmerung

Es lohnt sich sehr, nach Sonnenuntergang einmal in Richtung Osten zu schauen. Wenn man eine freie Sicht auf den dortigen Horizont hat, so wird man den Erdschatten aufgehen sehen. Ideal sind etwas erhöhte Standpunkte, z.B. auf einem Hügel oder Berg.

Die Sonne beleuchtet den Himmel auch dann noch, wenn sie bereits unter dem Horizont steht. Dies gelingt ihr dann allerdings nicht mehr völlig, da ein Teil des Himmels von der Erde beschattet wird. Auf den ersten Blick sieht dies wie eine weit entfernte Wolkenfront auf. Dieser Schatten steigt umso mehr auf, je tiefer die Sonne unter den Horizont sinkt. Gleichzeitig wird der Himmel immer dunkler und schließlich verschmelzen Erdschatten und allgemeine Dämmerung. Am stärksten ist die Erscheinung etwa eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang.

Genau gegenüber der Sonne ist der Himmel deutlich heller als an anderen Stellen des Osthorizonts. Diese »Gegendämmerung« ist eine großflächige Erscheinung und bildet ein Oval von etwa 30° Breite und 20° Höhe. Wegen ihres erheblichen Ausmaßes ist sie wenig auffällig, aber dennoch leicht zu beobachten, wenn man weiß, wonach man schauen muss.

Die Gegendämmerung wird durch die Rückwärtsstreuung des Sonnenlichtes bewirkt und ist dem Gegenschein des Nachthimmels äquivalent: Der Gegenschein genau in Sehrichtung ist gestreutes Licht des interplanetaren Staubs, während die Gegendämmerung von Staub und Aerosolen der Atmosphäre herrührt. Auch die Gegendämmerung kann man fotografieren. Wieder ist ein Stativ nötig und Weitwinkeloptiken sind von Vorteil. Die Belichtungszeiten liegen bei ISO 100 im Sekundenbereich.

Alle beschriebenen Erscheinungen treten auch am Morgenhimmel auf, in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge und auf der jeweils gegenüberliegenden Seite.

[1] Pilz, U.: Wie entstehen Morgen- und Abendrot?, interstellarum 72, 46 (2010)

DIE CCD-KAMERA MI G2-8300

Astro-High-Tech aus Tschechien im Test

VON JÜRGEN STEIN

Mit der G2-8300FR liefert die bislang unbekannte tschechische Firma Moravian Instruments (MI) eine gekühlte Astro-Kamera mit dem populären KAF-8300 CCD-Chip von Kodak. Gemäß technischer Spezifikation handelt es sich um ein sehr hochwertiges Produkt – ob die Kamera allerdings auch in der Praxis hält, was sie verspricht, soll der nachfolgende Test zeigen.





Abb. 1: CCD made in Moravia: Der neue Hersteller Moravian Instruments kommt aus dem Osten der tschechischen Republik. Beim hier getesteten Modell MI G2-8300 ist die ca. 1kg schwere Kamera in einem schwarz eloxierten Gehäuse untergebracht. An der Rückseite befindet sich ein 50mm großer Lüfter, oben ein Fotogewindeanschluss.

Kameras für viele Anwendungen

Die Firma Moravian Instruments (MI) aus Mähren (engl. Moravia) in Tschechien, bietet eine überraschend breite Palette unterschiedlicher CCD-Kameras an, die sich in mehrere Produktlinien gliedert. Während die G1-Serie ungekühlte Kameras umfasst, stehen hinter den Kürzeln G2 und G3 gekühlte Astrokameras mit mittelgroßen und großen CCD-Sensoren, wie dem KAF-6303-, dem KAI-11002- oder dem KAF-3200ME-Chip, die alle von Kodak stammen. Die Bauweise innerhalb einer Serie ist weitgehend identisch, ein optionales Filterrad kann in die jeweiligen Kameras integriert werden.

Gegenstand dieses Tests ist die G2-8300FR. Hinter der Bezeichnung »8300« verbirgt sich der populäre monochromatische

KAF-8300M der Firma Kodak, »FR« steht für das in die Kamera integrierte Filterrad. Die G2-8300 ist auch ohne internes Filterrad oder als Farbkamera mit dem KAF-8300C-Sensor lieferbar. Den Vertrieb der MI-Kameras übernimmt in Deutschland die Firma Teleskop-Service.

Das Herzstück der Kamera: ein KAF-8300M

Der KAF-8300M-Chip ist ein so genannter Full-Frame-Sensor, bei dem theoretisch die gesamte Chipfläche zur Bildgewinnung genutzt wird. Im Gegensatz zu anderen Chipdesigns wird der gesamte Sensor nach Beendigung der Belichtung pixelweise ausgelesen. Ein mechanischer Verschluss verhindert, dass während des Auslesevorgangs

Licht auf den Chip fällt. Abweichend von vielen anderen Full-Frame-Sensoren verfügt der KAF-8300 über ein sog. Anti-Blooming-Gate, das überschüssige Ladungsträger abführt und damit das »Überlaufen« (Blooming) von Elektronen in die Nachbarpixel verhindert. Das Anti-Blooming-Gate verkleinert die wirksame Chipfläche und damit die Quanteneffizienz des Chips. Mikrolinsen sorgen wiederum für eine Vergrößerung der wirksamen Pixelfläche. Aufgrund des Konstruktionsprinzips liegt die Quanteneffizienz des KAF-8300M zwar deutlich unter der eines Full-Frame-Sensors ohne Anti-Blooming-Gate, übertrifft aber vor allem im roten Spektralbereich viele anders konstruierte Sensoren.

Die KAF8300-Chipfamilie wird auch in normalen Digitalkameras eingesetzt und

ist daher im Vergleich zu anderen Sensoren sehr preiswert. Andererseits wird an diesen Chips der leidige Trend in der Digitalfotografie zu immer kleineren Pixeln deutlich: Ganze 5,4µm misst jedes der 8,3 Millionen Pixel des Kodak-Sensors – zusammen genommen ergibt sich daraus eine Chipfläche von 18mm × 13,5mm. Kleine Pixel verbessern zwar das theoretische Auflösungsvermögen eines Sensors, dieses kann aber in der Astrofotografie mit längeren Brennweiten aufgrund des begrenzenden Seeings praktisch nicht genutzt werden. Der KAF-8300 arbeitet unter mitteleuropäischen Seeingverhältnissen ab einer Brennweite von ca. 600mm auflösungsbegrenzt. Bei deutlich längeren Brennweiten bringen die feinen Pixel keine zusätzliche Auflösung. Die Speicherfähigkeit eines Pixels für die vom einfallenden Licht freigesetzten Elektronen, die sog. Full-Well-Kapazität, ist umgekehrt proportional zur Pixelfläche. Größere Pixel sind daher bei längeren Brennweiten zu bevorzugen. Das viel beschworene Binning, also das Zusammenfassen einzelner Pixel zu größeren Einheiten, löst das Problem zu kleiner Pixel nur bedingt.

Lieferumfang

Die Kamera wird in einem kompakten, gepolsterten Alukoffer inkl. Kompaktnetzteil, USB-Kabel, Treiber-CD und englischsprachigem Handbuch geliefert. Abb. 1 zeigt das Gehäuse, das mit einer Kantenlänge von 114mm × 114mm × 77mm recht kompakt ist. An der Unterseite der



Abb. 2: Das Filterrad einschließlich Motor und Encoder ist in der Gehäuseabdeckung untergebracht und über zwei Kabelstränge mit der Hauptplatine der Kamera verbunden. Der zweiflügelige Rotationsverschluss deckt den CCD-Sensor ab, der in einer von der Elektronik getrennten Kammer untergebracht ist.

Kamera befinden sich der 12V-Stromanschluss sowie der USB 2.0-Anschluss. Das USB-Kabel wird beim Einstecken mechanisch geklemmt, ein versehentliches Abfallen während der Benutzung der Kamera ist damit weitgehend ausgeschlossen. An der Frontseite der Kamera ist der Teleskopadapter mittels vier Schrauben angebracht. Der Hersteller kann verschiedene Adapter liefern, u.a. auch Anschlüsse für Canonund Nikon-Objektive. Die Verarbeitung der Kamera wirkt hochwertig, allerdings ist die

Eloxierung der Kamera etwas anfällig und zeigt nach einiger Zeit Gebrauchsspuren. Außerdem ist das Schutzgitter des Lüfters recht grobmaschig, so dass man versehentlich mit dem Finger hineingreifen kann.

Das Auflagemaß der Kamera beträgt inklusive integriertem Filterrad 29mm, weitere 7,5mm kommen bei Verwendung des Standard-T2-Anschlussadapters oder des optionalen M48-Adapters hinzu. Damit ist die Verwendung auch an Teleskopen und Objektiven mit kleinem Backfokus möglich.

| Kennzahl | Angabe It. Hersteller | Messung | | |
|--|--|--|--|--|
| Chipgröße (aktiver Bereich) | 3326×2504 Pixel, Kantenlänge 5,4µm. 17,96mm × 13,52mm, Diagonale 22,5mm | nicht überprüft | | |
| Quanteneffizienz | 52% (ΟΙΙΙ), 47% (Hα), 44% (SII) | nicht überprüft | | |
| Full-Well-Capacity 1×1 / 2×2 Binning | >25500e ⁻ / nicht angegeben | 25500e ⁻ / 51300e ⁻ | | |
| A/D Gainfaktor 1×1 / 2×2 Binning | 0,4e ⁻ /ADU / 0,8e ⁻ /ADU | 0,39e ⁻ /ADU / 0,79e ⁻ /ADU | | |
| Ausleserauschen, LN 1×1 / 2×2 Binning | ca. 8e ⁻ rms / nicht angegeben | 8,4e-rms /10,5e-rms | | |
| Dynamikumfang 1×1 / 2×2 Binning | nicht angegeben | 1:3030 (69,6dB) / 1:4880 (73,7dB) | | |
| Dunkelstrom | 0,1–0,2e ⁻ bei 0°C, Halbierung alle 5,8°C | 0,005e [–] bei –25°C, Halbierung ca. alle 7°C | | |
| Anteil Hotpixel | nicht angegeben | 0,02% (~16000 Pixel) bei –20°C und 20min Belichtungszeit | | |
| Maximale Kühlung gegenüber Jmgebungstemperatur | >45°C, geregelt | 45°C, geregelt | | |
| (Quasi-)periodisches Ausleserauschen | nicht angegeben | ~5% vom gesamten Ausleserauschen | | |
| Linearität | 10% | \pm 0,5% zwischen 1000 und 60000ADU, \pm 0,5% / \pm 3,5% bis 65000ADU | | |
| Auslesezeiten | 14,4s (1×1, LN), 12,2s (1×1, Std.) | \sim 16s (1 \times 1 LN), \sim 7s (2 \times 2 LN), Std.: jeweils 2 $-$ 3s schneller, Teilbilder 3 \times 3 Binning: ca. 2,5s | | |
| /ignettierung durch internes Filterrad mit 31mm Filtern (Helligkeitsabfall am Bildfeldrand) | nicht angegeben | ~5% bei Blende 2,8, ~25% bei Blende 1,8 | | |

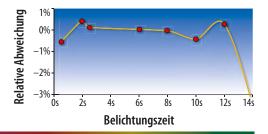


Abb. 3: Linearität der Kamera. Dargestellt ist die Abweichung von der linearen Beziehung zwischen Signal und Belichtungszeit.

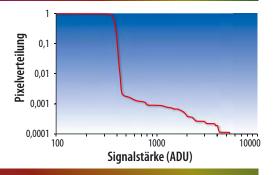


Abb. 4: Gemessener Anteil von Pixeln oberhalb einer bestimmten Signalstärke in doppellogarithmischer Darstellung. Die Werte wurden aus Dunkelbildern abgeleitet, die bei –25°C 20min belichtet wurden. Die für eine Gaußfunktion zu erwartende Verteilungsfunktion ist angedeutet.

Um an das integrierte Filterrad zu gelangen, müssen 6 Kreuzschlitzschrauben an der Kamera-Rückseite entfernt und die vordere Gehäuseabdeckung vorsichtig abgenommen werden. Abb. 2 zeigt das Innere der Kamera. Das Filterrad besitzt fünf Positionen für ungefasste 31mm-Einlegefilter, die den Sensor bei kleinen Öffnungsverhältnissen weniger vignettieren als 1¼"-Filter, die sich alternativ ebenfalls in das Filterrad einschrauben lassen. 31mm-Filter sind zwar etwas teurer als 1¼"-Filter aber erheblich günstiger als größere Filter. Um die Filter einzusetzen, baut man am besten den Filterträger durch Lösen der zentra-

len Schraube aus und setzt die Einzelfilter nacheinander ein. Die dafür nötigen Befestigungsschrauben und Kunststoff-Unterlegscheiben werden mitgeliefert. Beim Zuschrauben der Kamera muss man darauf achten, die Verbindungskabel nicht einzuklemmen. Insgesamt ist das wiederholte Austauschen einzelner Filter wenig praktikabel. Der Wechsel des kompletten Filterträgers ist dagegen in weniger als zehn Minuten zu erledigen.

Die MI Kamera wird mit einem erfreulich vollständigen Softwarepaket geliefert. Für die verbreiteten Programme Maxim-DL (Version 4 und 5) und Astroart (ab Version 4) werden Treiber mitgeliefert, die nur in die entsprechenden Programmverzeichnisse kopiert werden müssen. Nach Inbetriebnahme der Kamera wird dann der USB-Kameratreiber automatisch installiert. Danach kann die Kamera inkl. Filterrad sowohl unter Windows XP als auch unter Windows Vista problemlos über MaximDL angesprochen werden. Wer nicht über diese empfehlenswerten Kamerasteuerprogramme verfügt, kann das mitgelieferte Programm SIMS (»Simple Image Manipulation System«) verwenden. Es beinhaltet eine vollständige Kamerasteuerung inkl. Nachführfunktionen und einfachen Bildbearbeitungsmethoden. Weitergehende Funktionen wie Dithering sind nicht implementiert. Auch ist nur die Ansteuerung von MI-Kameras möglich. Im Rahmen der Tests lief das Programm ohne Probleme, für die meisten Aufnahmen wurde allerdings MaximDL verwendet.

Die Kameraelektronik im Test

Ein zentrales Ziel dieses Kameratests war die kritische Überprüfung der vom Hersteller angegebenen Kenndaten der Kamera auf Basis der in [1] beschriebenen Analyseverfahren. Dazu wurden insgesamt ca. 200 Testaufnahmen bei unterschiedlichen Binningwerten (1×1- und 2×2-Binning) gemacht:

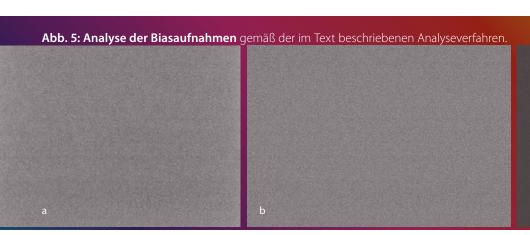
- Biasaufnahmen bei verschiedenen Temperaturen
- Unterschiedlich lange belichtete Dunkelaufnahmen bei unterschiedlichen Temperaturen
- Hellbilder einer möglichst konstanten Lichtquelle mit unterschiedlichen Belichtungszeiten

Die für die Analyse benötigten Mittelwerte und Standardabweichungen (bzw. Varianzen) wurden mit MaximDL in einem 200×200 Pixel großen zentralen Bereich der jeweiligen Bilder gemessen, um statistische Auswahl- und Randeffekte auf ein Minimum zu reduzieren. Die Genauigkeit der im Folgenden beschriebenen Messverfahren hängt vor allem von der zeitlichen Konstanz der Lichtquelle für die Hellbilder ab. Eine Luminanzfolie scheint hierfür recht gut geeignet zu sein, da die Amplitudenschwankungen nach einigen Minuten Betriebszeit unter 0,5% bleiben.

Die Kenngrößen der Kamera

Im Folgenden werden die durchgeführten Messungen und die Ergebnisse näher beschrieben. Tabelle 1 fasst die wesentlichen Eigenschaften der Kamera zusammen und vergleicht die vom Kamera- bzw. Chiphersteller angegebenen Werte mit den eigenen Messwerten.

Der Gain-Faktor gibt an, wie viele Elektronen im A/D-Wandler der Kamera in eine elektronische Zähleinheit (ADU) umgewandelt werden. Um den Gainfaktor zu bestimmen, trägt man für unterschiedlich belichtete Hellbilder die mittlere Amplitude über die Varianz auf – Amplituden und Varianzen werden dabei zuvor um den jeweiligen Anteil einer Biasaufnahme reduziert. Die Messpunkte sollten aufgrund der Poisson-Verteilung der Pixelwerte auf einer Geraden liegen, deren Steigung der Gain-Faktor ist. Im Rahmen der Messgenauigkeit von weniger als 1% konnte die erwartete lineare Beziehung



und der vom Hersteller angegebene Wert für den Gain-Faktor für die G2-8300 bestätigt werden.

Von zentraler Bedeutung für eine CCD-Kamera ist die Größe des Ausleserauschens (auf die Charakteristik dieses Rauschanteils wird weiter unten eingegangen). Teilt man die aus einem Differenzbild aus zwei Biasaufnahmen ermittelte Standardabweichung durch $\sqrt{2}$ erhält man das Ausleserauschen. Durch Auswertung mehrere Biasaufnahmen kann die Genauigkeit des Messergebnisses verbessert und eine evtl. vorhandene Temperaturabhängigkeit des Ausleserauschens bestimmt werden. Das gemessene Ausleserauschen der G2-8300 ist erfreulich niedrig und liegt nahe an dem vom Hersteller angegebenen Wert. Abhängig von der eingestellten Temperatur und der damit verbundenen Kühlleistung variiert dieser Rauschbeitrag um etwa 5%.

Die Full-Well-Kapazität ist das mittlere Speichervermögen eines Kamerapixels in Einheiten von Elektronen. Sie ergibt sich direkt aus dem Dynamikumfang der Kamera in ADU multipliziert mit dem Gain-Faktor. Der Dynamikumfang ergibt sich aus dem Sättigungswert des Kameraverstärkers abzüglich Offset. Bei der G2-8300 wird der Dynamikumfang des 16 Bit-A/D-Wandlers fast vollständig ausgenutzt, damit kann die Kamera den von Kodak für den Sensor angegebenen FCW messtechnisch vollständig ausschöpfen.

Liegen Full-Well-Kapazität und Ausleserauschen vor, kann daraus der Dynamikumfang der Kamera als Quotient dieser Werte bestimmt werden. Durch die Konstruktion des Ausleseregisters und die Verwendung auflösungsabhängiger Gain-Faktoren kann die G2-8300 beim 2×2-Binning etwa die doppelte Full-Well-Kapazität nutzen, allerdings nimmt das Ausleserauschen bei Binning etwas zu. Der Dynamikumfang der Kamera ist somit bei 2×2-Binning etwa 1,6 Mal höher als ohne Binning. Das stellt einen akzeptablen Kompromiss dar: Theoretisch möglich wäre

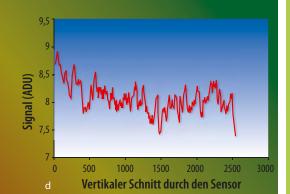
Abb. 6: Beispielaufnahme von M 57. Das abgebildete Himmelsareal ist etwa $33' \times 25'$ groß (leichte Beschneidung an den Rändern aufgrund der verwen-Dithering-Technik). deten Bei einem Seeing von etwa 3" wird die hohe Auflösung des Sensors von 0,62"/Pixel nicht annähernd ausgenutzt. Bearbeitung: Bildreduktion (nur Bias-Korrektur), Anhebung Kontrastumfang, leichte Schärfung, keine Glättung des Hintergrundes. Die vergrößerten Insets zeigen: (a) Den Kontrast verstärkten weitgehend störungsfreien Himmelshintergrund. (b) Eine vergrößere Darstellung von M 57. 8"-Cassegrain VC200L bei 1800mm, 9×300s (L, ungebinnt), 6×300s (je RGB, 2×2 -Binning).



ein Faktor 4, viele Kameras zeigen jedoch überhaupt keine Verbesserung des Dynamikumfangs im gebinnten Betrieb (Faktor 1).

Dunkelstrom entsteht durch zufällige Erzeugung von Ladungsträgern im Halbleiter unabhängig vom Lichteinfall und steigt exponentiell mit der Temperatur an. Der Dunkelstrom und seine Abhängigkeit von Temperatur und Belichtungszeit werden ermittelt, in dem die mittlere Pixelamplitude von Bias-korrigierten Dunkelbildern gemessen und durch die Belichtungszeit geteilt wird. Der Dunkelstrom der G2-8300-Kamera ist bei Sensortemperaturen unter -10°C so niedrig, dass seine messtechnische Erfassung selbst bei Belichtungszeiten von einer Stunde schwierig ist (vgl. Kasten Rauschen). Aus diesem Grund konnte auch die Temperatur-Schrittweite, bei der sich der Dunkelstrom jeweils halbiert, nur näherungsweise bestimmt werden.

Eine CCD-Kamera sollte die einfallenden Photonen streng proportional zu ihrer Anzahl in Ladungsträger umwandeln. Wird eine konstante Lichtquelle unterschiedlich lange belichtet, sollten die über die Belichtungszeit aufgetragenen Amplitudenwerte auf einer Geraden liegen. Die in der Praxis auftretenden Abweichungen von dieser linearen Beziehung können die Verwendbarkeit einer CCD-Kamera für fotometrische Zwecke einschränken. Die Testkamera zeigt eine vorbildliche Linearität - Abb. 3 zeigt die Abweichung von dieser linearen Beziehung. Auch unter Berücksichtigung des großen Messfehlers von ca. 25% - 50% - bedingt durch Schwankungen der verwendeten Signalquelle - sind die Effekte sehr klein.



Rauschen

Die Rauschanteile einer CCD-Kamera addieren sich quadratisch zum Gesamtrauschen. Bei der G2-8300 beträgt das Ausleserauschen 8,4e⁻rms, entsprechend einem Signalbeitrag von 71e⁻. Wird 10min belichtet, liefert der Dunkelstrom zusätzlich 1,5e⁻ zum Rauschsignal. Am aufgehellten Standort des Autors (ca. 19^m/□ⁿ – 19^m,5/□ⁿ) übersteigt der Signalbeitrag des Himmelshintergrund diese Werte bei weitem: Er beträgt in zehn Minuten etwa 200e⁻ (Hα-Aufnahme) bzw. 3000e⁻ (Luminanzaufnahme). Erst an einem sehr dunklen Standort dominiert bei Schmalbandaufnahmen mit dieser Belichtungszeit das Ausleserauschen den Rauschbeitrag des Himmelshintergrundes.







Abb. 7: Beispielaufnahme von NGC 7000. Das abgebildete Himmelsfeld ist etwa 2°×1,5° groß. Die Aufnahme demonstriert die hohe, im Rahmen des Tests nicht quantifizierbare Hα-Empfindlichkeit des KAF-8300. Bearbeitung: Nur Reduktion mittels Bias-, Dunkel- und Hellbildern sowie Kontrastanhebung. Stellenweise sind noch Hot- und Coolpixel zu sehen. Pentax 75SDHF-Refraktor bei 500mm, Astronomik Hα-Filter, 4×1200s.

Abb. 8: Beispielaufnahme von M 31. An das Bildfeld einer DSLR kommt der KAF-8300-Chip nicht heran, dennoch lassen sich ausgedehnte Himmelsobjekte wie M 31 bei kleinen Brennweiten vollständig abbilden. Die Aufnahme wurde bei sehr starkem Wind angefertigt – die Nachführung, die an einem zweiten Teleskop erfolgte, funktionierte dabei nur bedingt. Pentax 75 SDHF, 24x5min (L), 8x5min (je RGB).

Abb. 9: Beispielaufnahme von NGC 7331 und Stephans Quintett passen Dank des großen Chips gemeinsam auf ein Bild. 250mm-Newton bei 1200mm, 2×2-Binning, 52×120s + 15×300s (L), 9×240s + 7×300s (je RGB).

Detailanalysen

Analyse der Dunkelbilder

In Dunkelbildern werden Elektronen in den Pixeln eines CCD-Chips nur durch Dunkelstrom und Auslesevorgang erzeugt. Idealerweise sollte die Verteilung der Messsignale vieler Pixel daher einer Gaußkurve folgen. Trägt man die kumulierte Häufigkeit von Pixelwerten über die Signalstärke auf, sollte diese Kurve der Verteilungsfunktion der Normalfunktion entsprechen. Die gemessene Verteilung der Pixel ist im Gegensatz zu der Verteilungsfunktion einer Gaußverteilung bei größeren Signalwerten erhöht (Abb. 4). Hinter diesem Verhalten verbergen sich Hotpixel, die einen signifikant höheren Dunkelstrom aufweisen als die restlichen Pixel. Bei -25°C und 20min Belichtungszeit liegt der Anteil der Hotpixel bei etwa 0,2% aller Pixel, bei 10min Belichtungszeit fällt ihr Anteil auf etwa 0,13%.

Die Verteilung der sichtbaren Hotpixel fällt langsam zu hohen Signalstärken ab. Bei exemplarisch betrachteten Hotpixeln steigt die Amplitude etwa linear mit der Belichtungszeit an. Dieses Verhalten ist analog bei »normalen« Pixeln. Der insgesamt sehr geringe Anteil an Hotpixeln ist damit im Rahmen der Dunkelbild-Reduktion gut beherrschbar.

Analyse der Biasaufnahmen

Abb. 5a zeigt eine typische Biasaufnahme der Q2-8300-Kamera. Das deutlich sichtbare Muster (auch als »Fixed Pattern Noise« bezeichnet) erscheint zunächst problematisch zu sein. Da es jedoch hochgradig reproduzierbar ist, kann es im Rahmen der Bias-Korrektur bei der Bildreduzierung vollständig eliminiert werden: Abb. 5b zeigt dies anhand der Bias-Korrektur der Biasaufnahme.

Kritischer als dieses »Fixed Pattern Noise« sind (quasi-)periodische Rauscheffekte im Biasframe, die nicht durch Biaskalibrierung entfernt werden können. Sie werden z.B. durch unsaubere Signalverarbeitung und Störungen in der Kameraelektronik hervorgerufen. Die Amplitudenverteilung in Abb. 5b scheint zwar sehr gleichförmig, ob Abweichungen vom erwarteten idealen gaußschen Rauschen vorhanden sind, können aber nur weitergehende Analysetechniken zeigen:

• Zweidimensionale Fouriertransformation des Bildes: Reines gaußsches Rauschen sollte hierbei eine gleichförmige Verteilung der Amplitudenwerte zeigen. Abb. 5c zeigt die Fourieranalyse für eine typische Biasaufnahme der G2-8300. Artefakte sind nur in Form eines schwachen zentralen Streifens sichtbar, ein Hinweis auf sehr schwache (quasi-)periodische Schwankungen. Werden vertikale Streifen durch den Zentralbereich des kalibrierten Biasbildes gelegt und jeweils über 200 Pixel in einer Reihe gemittelt, können die schwachen Schwankungen auch direkt sichtbar gemacht werden. Abb. 5d zeigt exemplarisch den so ermittelten vertikalen Verlauf der gemittelten Pixelamplituden. Die Amplituden der (quasi-)periodischen Schwankungen liegen bei nur etwa 5% des Ausleserauschens.

Die Messergebnisse im Überblick

Grundsätzlich setzt die Kamera die physikalischen Vorgaben des KAF-Sensors sehr gut um und hält die vom Hersteller angegebene Spezifikation im Rahmen der Messgenauigkeit ein. Die weitergehende Analyse zeigt, dass die Bildergebnisse nur minimal durch die Kameraelektronik beeinflusst werden. Trotz Anti-Blooming-Gate erscheint die G2-8300 aufgrund der hohen Linearität auch für empfindliche fotometrische Messungen geeignet. Die Kamera ist sowohl bezogen auf das Ausleserauschen als auch auf den Dunkelstrom extrem rauscharm. Dunkelbilder sind nur erforderlich, um Hotpixel zu entfernen. Es geht aber auch einfacher: Verschiebt man beim sog. Dithering den Leitstern zwischen den Aufnahmen einer Belichtungsserie und summiert die einzelnen Bilder



Abb. 10: Die Emissionsnebel IC 417, NGC 1893 und IC 405 zusammen mit dem offenen Sternhaufen M 38 im Sternbild Fuhrmann. Der direkte Anschluss eines Kleinbild-Objektivs ergibt ein etwa $5.6^{\circ} \times 7.6^{\circ}$ großes Feld. Kombiniert mit der hohen Hα-Empfindlichkeit des Sensors ermöglicht dies die Abbildung weiträumiger Strukturen in der Milchstraße. Die Kalibrierung der Bilder erfolgte nur mit Bias-Frames. 135mm-Objektiv bei f/4, 20×300s.

geeignet, verschwinden auch die wenigen Hotpixel vollständig. Somit kann ganz auf Dunkelbilder für die Bildreduktion verzichtet werden.

Die Kamera am Teleskop

Nachdem die Kamera mit dem Teleskop verbunden ist, müssen nur Netzteil und USB-Kabel angeschlossen werden, weitere Kabel sind nicht erforderlich. Sobald die Kamera in Betrieb genommen wird, läuft der Lüfter deutlich vernehmbar, aber nicht laut. Nach erfolgreicher Verbindung mit dem PC ertönt ein dreifaches Piep-Signal aus der Kamera. LEDs an der Unterseite der Kamera signalisieren die Aufnahmebereitschaft. MI hat sich bei der Kühlung der Kamera für einen Chip schonenden Ansatz entschieden: Die Abkühlung der Kamera erfolgt über den PC nach einem voreinstellbaren Wert in °C pro Minute. Bei 4°C pro Minute benötigt die Kamera etwa 15 Minuten, um sich um 45°C abzukühlen und auf dem finalen Temperaturwert zu stabilisieren. Der Aufwärmvorgang nach Beendigung der Beobachtung dauert ähnlich lange. Die Abkühldauer mag lang erscheinen, dafür sind bei diesem schonenden Verfahren keine strukturellen Defekte in dem recht großen CCD-Halbleiter zu befürchten. Mit dem mitgelieferten Programm SIMS lassen sich die verschiedenen physikalischen Parameter (Kamera-/Chiptemperatur, Kühlleistung) grafisch über die Zeit darstellen und beobachten.

Auch bei einer Luftfeuchtigkeit von mehr als 90% und maximaler Leistung der 2-stufigen, geregelten Peltierkühlung konnten weder Taubeschlag noch Eisbildung

auf dem Chip oder dem Kamerafenster beobachtet werden. MI betreibt einigen Aufwand, um diese kritischen Effekte zu verhindern: So wird z.B. die CCD-Kammer mit Trockenmittel entfeuchtet, das in einer auswechselbaren Patrone untergebracht ist. Die beiden Scheiben des Kammerfensters aus optischem Glas sind durch eine dünne isolierende Luftschicht voneinander getrennt.

Die Auslesedauer einzelner Aufnahmen ist von der verwendeten Hardware und dem Ausleseverfahren abhängig (vgl. Tab. 1). Die Zeiten, die sich aus der Abtastdauer des CCD und der Datenübertragungszeit zusammensetzen, erscheinen recht lang - sie sind auch dem möglichst rauschfreien Auslesen des Chips geschuldet. Insbesondere die Auslesedauer für kleine Bildbereiche ist etwas gewöhnungsbedürftig. Dafür arbeitet der Rotationsverschluss der Kamera sehr homogen: Unregelmäßige Beleuchtungseffekte traten auch bei kurzen Belichtungszeiten unter 1s nicht auf. Somit können auch mit einer relativ hellen Lichtquelle kurz belichtete Hellbilder problemlos erstellt werden.

Der relativ große CCD-Sensors liegt zudem genau senkrecht zur optischen Achse. Sternfeldaufnahmen zeigen gleiche Sterndurchmesser über das gesamte Gesichtsfeld.

Rechnerisch sollten die 31mm-Filter im Filterrad erst bei schnelleren Öffnungsverhältnissen als etwa f/3,3 den Rand des Sensors abschatten. Dies konnte anhand von Hellbilder und Himmelsaufnahmen durch Fotoobjektive bestätigt werden.

Im Rahmen der Tests wurden auch einige Objekte am Nachthimmel mit unterschiedlichen Instrumenten aufgenommen. Die in Abb. 6 bis Abb. 10 gezeigten Aufnahmen entstanden unter mäßigen Bedingungen kurz vor bzw. während des Vollmondes.

Fazit

Mit der G2-8300 ist der Firma MI ein guter Einstand in den Bereich der CCD-Astrokameras gelungen. Design und Verarbeitung der Kamera können genauso überzeugen wie die sehr guten Leistungsdaten. Die Kameraelektronik nutzt die vorgegebenen Rahmenbedingungen des Kodak-Sensors opti-

| Bezeichnung | Preis |
|--|-------------------------------|
| MI G2-8300FR | 2575€ |
| MI G2-8300 (baugleich aber ohne Filterrad) | 2349€ |
| MI G2-8300C (baugleich mit Farbsensor, ohne Filterrad) | 2238€ |
| Astronomik LRGB-Satz 31mm | 279€ |
| Austausch-Filterträger für Filterrad | 189€ |
| Astronomik Schmalbandfilter 31mm (Hα, SII, [OIII]) | je 139€ |
| Adapter für Fotoobjektive | 129€ (Canon EOS), 139€ (Nikon |

mal aus. In der Praxis funktioniert das sehr rauscharme Instrument tadellos. Die einzige wesentliche Einschränkung besteht im geringen Dynamikumfang des kleinpixeligen Chips – ein Problem, mit dem alle KAF-8300-Kameras leben müssen.

Zum positiven Gesamteindruck trägt auch das mitgelieferte Softwarepaket wesentlich bei, das Aufnahmen auch ohne teure Steuersoftware ermöglicht. Clou der Kamera ist das integrierte Filterrad, das sowohl 31mm als auch übliche 1¼"-Filter aufnehmen kann. Aufgrund der kompakten Bauweise können problemlos Kleinbild-Fotoobjektive angeschlossen werden. Kehrseite dieses Designs ist die Beschränkung auf nur fünf Filterpositionen. Wem das ausreicht oder wer sich mit dem sporadischen Wechsel der Filter oder besser des gesamten Filterträgers anfreunden kann, findet in der MI Q2-8300FR eine rundum gelungene Kamera - prädestiniert für »Pretty Pictures«, aber aufgrund der sehr guten Leistungsdaten auch geeignet für ernsthaftere amateurastronomische Anwendungen.

Mit der G2-8300C bietet MI auch eine preisgünstige One-Shot-Kamera mit den gegenüber der Monochrom-Kamera bekannten Vor- und Nachteilen an. Insbesondere die hohe Empfindlichkeit der G2-8300FR im roten Spektralbereich ist aber ein starkes Argument für die monochrome Kamera.

Aufgrund der geringen Verbreitung der MI-Kameras fehlen derzeit Anwenderforen und andere Supportstrukturen. Dies wird sich in Zukunft hoffentlich ändern. Fragen des Autors wurden sowohl vom deutschen Vertriebspartner als auch von der Firma MI selbst stets schnell und kompetent beantwortet.

[1] Berry, M., J. Burnell, J.: The Handbook of Astronomical Image Processing, 2. Auflage, William Bell Inc. (2005)

Surftipps

Moravian Instruments: www.gxccd.com Homepage des Autors: www.ccdastrophoto.com

FOTOGRAFIE MIT VERGRÖSSERUNG

Projektionen bei der Astrofotografie

VON PETER M. ODEN



Um in die Astrofotografie einzusteigen, gibt es (leider) keinen Königsweg. Für unterschiedliche Zielsetzungen gibt es auch unterschiedliche Herangehensweisen. Die Fotografie von großflächigen Nebelstrukturen hat ganz andere Erfordernisse als die hochvergrößernde Fotografie von Planeten. Es können jedoch in Bezug auf die verwendeten Linsensysteme am Teleskop und an der Kamera drei unterschiedliche Möglichkeiten der Astrofotografie definiert werden, die im Folgenden genauer vorgestellt werden. Alle drei Möglichkeiten haben Vor- und Nachteile und damit auch Einsatzgebiete, in denen sie vorteilhaft eingesetzt werden können.

Abb. 1: Mehr Vergrößerung: Auch Astrofotografen benötigen Okulare, wenn sie einen größeren Bildmaßstab erreichen wollen, als ihn die Fokalfotografie hergibt.

Fokalprojektion

Die Fokalprojektion ist genau das, was man bereits von seinem Fotoapparat kennt. Es gibt ein Linsen- oder Spiegelsystem, mit dem ein Abbild des zu fotografierenden Objektes auf den Chip der Kamera projiziert wird. Zur Fokalprojektion in der Astrofotografie wird die Kamera direkt am Teleskop angebracht. Hierbei kommen weder ein Okular noch ein Kamera-Objektiv zum Einsatz. Die Frontlinse des Teleskops oder auch der Hauptspiegel erzeugen dabei ein direktes Abbild auf dem Chip der Kamera. Dabei spielt es auch keine Rolle, ob bei Spiegelteleskopen noch ein Koma-Korrektor zum Einsatz kommt oder bei Refraktoren ein Field-Flattener (Feldebnungslinse). Beide optimieren nur

den Strahlengang, der im Kern aber nicht wesentlich verändert wird.

Ob der Fotoapparat mit einem eigenen Objektiv betrieben wird oder am Teleskop angeschlossen ist, macht ebenfalls keinen prinzipiellen Unterschied. Im zweiten Fall fungiert das Teleskop dann als großes Teleobjektiv mit bereits bekannter fester Brennweite. Insgesamt kommt also ein einziges Linsensystem zum Einsatz. Dies ist der Vorteil dieses Verfahrens, weil es nur wenige optische Flächen gibt, die die Qualität der Abbildung reduzieren könnten.

Nachteilig dagegen ist die feste Brennweite, so dass die Konfiguration nicht an unterschiedliche Aufnahmesituationen angepasst werden kann. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren nur eingeschränkt z.B. für die Planetenfotografie geeignet, weil sich auch bei Teleskopen mit großen Brennweiten immer noch ein relativ großer Öffnungswinkel ergibt.

So hat etwa eine Spiegelreflex-Kamera mit Halbformat-Chip an einem 5"-Refraktor mit einem Öffnungsverhältnis von f/8, also mit einer Brennweite von 1000mm einen Öffnungswinkel von 1¼ Grad in der Horizontalen. Dies ist gut für fast formatfüllende Aufnahmen des Mondes geeignet, Jupiter dagegen mit einer Größe von etwa 50" zur Opposition belegt dann auf dem Chip lediglich 42 Pixel × 42 Pixel. Bei einer WebCam Philips SPC-900N sind es sogar nur 32 Pixel × 32 Pixel. Die Berechnungen wurden mit dem »Foto-Tool« durchgeführt, das in interstellarum 72 ausführlich vorgestellt wurde. Im Fall der Fokalprojek-



Abb. 2: Zur Fokalprojektion wird eine DSLR ohne Zwischenoptik direkt am Okularauszug befestigt.

tion kann man sich nur mit dem Einsatz von zusätzlichen Barlowlinsen zur Erhöhung der Brennweite etwas behelfen.

Afokale Projektion

Die afokale Projektion ist direkt vergleichbar mit einem Beobachter, der durch ein Teleskop schaut. Das Objektiv und das Okular eines Teleskops erzeugen ein vergrößertes Abbild des beobachteten Objektes, das dann von der Linse des Auges auf die Netzhaut projiziert wird. Statt des Auges wird nun eine Kamera hinter dem Teleskop angebracht, deren Objektiv ein Abbild auf dem Chip erzeugt.

In dieser Konfiguration kommen insgesamt drei Linsensysteme zum Einsatz, was für die Qualität der erzeugten Bilder abträglich sein kann. Andererseits ist dies die einfachste Möglichkeit der Astrofotografie für Nutzer von einfacheren Digitalkameras ohne Wechselobjektive.

Von verschiedenen Anbietern werden unterschiedliche Adapter angeboten, die es erlauben, eine Kamera so am Teleskop zu befestigen, dass das Objektiv der Kamera mittig im Strahlengang des Teleskops sitzt, um unnötige Vignettierung zu vermeiden. Außerdem sind die optischen Achsen von Teleskop und Kamera dann genau aufeinander ausgerichtet.

Da alle Digitalkameras ohne Wechselobjektive für die Aufnahme über einen Live-View-Modus verfügen, kann man die Fokussierung und Justierung sehr einfach vornehmen. Meistens ist es erforderlich, das Zoomobjektiv ein wenig in Richtung Tele-Einstellung zu bewegen, wenn man feststellt, dass die Bildecken sonst abgeschattet sind. Mit einfachen Mitteln und wenig finanziellem Einsatz (für den Adapter) kommt man so schnell zu durchaus ansehnlichen Ergebnissen.

Nimmt man die Vergrößerung eines Teleskops, die gegeben ist durch den Quotienten aus Brennweite des Objektivs geteilt durch die Brennweite des Okulars ($V = f_{Objektiv}/f_{Okular}$), so hat man den Faktor, um den sich die Brennweite des Fotoapparats erhöht. Selbst mit langbrennweitigen Okularen kommt man so schnell auf hohe Gesamtbrennweiten.

Okular-Projektion

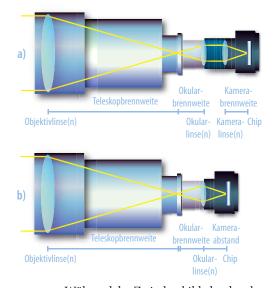
Die Okular-Projektion liegt zwischen den beiden eben besprochenen Variationen, weil hier zwei Linsensysteme zum Einsatz kommen. Wie bei der Fokalprojektion wird vom Objektiv des Teleskops ein Bild erzeugt. Dieses wird aber nicht auf den Chip der Kamera projiziert, sondern weit davor. Anschließend wird dieses Zwischenbild vom zweiten Linsensystem, dem Okular des Teleskops, vergrößert auf den Chip projiziert.

Wichtig ist der zusätzliche Abstand zwischen dem Brennpunkt des Objektivs und dem des Okulars (Abb. 4). Ohne diesen zusätzlichen Abstand verlassen die Strahlen hinter der Okularlinse das Teleskop wieder in paralleler Anordnung. Mittels der Verschiebung erreicht man dann aber die gewünschte scharfe Abbildung auf dem Chip der Kamera. Dieser Abstand schlägt sich im »–1« in der Formel für die Okularprojektion nieder:

$$f_{\text{eff}} = f_{\text{Objektiv}} \cdot \left(\frac{d_{\text{Kamera}}}{f_{\text{Okular}}} - 1 \right)$$

Abb. 3: Mittels einer »Digi-Klemme«, die am Okular fixiert wird, lässt sich eine digitale Kompaktkamera zur afokalen Projektion stabil vor dem Okular eines Teleskops befestigen.





Während das Zwischenbild, das der oben beschriebenen Fokalprojektion entspricht, in seinen Ausmaßen durch die Brennweite des Teleskops (f_{Objektiv}) festgelegt ist, hat man für die Projektion des Zwischenbildes auf den Chip eine große Variabilität. Je kürzer die Brennweite des genutzten Okulars (f_{Okular}) einerseits ist, desto größer ist das erzeugte Abbild. Und wie bei einem Dia-

Abb. 4: Vergleich der verschiedenen Projektionstechniken

a) afokale Projektion. Das Teleskop erzeugt ein vergrößertes Abbild des Zielobjektes und dieses bereits vergrößerte Bild wird dann mit der Kamera fotografiert.

b) Okularprojektion. Hier verlassen die Strahlen das Okular nicht mehr parallel, sondern durch den zusätzlichen Abstand bereits wieder konvergierend. So lässt sich auf dem Chip einer Kamera ein scharfes Abbild erzeugen.

projektor oder Beamer ist das projizierte Bild andererseits umso größer, je weiter die »Leinwand« – also der Chip – entfernt ist (d_{Kamera}) .

Um diese Variabilität auch auszunutzen, müssen also zwei unterschiedliche Punkte möglich sein:

- Es müssen unterschiedliche Okulare mit verschiedenen Brennweiten nutzbar sein.
- Der Abstand vom Okular bis zum Chip sollte variabel sein.

Mechanisch ist also mindestens eine Vorrichtung (=Okularprojektionsadapter) erforderlich, die auf einer Seite am Teleskop und auf der anderen Seite an der Kamera befestigt werden kann. Außerdem muss sie die Möglichkeit bieten, in ihrem Inneren ein Okular zu befestigen.

Die meisten Okularprojektionsadapter verfügen teleskopseitig über eine 11/4"-oder 2"-Hülse, die in den Okularhalter eingesetzt wird. Kameraseitig enden die Adapter üblicherweise in einem T2-Anschluss

Veränderung des Kamera-Abstands

Auch wenn nur ein einfacher Adapter verwendet wird, der über keine eigenen Verstellmöglichkeiten verfügt, hat man kameraseitig die Möglichkeit, über T2-Zwischenringe den Projektionsabstand in weiten Bereichen zu verändern. Solche Zwischenringe gibt es in den unterschiedlichsten Größen von 10mm bis 50mm. Da diese Ringe verschraubt werden, lassen sich im Einzelfall durch Kombination mehrerer Ringe auch durchaus größere Verlängerungen herstellen und verwenden.

Warum ist eine Störlichtblende so wichtig?

strofotos können schon durch den kleinsten Fehler verdorben werden, der sich mit einem Handgriff, etwas Sorgfalt oder eben einem kleinen, aber effektiven Zubehörteil hätte verhindern lassen. Bei dem Aufwand, der für manche Astrofotos zu treiben ist, sollte man es an Kleinigkeiten nicht scheitern lassen. Eine solche Kleinigkeit ist die Störlichtblende. Andere Namen dafür sind »Streulichtblende«, »Gegenlichtblende« und »Sonnenblende« Die letzten beiden Begriffe gefallen mir nicht sonderlich, weil sie leicht die falsche Vermutung aufkommen lassen, dass man in vielen Fällen keine Störlichtblende benötigen würde, etwa wenn kein Gegenlicht auftritt und keine Sonne zu sehen ist. Deshalb die wichtigste Aussage schon an dieser Stelle: Die Verwendung einer Störlichtblende ist in jeder Situation wärmstens zu empfehlen! Auch und insbesondere bei der Astrofotografie.

Die Rede ist von einer mehr oder weniger zylindrischen Konstruktion aus Kunststoff, seltener aus Metall, die es als Aufsatz für jedes Objektiv gibt. Sie enthält keinerlei optische Elemente und wird in das Filtergewinde der Objektive eingeschraubt oder – heute eher üblich – auf ein spezielles Bajonett aufgesetzt. Einige Objektive sind mit einer eingebauten Störlichtblende ausgestattet, die man manch-





Abb. 1: Aufnahme ohne Störlichtblende unter städtischen Bedingungen: Das Licht von Straßenlaternen führte zu hellen Reflexen und Flecken im Bild (links). Vollständig ausgeschaltet werden konnten die Reflexe unter identischen Aufnahmebedingungen mit einer Störlichtblende (rechts).

mal ausziehen und für den Transport wieder platzsparend zurückschieben kann. Bei vielen anderen ist die obligatorische Störlichtblende leider nicht im Lieferumfang enthalten, so dass man eine nachkaufen muss. Wichtig beim Nachkauf ist, dass es eine zu dem Objektiv passende Störlichtblende ist. Sie muss auf den Bildwinkel des Objektivs abgestimmt sein, sonst kann sie entweder ihren Zweck nicht vollständig erfüllen oder – was noch schlimmer ist – sie ist zu »eng« und produziert dunkle Bildecken. Die sicherste und meistens auch die teuerste Lösung ist das originale Zubehörteil des Objektivherstellers. Wer vor den zum Teil recht hohen Preisen für ein paar Gramm Kunststoff zurückschreckt und Alternativen sucht, wird in vielen Fällen bei Fremdanbietern fündig. Dann ist zu testen, ob die Störlichtblende zu Vignettierungen führt. Stellen Sie dazu die Entfernung auf »Unendlich«, blenden Sie so stark wie

möglich ab (Blendenwerte 16, 22 bzw. 32) und fotografieren sie eine möglichst gleichmäßig ausgeleuchtete Fläche, notfalls auch den Himmel. Kontrollieren Sie alle vier Bildecken, ob sie von der Störlichtblende abgeschattet werden.

Als Vorteile beim Gebrauch einer Störlichtblende lassen sich aufzählen:

Vermeidung von Reflexen: Störlichtblenden halten seitlich einfallendes Licht fern, das ansonsten die Frontlinse erreichen würde, obwohl es von Regionen außerhalb des aufgenommenen Motivbereichs stammt. Solches Licht, das nicht für die Entstehung des Fotos benötigt wird, ist zumindest potenziell Störlicht. In nicht wenigen Fällen führt es zur Bildung von unerwünschten Bildreflexen. Es kann an den Linsenrändern oder an den inneren Wänden der Objektivfassung reflektiert werden und so seinen Weg zum Sensor finden. Zwar sorgen moderne, hochwertige Vergütungen

Genutzte Okulare

Die Erfahrung hat gezeigt, dass für die Okularprojektion häufig Super Plössls die beste Wahl sind. Sie haben verglichen mit einfachen Plössls eine deutlich bessere optische Qualität. Gleichzeitig sind sie für die Okularprojektion aber auch modernen Ultra-Weitwinkel-Okularen mit ihren vielen Glasflächen überlegen. Hinzu kommt, dass diese UWA-Okulare ganz exakt für eine visuelle Nutzung mit parallel austretenden Strahlen gerechnet sind und nicht für eine Projektion mit konvergierenden Strahlen. Aus eigener praktischer und sehr guter Erfahrung nutzt der Autor am liebsten ein 12mm-Super-Plössl.

Für ein solches Okular soll nun noch eine kleine Beispielrechnung folgen. Verbaut man dieses Okular in dem kleinsten Adapter auf dem Foto, so hat die Austrittslinse des Okulars 30mm Abstand bis zum T2-Gewinde. Dieses wiederum hat standardmäßig an der Kamera 55mm Abstand bis zum Chip. Wird das Ganze an einem Teleskop mit 1000mm Brennweite



eingesetzt, so ergibt sich eine resultierende Brennweite von

 $f_{\rm eff}=1000{\rm mm}\cdot ((30{\rm mm}+55{\rm mm})/12{\rm mm}-1)$ also rund 6000mm Brennweite. Mit solch einer Brennweite wird Jupiter auf dem Chip einer Philips SPC-900N-Web-Cam bereits mit über 190 Pixeln Durchmesser abgebildet. Bei einem Durchmesser von Jupiter von maximal knapp 50" am Himmel kann man bei exzellentem Seeing (0,5") und einem entsprechend hochwertigen Teleskop mit dieser Konfiguration wirklich an den Grenzen von Shannons Abtasttheorem arbeiten und feinste Details aus Jupiter oder auch Saturn »herauskitzeln"

Abb. 5: Drei verschiedene marktgängige Okularprojektionsadapter. Alle drei bieten die Möglichkeit, ein Okular in ihrem Inneren zu befestigen. Durch den T2-Anschluss können sie dann mit jeder Kamera verbunden werden. Während die beiden ersten Adapter schlanke Okulare erfordern, können im dritten selbst klobige Exemplare eingesetzt werden.

Surftipp

Download Fototool: www. interstellarum.de/download/oft.zip

von Stefan Seip

TECHNIKWISSEN

der Linsen und matter Schwarzlack innerhalb des Objektivs für eine sehr effektive Reduktion dieses Störlichts, gänzlich ausschalten können sie es jedoch nicht. Gerade Astroaufnahmen sind dafür besonders anfällig, weil selbst schwache Lichtquellen, wie beispielsweise die LED eines Netzteils, während einer langen Belichtungszeit ein Störlicht darstellen können. Ganz zu schweigen von Straßenlampen oder den Scheinwerfern eines vorbeifahrenden Autos. Meist finden sich dann auf dem späteren Bild vom Störlicht verursachte Artefakte, die sogar als kosmische Erscheinung fehlinterpretiert werden können (First Light, interstellarum 64). Fast noch häufiger tritt der Fall auf, dass sich ein Reflex als riesiger Schleier über das ganze Bild legt und den Kontrast mindert und/oder die Farbbalance beeinträchtigt. Das ist besonders tückisch, weil sich diese Art von Reflexbildung als allgemeine Minderung der Bildqualität manifestiert, deren Ursache meist unerkannt bleibt oder deren Vorhandensein nur im Vergleich mit einer Aufnahme ohne Mangel auffallen würde. Im schlimmsten Fall

entstehen so große und helle Reflexe im Bild, dass es dadurch unbrauchbar wird (Abb. 1).

Verzögerung von Taubeschlag: Wie beim Fernrohr auch fungiert eine Störlichtblende als Taukappe, d.h. sie kann den Beschlag der Frontlinse durch Tau in Nächten mit hoher Luftfeuchte verzögern, wenn auch nicht dauerhaft verhindern. Besonders effektiv ist eine mit Samt ausgekleidete Störlichtblende, denn sie kann ein wenig der Feuchtigkeit binden. Um den Taubeschlag nachhaltig zu unterbinden, muss die Störlichtblende allerdings mit einer Heizmanschette leicht erwärmt werden.

Schutz der Frontlinse: Eine aufgesetzte Störlichtblende stellt einen wirksamen Schutz der Frontlinse vor mechanischer Beschädigung dar. Bei vielen Objektiven ist die Frontlinse ziemlich exponiert und kann leicht mit einer Gegengewichtsstange oder ähnlichem kollidieren, wenn in der Dunkelheit damit hantiert wird. Für viele Objektive bedeutet ein Frontlinsenschaden den wirtschaftlichen Totalverlust. Ein ständig eingeschraubtes Filter als Schutz der Frontlinse hingegen ist nicht zu empfehlen,

zumal die Reflexneigung durch ein solches drastisch zunimmt!

Nur in zwei Situationen jenseits der Astrofotografie darf die Störlichtblende – ausnahmsweise – entfernt werden: Wenn man sich einer Scheibe oder einem Gitter möglichst weit nähern muss und wenn man im Nah-/Makrobereich mit dem eingebauten Blitz arbeitet, weil dann die Störlichtblende einen Schatten erzeugt. Die Empfehlungen für den Astrofotografen lauten demnach, zu jedem Objektiv eine passende Störlichtblende zu erwerben und diese immer – richtig herum aufgesetzt – zu benutzen.

Abb. 2: Es gibt verschiedene Typen von Störlichtblenden.

a) Eine sehr kurze und damit ineffiziente Störlichtblende für ein 18mm – 55mm-Zoomobjektiv, die sogar als Zubehör separat erworben werden musste.

b) Aufsetzbare Störlichtblende in »Tulpenform« für ein leichtes Weitwinkelobjektiv. Sie ist besonders effektiv, da sie speziell auf die Brennweite abgestimmt ist, und gehört zum Lieferumfang des Objektivs.

c) Fest eingebaute Störlichtblende eines extremen Weitwinkelobjektivs. Der große Bildwinkel lässt nicht viel Raum für eine Störlichtblende: Nur rudimentäre Fragmente bleiben, sonst würde Vignettierung auftreten.

d) Lange und sehr wirksame Störlichtblende eines Teleobjektivs mit 135mm Brennweite.



ISS und Mond erhalten Besuch

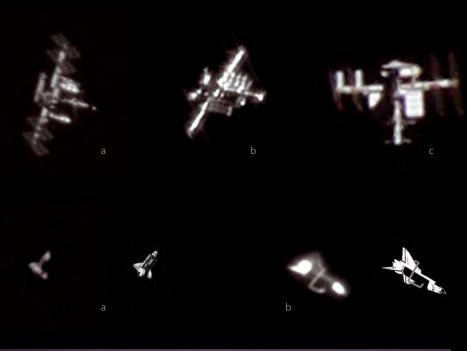


Abb.1: Die internationale Raumstation ist mittlerweile fast vollständig fertig gestellt. Fotos von ISS und Shuttle mit Amateurteleskopen zeigen erstaunlich viele Details. a) CCD-Aufnahme, 18.4.2010, 5:56:51 MESZ, Newton bei 1000mm, DMK 41AU02.AS. *Christoph Rollwagen* b) CCD-Aufnahme, 7.3.2011, 12"-SCT bei 2700mm, DMK 21, 1/900s, Orangefilter, über Sucherfernrohr von Hand nachgeführt. *Oliver Stiehler* c) mit angedocktem Shuttle Discovery: Digitalfoto, 2.3.2011, 19:48 MEZ,8"-Newton bei 1500mm, Canon EOS 40D, ISO 800, 1/1250s. *Oliver Aders*

Abb. 2: Space Shuttle Discovery mit geöffneter Ladebucht. Bei den Shuttle-Aufnahmen ist jeweils rechts daneben die vermutete Orientierung abgebildet.
a) CCD-Aufnahme, 18.4.2010 während STS-131, Newton bei 1000mm, DMK 41AU02.AS. Christoph Rollwagen
b) CCD-Aufnahme, 7.3.2011, 12"-SCT bei 2700mm, DMK 21, 1/900s, Orangefilter, über Sucherfernrohr von Hand nachgeführt. Oliver Stiehler

Abb. 3: Anfang März besuchten sowohl Venus als auch Jupiter den Mond:

a) Mond bei Venus am Morgen des 1.3.2011. Digitalfoto 200mm-Teleobjektiv bei f/6,3, Canon EOS 450D, ISO 400 40s, Nachführung mit AstroTrac. *Stefan Simon*

b) Digitalfoto, 1.3.2011, 3"-Refraktor bei 500mm, Canon EOS 5D Mark II, ISO 100, 1/2s, starker Dunst behinderte die Aufnahme. *Rainer Sparenbera*

c) Mondsichel mit Jupiter am 6.3.2011 um 18:56 MEZ Digitalfoto, 90mm-Teleobjektiv bei f/7,1, Canon EOS 60D ISO 400, 1/2s. *Marco Ludwig*





First Light

Bildfelddrehung macht das Stacken schwer

VON STEFAN SEIP

ass der ganze Himmel scheinbar aufgrund der Erdrotation ständig in Bewegung ist, weiß jeder Astrofotograf. Dreh- und Angelpunkt ist der Himmelspol. Um lichtschwächere Objekte zu fotografieren, fällt die Belichtungszeit so lang aus, dass man seine Kamera-Fernrohr-Kombination während der Belichtung der Himmelsdrehung präzise nachzuführen hat, damit die Sterne punkt- und nicht strichförmig abgebildet werden. Die Digitalfotografie stellt insofern eine Hilfe dar, weil sie nicht eine einzige, ultralange Belichtung erfordert, sondern mehrere, kürzer belichtete Einzelaufnahmen später im Rahmen der Bildbearbeitung gemittelt (»gestackt«) werden können. Dadurch werden die Anforderungen an die Nachführtechnik entschärft. Dennoch kommt eine »parallaktische« Montierung zum Einsatz, bei der die angetriebene Achse exakt auf den Himmelspol zeigt. Den Prozess, um die Achse auch wirklich genau auf den Himmelspol auszurichten, bezeichnet man als »Einnordung«.

Ist die Einnordung nicht genau genug, funktioniert die Nachführung nicht richtig: Die Sterne werden trotz Nachführung zu kurzen Strichen. Doch selbst, wenn man das durch eine Nachführkontrolle zu vermeiden sucht, fällt auf, dass immer wieder Feinkorrekturen der Deklinationsachse erfolgen müssen, was bei korrekt aufgestellter Montierung nicht nötig wäre. Versucht man unter diesen Bedingungen, das Beste herauszuholen, können zwar hinreichend scharfe Einzelaufnahmen entstehen, wenn sich die Belichtungszeit in Grenzen hält, diese sind jedoch gegeneinander verdreht. Am deutlichsten wird die Bildfelddrehung, wenn man das erste mit dem letzten Foto einer Serie vergleicht.

Beispiele für diesen Fall hat uns Lars-C. Depka zugesandt (Abb. 1). Es handelt sich um zwei testweise angefertigte Belichtungen des Orion-Nebels. Herr Depka benutzt Adobe Photoshop und hat versucht, die beiden Aufnahmen zu stacken, also das arithmetische

Mittel zu bilden, was in der Astrofotografie ein gängiges Verfahren zur Rauschreduktion darstellt. Dazu hat er eine Bilddatei erstellt, in der die beiden Aufnahmen in Ebenen übereinanderliegen. Um die Passgenauigkeit sicherzustellen, wird der »Überblendmodus« der oberen Ebene temporär von »Normal«

auf »Differenz« gestellt. Nun leuchten nur die Bildbereiche auf, in denen die beiden Ebenen sich unterscheiden. Im Idealfall müsste das Ergebnis ein fast komplett dunkles Bild sein. Doch Herr Depka erlebte eine Überraschung: Im Zentrum zeigt sich eine Region, die dunkel ist, in der die Differenz also gering ist. Nach außen hin jedoch werden die Abweichungen immer größer, was an den Sternen gut zu erkennen ist (Abb. 2). Eine bloße Verschiebung des Bildes mit dem »Verschieben-Werkzeug« (Tastenschlüssel V) reicht in diesem Fall nicht aus, um eine Deckungsgleichheit zu erzielen.

Die Aufgabe besteht nun darin, die obere Ebene so zu drehen, bis sie mit der unteren zur Deckung kommt. Dazu wird in Photoshop das Bildfenster maximal groß gemacht, um keinen Anzeigebereich auf dem Bildschirm zu verschwenden. Nun wird das Bild so groß dargestellt, dass es nicht nur komplett zu sehen ist, sondern auch noch ein wenig Raum um das Bild herum. Bei aktivem Verschieben-Werkzeug taucht in der Bildmitte eine Art »Fadenkreuz« auf. Das ist der Drehpunkt, der nun mit der Maus an die Stelle des Bildes verschoben wird, in der bereits Deckungsgleichheit herrscht. Anschließend fährt man mit der Maus knapp außerhalb einer der Bildecken, bis der Mauszeiger die Form eines gebogenen, schwarzen Doppelpfeils annimmt (Abb. 3). Jetzt wird die primäre Maustaste dauerhaft gedrückt, um die Bilddrehung mit der Maus vorzunehmen. Gegebenenfalls sind mit den »Cursortasten« zwischendurch auch leichte Verschiebungen nötig, eventuell sogar eine Neuplatzierung des Drehpunkts. Mit diesem Verfahren ge-



Abb. 1: Eine der beiden Originaltestaufnahmen.

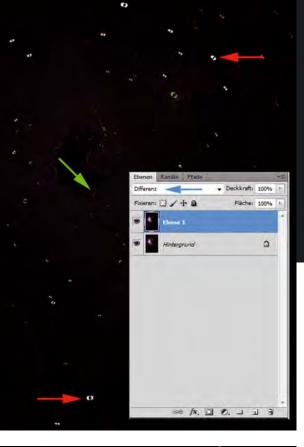
lingt es, die Deckungsgleichheit herzustellen, so dass das Differenzbild nahezu schwarz wird. Erst jetzt drückt man »Enter«, um die Verschiebung tatsächlich durchzuführen.

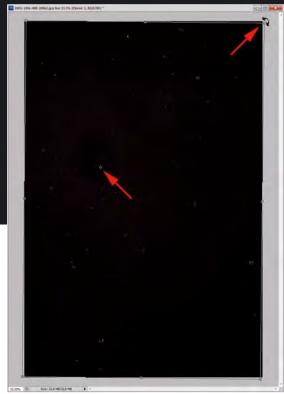
Stellt sich nach dem Drücken der Enter-Taste heraus, dass die Drehung nicht ganz gelungen ist, macht man die Aktion rückgängig (Befehl »Bearbeiten/Rückgängig«) und versucht es erneut. Verdrehen Sie das Bild nicht in mehreren Schritten hintereinander!

Nun wird der Überblendmodus der oberen Ebene wieder auf »Normal« zurückgesetzt und die Deckkraft der Ebene auf »50%« reduziert, um die beiden Ebenen zu mitteln. Zum Schluss können die Ebenen mit dem Befehl »Ebene/Auf Hintergrundebene reduzieren« zum fertigen Bild verschmolzen werden (Abb. 4).

In »Photoshop Elements« kann der Drehpunkt nicht verschoben werden. Dann führt nur die iterative Anwendung von einer Drehung (um den Mittelpunkt) und anschließendem Verschieben (»Cursortasten«) zum Ziel.

Mit neueren Photoshop-Versionen kann man versuchen, ob das Programm die Deckungsgleichheit nicht automatisch herstellen kann, und zwar mit dem Befehl »Datei/ Skripten/Dateien in Stapel laden...«. In dem erscheinenden Dialogfeld (Abb. 5) werden alle Einzelaufnahmen ausgewählt und die Option »Quellbilder nach Möglichkeit automatisch ausrichten« angehakt. Im konkreten Beispiel ist dieser Versuch mit der Photoshop-Version CS5 allerdings fehlgeschlagen.





⋖⋖ Abb. 2: Nachdem die beiden Aufnahmen in Ebenen übereinander liegen, zeigt sich die Bildfelddrehung um einen Mittelpunkt (grüner Pfeil). Deutlich wird sie an den Sternen im Randbereich (rote Pfeile) sichtbar, nachdem der Überblendmodus auf »Differenz« gestellt wurde (blauer Pfeil).

Abb. 3: Nach der Auswahl des Verschieben-Werkzeugs kann der Drehpunkt mit der Maus verschoben werden (unterer Pfeil). Bewegt man den Mauszeiger zu einer der Bildecken, verändert er seine Form (oberer Pfeil). Nun kann die Ebene interaktiv gedreht werden.

Während Photoshop bei Tageslichtmotiven eine passgenaue Ausrichtung gelingt, gibt es mit astronomischen Motiven immer wieder Schwierigkeiten. Eigentlich kein Wunder, denn Photoshop ist nicht speziell auf diese Bedürfnisse zugeschnitten. Für das Stacken einer größeren Zahl von Astrofotos, die unter Bildfelddrehung leiden, bietet sich daher die Verwendung von Programmen an, die mit der beschriebenen Problematik besser umgehen können. Bei den DSLR-Aufnahmen von Herrn Depka könnte die Freeware »DeepSky-Stacker« mit deutschsprachiger Benutzeroberfläche gute Dienste leisten (vgl. Surftipp). Ein Testlauf brachte ein tadelloses Resultat, d.h. die Software hat die vorhandene Bildfelddrehung vollautomatisch und ohne Konfigurationsaufwand kom-

pensieren Das Ergebnis lässt sich speichern und ßend mit Photoshop weiterverarbeiten.

Die beste Strategie ist aber sicher, die Bildfelddrehung gänzlich zu vermeiden. Um die Stundenachse der Montierung möglichst präzise auf den Himmelspol auszurichten, gibt es mehrere Methoden. Bekannt ist das Verfahren nach »Scheiner«, das aber zeitaufwändig ist. Mit einem gut justierten Polsucherfernrohr kann man sich der Idealstellung auf zwei bis drei Bogenminuten nähern. Moderne Montierungen mit elektronischer Steuerung verfügen oft auch über software-unterstützte Routinen, um die Einnordung in kurzer Zeit mit hoher Genauigkeit zu unterstützen. Wie genau die Einnordung sein muss, ist übrigens unabhängig von der verwendeten Brennweite. Je weiter das aufgenommene Bildfeld vom Himmelsäquator entfernt ist, je länger die Belichtung dauert, je größer der eingesetzte Bildsensor ist und je kleiner seine Pixel sind, desto eher werden sich Effekte der Bildfelddrehung bemerkbar machen, wenn die Polachsenjustage nicht optimal ist.

können. Abb. 5: Dialogfeld von Photoshop nach dem Befehl »Datei/ Skripten/Dateien in Stapel laden...«. Die Option »Quellbilder nach Möglichkeit automatisch ausrichten« (Pfeil) ist angehakt und füllart auf Wunsch anschlie- manchmal, aber nicht immer zum Ziel. "Ebenen laden

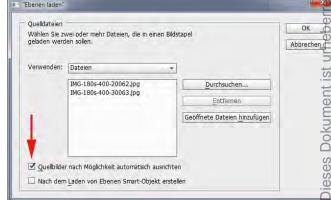




Abb. 4: Nachdem der Überblendmodus der oberen Ebene zurück auf »Normal« und die Deckkraft auf »50%« reduziert wurde (blaue Pfeile), ist das Mitteln der Bilder beendet. Der Erfolg ist ein rauschärmeres Ergebnis.

Surftipp DeepSkyStacker (Freeware): deepskystacker.free.fr

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt

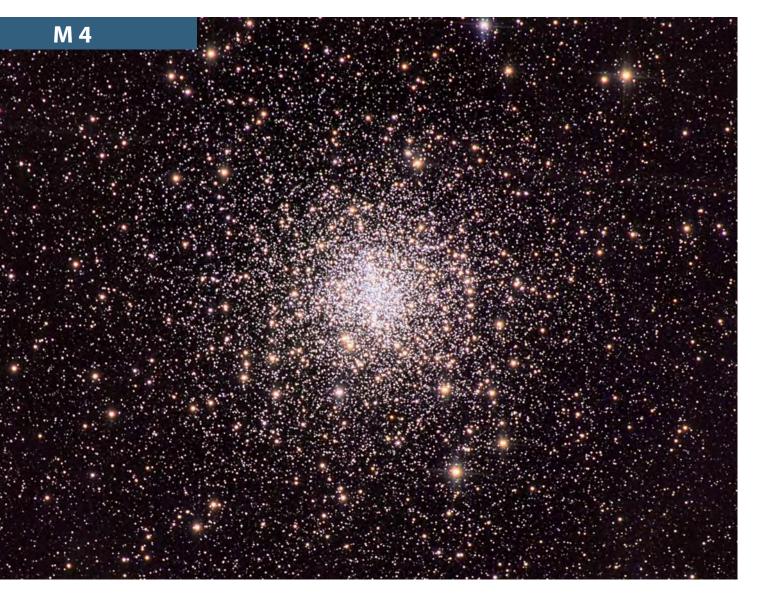
Leser beobachten

NEU

Die Objekte der Saison: Leser beobachten. Ziel dieses interaktiven Projekts ist es, Beschreibungen, Zeichnungen, Fotos und CCD-Bilder von Deep-Sky-Objekten zusammenzuführen.

- Beobachtungen einsenden: www.interstellarum.de/ods.asp
- Alle Ergebnisse: www.interstellarum.de/ods-galerie.asp
- Liste behandelter Objekte: www.interstellarum.de/ods. asp?Anzahl=alle&Maske=1

| Die Objekte der Saison der nächsten 6 Ausgaben | | | | | | |
|--|-------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|--|
| Ausgabe | Name | Sternbild | R.A. | Dekl. | Einsendeschluss | |
| Vorstellung: Nr. 71 | M 15 | Peg | 21 ^h 30,0 ^{min} | +12° 10' | 20.5.2011 | |
| Ergebnisse: Nr. 77 | M 11 | Sct | 18 ^h 51,1 ^{min} | -06° 16' | | |
| Vorstellung: Nr. 72 | NGC 7331 | Peg | 22 ^h 37,1 ^{min} | +34° 25' | 20.7.2011 | |
| Ergebnisse: Nr. 78 | NGC 7318AB | Peg | 22 ^h 36,0 ^{min} | +33° 58' | | |
| Vorstellung: Nr. 73 NGC 1977 | | 0ri | 5 ^h 35,4 ^{min} | -04° 48' | 20.9.2011 | |
| Ergebnisse: Nr. 79 | Sharpless 276 | 0ri | 5 ^h 31 ^{min} | -04° 54' | | |
| Vorstellung: Nr. 74 | IC 2177 | Mon | 7 ^h 5,5 ^{min} | –11° 00' | 20.11.2011 | |
| Ergebnisse: Nr. 80 | M 41 | CMa | 6 ^h 46,0 ^{min} | – 20° 45' | | |
| Vorstellung: Nr. 75 | NGC 4485/4490 | CVn | 12 ^h 30,5 ^{min} | +41° 42,0'/+41° 38,5' | 20.1.2012 | |
| Ergebnisse: Nr. 81 | NGC 4725 | Com | 12 ^h 50,4 ^{min} | +25° 30,0' | | |
| Vorstellung: S. 28 | Vorstellung: S. 28 M 80 | | 16 ^h 17,0 ^{min} | –22° 58,5' | 20.3.2012 | |
| Ergebnisse: Nr. 82 | M 62 | 0ph | 17 ^h 1,2 ^{min} | -30° 6,7' | | |



CCD-Aufnahme, 16"-Hypergraph bei 3200mm, SBIG STL-6303, 3×5min (L), 3×5min (je RGB), Astronomik Ilc-Filter; Farm TIVOLI, Namibia. *Bernd Flach-Wilken, Volker Wendel*

M 4

bloßes Auge: Bortle 1; Sichtung unsicher. Die Beobachtung wird durch den nahen Antares gestört (von Namibia aus). *Uwe Pilz*

7×50-Fernglas: fst 6",0, SQM-L 20,8; heller, diffuser, runder Nebel. Erstaunlich groß, bei dieser geringen Vergrößerung, größer als M 13. Keine zentrale Verdichtung. *Michael Zschech*

50/540-Refraktor: fst 6^mO; Ränder etwas unregelmäßig, diffus bis granuliert. Am Rand blitzen einzelne schwache Sterne auf. Keine zentrale Verdichtung. 54×. *Michael Zschech*

25×100-Fernglas: fst 5^m1, SQM-L 20,74; Ort: Mallorca, Cala Ratjada. Direkt und leicht zu sehen, nicht aufgelöst, ein sehr großes Objekt, gleichmäßige Helligkeitsverteilung. Beim Gesichtsfeld von 2,5° stört leider immer ein heller Stern beim Beobachten. Jörg Meyer

110/660-Refraktor: fst 575; runder, grauer Nebel, welcher einen Helligkeitsanstieg zum Zentrum hin zeigt. Bei indirektem Sehen werden erste Sterne im Randbereich des Kugelsternhaufens sichtbar. Das Zentrum bleibt nebulös. Bei aufgehelltem Himmel ist M 4 sehr schwer wahrnehmbar. 88×. Stefan Westphal

150/750-Newton: aufgehellter Himmel Richtung Süden; der Sternhaufen ist sehr schwach und daher nicht gut zu sehen. Indirekt wird er sprunghaft größer und heller und ich kann auch viele Einzelsterne sehen. Nicht ausgeprägter Kern. Unregelmäßige Form. Nicht scharf begrenzt. 85×. Gerd Kohler

200/800-Newton: aufgehellter Himmel Richtung Süden; rund. Einige Stellen ohne Sterne. Indirekt bis in das Zentrum aufgelöst. Mittelhelle Sterne, mit einigen hellen Sternen in und um den Haufen. 228×. Gerd Kohler

200/1200-Newton: fst 5^m,5; der relativ lockere Kugelsternhaufen hat eine leicht ovale

Form und ist nahezu vollständig bis ins Zentrum aufgelöst. 133×. Klaus Wenzel

254/1016-Newton: fst 6,"3; dieser interessante, helle und lockere Kugelsternhaufen befindet sich nur 8° über dem Horizont, ist schon im Sucher sehr leicht als Nebelfleck sichtbar und bis ins Zentrum aufgelöst. Im Zentrum erkennt man einen schönen ausgeprägten Balken von gleich hellen Sternen. Leider schränkt der Horizontdunst die Beobachtung etwas ein. 105x. Andreas Schnabel

402/1800-Newton: fst 7^m; Objekt zeigt sich sehr hell, nahezu okularfüllend und mäßig konzentriert. Der Kugelsternhaufen lässt sich bei mittelhoher Vergrößerung vollständig auflösen. Atemberaubender Anblick bei exzellenten Bedingungen und sehr guter Horizontsicht auf der Silvretta. Das Objekt hebt sich dabei sehr kontrastreich vom Hintergrund ab. 200×. *Constantin Lazzari*



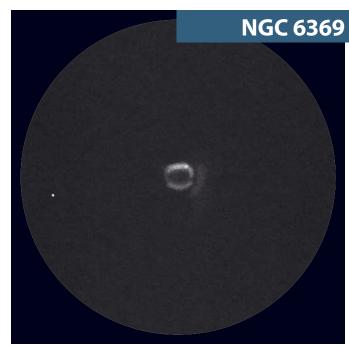


▲ CCD-Aufnahme, links oben der Kugelsternhaufen NGC 6144. 4"-Refraktor bei 700mm, ALccd 6c, 7×10min; Leitzersdorf (Österreich). Werner Pribil

CCD-Aufnahme, 24"-Hypergraph bei 1800mm, STL-▲ 11000M, 4×10s (je RGB); Namibia. *Stefan Binnewies, Josef Pöpsel*







▲ Zeichnung, 400/1800-Newton: fst 6,5; 360×. *Uwe Glahn*



NGC 6369

25×100-Fernglas: fst 5,71, SQM-L 20,16; Ort: Mallorca, Cala Ratjada. Auch mit viel Geduld nicht gesehen! Jörg Meyer

127/1500-Cassegrain: fst 5^m,8; Beobachtungsversuch in Horizontnähe und bei mäßigem Seeing. Selbst mit UHC-Filter ist der Nebel nicht sicher auszumachen. Anhand einer Sternkarte ist an der richtigen Stelle ein schwacher Fleck auszumachen. Die Identifizierung als Nebel oder Stern scheitert an der Luftunruhe. UHC; 100×. Christian Lutz

200/800-Newton: aufgehellter Himmel Richtung Süden; ohne Filter schwierig beobachtbar. Sehr schwach. Deutlich als Scheibchen und immer wieder als Ring zu sehen. Mit dem [OIII]-Filter kann ich den Nebel fast nicht mehr sehen. 228×. Gerd Kohler

200/2000-SCT: fst 5% erstaunlich einfach zu finden, bei 77× als unscharfer Stern zu erkennen, bei 154× eindeutig flächig. Die Helligkeitsverteilung im Scheibchen ist nicht gleichmäßig, eine Ringform ist aber nicht auszumachen. Ein [OIII]-Filter bringt keine zusätzlichen Details. 77/154×. Susanne Friedrich

250/1250-Newton: fst 5",0; Bei 39-facher Vergrößerung und [OIII]-Filter war der Planetarische Nebel nur schwach sichtbar. Mit 139× und Filter wurde er aber sehr deutlich. Das beste Bild lieferte aber die 250-fache Vergrößerung und der [OIII]-Filter. Der Nebel ist rund und eindeutig ringförmig. Die nördliche und östliche Hälfte des Nebelrings waren eindeutig heller als der westliche Teil. Der Zentralstern war nicht zu sehen. [OIII]; 250×. Frank Lange

320/1440-Newton: Bortle 2–3; ein etwa 30" großes Scheibchen mit etwas dunklerem Zentrum. Eine regelrechte Ringstruktur wie bei M 57 ist dies aber nicht. Der Zentralstern bleibt unsichtbar. 240x. *Uwe Pilz*

368/2025-Newton: fst 673; Bei 126× ohne Filter bereits sehr gut zu sehen als schwach elliptischer, kleiner Nebelring mit mäßiger bis hoher Flächenhelligkeit. Bei 169× mit [OIII]-Filter erweist sich das Nord-Segment des Ringes als hellster Nebelteil. Der Nebel ist relativ scharf begrenzt und zeigt keine Farbe. Der Zentralstern ist nicht erkennbar. [OIII]; 126/169×. *Roland Höfer*

400/1800-Newton: fst 6^m,5; schon bei 51× als diffuses, kleines Wölkchen ohne Farbe zu erkennen, die kleine Ringform ist ab etwa 150× zu erkennen. Der Planetarische Nebel reagiert nur mäßig auf den [OIII]-Filter, daher am besten bei 360× ohne Filter. Der PN wirkt dabei als leicht O-W-elongierter Ring (5:4); Nordseite am hellsten, läuft dabei nicht gebogen sondern annähernd gerade in O-W-Richtung. Die Nordseite knickt dann im Westen fast rechtwinklig nach Süd, wobei die Westseite deutlich schwächer definiert ist. Die hellste Stelle an der Nordseite befindet sich knapp vor dem West-Knick, Südseite wieder besser definiert, verläuft gekrümmter als helle Nordseite. Ostseite am schlechtesten definiert, trotzdem geschlossen, so dass ein kompletter Ring zu erkennen ist. Etwas in Richtung Westen, vom PN abgesetzt, schwache Aufhellung vermutet, 15^m,1 heller Zentralstern auch bei 515× nicht zu sehen. 360×. Uwe Glahn

402/1800-Newton: fst 7^m; ein heller Planetarischer Nebel; bei schwacher bis mittelhoher Vergrößerung lässt sich bereits die Ringstruktur erkennen und ist bei hoher Vergrößerung nicht zu übersehen. An einigen Stellen sind Aufhellungen zu erkennen, z.B. am nördlichen Rand. Das Zentrum zeigt sich stattdessen deutlich dunkler. Einen Zentralstern suchte ich vergeblich. Ein heller Feldstern zeigt sich im Übersichtsokular südlich. 257×. Constantin Lazzari

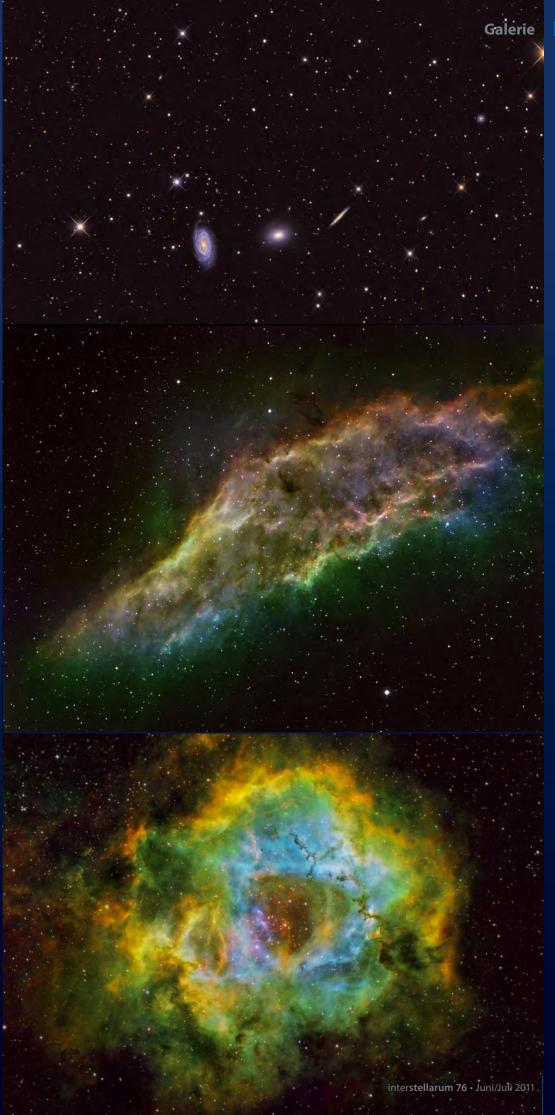
Astrofotos unserer Leser

Gebiet um den Orionnebel. Digitalfoto, 3,15"-Refraktor bei 480mm, Canon EOS 450Da, ISO 800, 27×30s, 25×60s, 38×120s, 24×300s, 18×600s, IDAS-LP2-Filter. *Michael Schröder*

Draco-Triplett – NGC 5985, NGC 5982 und NGC 5981. Digitalfoto, 8"-Newton bei 920mm, Canon EOS 40D (modifiziert), ISO 800, 59×10min. Siegfried Kohlert

Californianebel NGC 1499 in Perseus. CCD-Aufnahme, 3"-Refraktor bei 432mm, QSI583ws, 14×10 min (Ha), 10×20 min (Ha), 9×20 min (Ha, Hβ, [SII]). Volker Umland

Rosettennebel in Monoceros (Farben nach der Hubblepalette). CCD-Aufnahme, 3"-Refraktor bei 475mm, SBIG ST-8300M, 3×20min ([OIII]), 3×20min ([SII]). Markus Noller



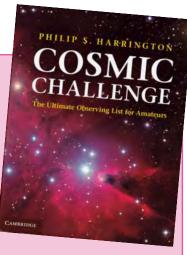
COSMIC CHALLENGE

Phil Harrington muss man auch in deutschsprachigen Landen nicht weiter vorstellen: Durch Bücher wie »Touring the Universe with Binoculars« oder die regelmäßigen Kolumnen in der Zeitschrift Astronomy ist er als erfahrener Deep-Sky-Beobachter weltweit bekannt.

In seinem neuesten Werk widmet er sich einer Thematik, die auch hiesige Beobachter seit langem verfolgen: die Grenzen der Optik durch besonders herausfordernde Objekte auszuloten. Harringtons Liste enthält 188 Ziele, sortiert in sechs Kategorien. Und sie beschränkt sich nicht auf Deep-Sky-Objekte. Unter den Herausforderungen für das bloße Auge sind altbekanntes wie das Reiterlein, aber auch schwierige Objekte wie

Phil Harrington: Cosmic Challenge: The Ultimate Observing List for Amateurs, Cambridge University Press, Cambridge 2011, ISBN 978-0521899369, 488 S., 45\$

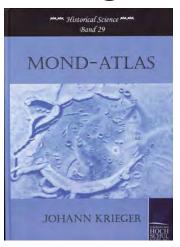
M 81 oder Vesta. Für Ferngläser werden vor allem Doppelsterne und Deep-Sky-Objekte empfohlen. Besitzer kleiner Teleskope können sich an Markarians Galaxienkette oder dem aschgrauen Licht der Venus versuchen, auf mittlere Teleskope warten Ziele wie ζ Cancri oder die Kleinstkrater in Plato, große Teleskope sind mit Sternketten in M 13 und den Neptunmonden herausgefordert. »Monster-Teleskope« schließlich können sich an Einsteins Kreuz oder die Trennung von Pluto und Charon wagen.



Harrington stellt diese Ziele kompetent und realistisch vor. Schön ist, dass fast zu jedem Objekt eine Zeichnung abgedruckt ist. Ebenso ist eine Aufsuchkarte enthalten. Auch wenn erfahrenen Beobachtern die meisten Ziele bekannt vorkommen: Dieses Buch ist eine wahre Fundgrube an Ideen.

■ Ronald Stoyan

Kriegers Mond-Atlas



Johann Krieger: Mond-Atlas, Historical Science Bd. 29, Europäischer Hochschulverlag Bremen 2010, ISBN 978-3-867412131, 56 S.,79€

Er gilt als der vielleicht schönste Mondatlas überhaupt: das Werk von Johann Nepomuk Krieger (1865–1902). Nun ist dieser unvergleichliche Atlas in einer Faksimile-Ausgabe wieder für Sternfreunde erhältlich.

Krieger, durch eine Erbschaft vermögend geworden, ließ sich Ende des 19. Jahrhunderts eine

Sternwarte im damals österreichischen Triest bauen. Mit einem 259mm-Refraktor von Reinfelder und Hertel erstellte Krieger ab 1890 zunächst in Gern bei München, ab 1897 in Triest Zeichnungen von ausgewählten Mondformationen nach einer besonderen Methode: Fotografische Aufnahmen, die stark vergrößert abgezogen wurden, dienten als Grundgerüst für die Einzeichnung feinerer Strukturen. Insgesamt 28 Tafeln von auf diese Weise entstandenen Detailansichten der Mondoberfläche enthält der als erster Band konzipierte Atlas, erschie-

nen 1898. Die Fortsetzung des auf acht Bände angelegten Werkes erlebte Krieger jedoch nicht mehr, da er 1902 mit nur 37 Jahren starb. Lediglich der zweite Band wurde posthum veröffentlicht.

Die vorliegenden Reproduktionen erreichen nicht die lebendige Qualität des Originals. Wer sich diese Kostbarkeit der Selenographie jedoch nicht im Original besorgen kann, dem sei der Nachdruck wärmstens empfohlen.

■ Ronald Stoyan

iPhone-App: Gas Giants

Immer mehr Hersteller von astronomischem Equipment bieten auch Anwendungen für iPhone und iPad an; seit dem Jahreswechsel gehört auch der für seine hochwertigen Montierungen und Softwareprodukte bekannte US-Anbieter Software Bisque dazu. Unter dem Namen Gas Giants veröffentlichte das Unternehmen seine erste kleine App: Gas Giants simuliert die Ansicht der beiden Planeten Jupiter und Saturn sowie einiger ihrer Monde. Der Anwen-

der kann dabei nicht nur einen beliebigen Zeitpunkt der Darstellung festlegen, sondern auch aus einer umfassenden Liste von rund 500 Teleskopen und fast ebenso vielen Okularen die Ansicht mit dem gewählten Beobachtungsequipment simulieren lassen. Da der zeitliche Ablauf der Rotation der Planeten und der Wanderung der Monde sehr einfach mit einem Schieberegler beschleunigt werden kann, eignet sich die App sehr gut dazu, bei öffentlichen

Beobachtungen das im Teleskop zu Sehende zu erklären, ehe die Zuhörer die fantastische Ansicht der Gasriesen und deren Monde am Teleskop mit eigenen Augen beobachten können.

Ullrich Dittler

iPhone-App: Gas Giants, 6,1MB, 1,0, iOS3.1.3 oder höher für iPhone/iPad/ iPod touch, 2,39€





Termine für Sternfreunde Juni-Juli 2011

Fachtagung / Workshop

- 4 10.–14.6.: 30. Planeten- und Kometentagung in 86450 Violau bei Augsburg

 ① Wolfgang Meyer, Martinstr. 1, 12167 Berlin,
 - ① Wolfgang Meyer, Martinstr. 1, 12167 Berlin www.planetentagung.de
 - 17.–19.6.: 14. Tagung der VdS-Fachgruppe »Kleine Planeten«, Starkenburg-Sternwarte 64646 Heppenheim
 - ① www.kleinplanetenseite.de
- 10 30.7.–13.8.: Astronomisches Sommerlager (ASL2011), 37444 Sankt Andreasberg ① Sonja Burgemeister – VEGA e.V., Golmer Fichten 30, 14476 Potsdam, 0331/9791054, sonja@vega-astro.de, www.vega-astro.de/index.php/ASL/Sommerlager

Beobachtungstreffen

- 1.–5.6.: 20. Internationales Teleskoptreffen Vogelsberg (ITV), Campingpark Am Gederner See, 63688 Gedern
 - ① Intercon-Spacetec GmbH, 0821/414081, info@ teleskoptreffen.de, www.teleskoptreffen.de
- 2 3.–5.6.: 11. Teleskop Treffen Johannismühle (TTJ), Wildparkgelände Johannismühle, 15837 Baruth ① Uwe Banisch, Tel.: 033704/97017, info@teleskoptreffen.com, www.teleskoptreffen.com
- 3 10.–11.6.: Antares-Starparty, Sternwartengelände A-3074 Michelbach, Niederösterreich ① Verein der niederösterreichischen Amateurastronomen, A-3100 Sankt Pölten, 0043/676/5711924, antares-info@aon.at, www.turbo.at/antares
- 1.-3.7.: 6. Sächsisches Sommernachtsteleskoptreffen (STT), 01616 Strehla,
 ① Sternwarte Riesa e.V., Stefan Schwager, 0173/8076841, SternwarteRiesa@web.de, www.sternenfreunde-riesa.de/jahresplan.php
- 7 29.–31.7.: 2. Sankt Andreasberger Teleskop-Treffen (STATT), 37444 Sankt Andreasberg, Jordanshöhe
 - ① Verein Sternwarte Sankt Andreasberg e.V., Utz Schmidtko, 05139/893219, schmidtko@sternwarte-sankt-andreasberg.de, www.sternwarte-sankt-andreasberg.de/statt.html
- 8 29.–31.7.: 13. Bayrisches Teleskoptreffen (BTM), 85137 Pfünz, Osterberg im Altmühltal
 ① Uli Zehndbauer, zehndbauer@me.com, www.beobachterforum.de
- 29.–31.7.: WAA Summer Starparty 2010, A-2724 Hohe Wand, Gasthof Postl
 ① Wiener Astronomische Arbeitsgemeinschaft, Fraungrubergasse 3/1/7, A-1120 Wien, 0043/664/2561221, info@waa.at, www.waa.at/treff/ssp.html



Sonstiges

27.6.–1.7.: 4th International Symposium for Dark-Sky Parks, Spanien

① Parc Astronomic Montsec, Katalonien, Spanien, 0034/973/455246, darksky@montsec.cat, www.darkskyparks.org

29.–31.7.: Süd Sternfreunde Treffen in Namibia SSFT 2011, Otjiwa Lodge

① www.suedsternfreundetreffen.homepage. t-online.de

17.7.–6.8.: International Astronomical Youth Camp IAYC 2011 Třemešek, Tschechien

(i) IAYC leader team, info@iayc.org, www.iayc.org

Kleinanzeigen

Verkaufe neuwertigen Großfeldstecher, Vergrößerung 20x100mm, Multi-Coated Optics, Bak 4, inkl. Mondund Sonnenfilter, ca. 3,6kg Gewicht u. Adapter für Stativ, Preis 500€ VB. • Karl Bühle, Tel.: 03302/200971

Verkaufe neuwertige Celestron AS-GT Montierung komplett inkl. zusätzlichem Polsucher für 500€. Muss in der Schweiz abgeholt werden. • Christoph Graf, E-Mail: chrigra@gmx.ch

Verkaufe neuwertige Goto-Montierung Celestron NexStar GT mit Prismenklemme und Netzteil. Sehr leicht und transportabel. VB 125€ • Anfragen an die Redaktion

Demnächst in interstellarum

interstellarum 77

Die himmlische Acht

Analemma wird die eigenartige Figur genannt, die entsteht, wenn man die Position der Sonne über ein ganzes Jahr regelmäßig zur selben Uhrzeit festhält. Wir erzählen die Kulturgeschichte dieses Phänomens und geben Tipps zu eigenen Projekten.

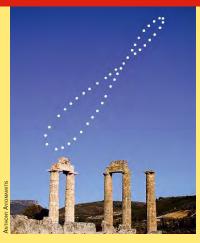
Astrofotografie unterwegs

Immer mehr Hobby-Astronomen unternehmen weite Fernreisen, um den Himmel zu fotografieren. Im Test stellen sich zwei astrofotografische Reisemontierungen der Praxis.

Blazare beobachten

Sie liegen an der Grenze des visuell beobachtbaren Universums: Blazare sind aktive Kerne riesiger Galaxien, deren Helligkeit variiert. Auch Amateure können diese Objekte überwachen.

Heft 77 ist ab 15.7.2011 im Zeitschriftenhandel erhältlich!







aktuell auf www.interstellarum.de

Aktuelle Aufnahmen unserer Leser

- www.sonneaktuell.de
- www.planetenaktuell.de
- www.kometenaktuell.de

NEU: Online-OdS

 www.interstellarum.de/ ods-galerie.asp



Der größte Online-Nachrichtendienst für Hobby-Astronomen in deutscher Sprache, erscheint freitags alle 14 Tage.

- Aktuelles am Himmel
- Neuigkeiten aus der Forschung
- Nachrichten aus der Astroszene
- Informationen für interstellarum-Leser

Inserenten dieser Ausgabe

| Alpine Astrovillage | 68 | Friedrich Moess Beleuch- | | Oculum-Verlag U3/62 | -63/79 |
|-------------------------|----|--------------------------|------|------------------------|--------|
| AME Astro-Messe | 65 | tungssysteme | 78 | Optical Vision | 7/25 |
| APM Telescopes | 33 | Gerd Neumann Jr. | 64 | Sattleggers Alpenhof | 78 |
| Astro!nfo | 32 | Hofheim Instuments | 64 | Teleskop-Service | 66 |
| Astrocom | 32 | Farm Tivoli | 78 | Teleskop & Sternwarten | |
| Astronomie.de | 10 | Intercon Spacetec | 5 | Zentrum | 24 |
| Astro-Shop | U2 | Kiripotib Astrofarm | 78 | teleskop-shop-ost | 78 |
| Astrotreff | 33 | Kosmos-Verlag | 66 | William Optics | 64 |
| Berlebach Stativtechnik | 32 | Meade Instruments U4/6/3 | 3/78 | Wissenschaft Online | 11 |
| Beyersdörfer GmbH | 4 | nimax GmbH | 65 | Wolfgang Lille | 78 |

Impressum

www.interstellarum.de | ISSN: 0946-9915

Verlag: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67,

D-91054 Erlangen

WWW: www.oculum.de

E-Mail: info@oculum.de Tel.: 09131/970694

Fax: 09131/978596

Abo-Service: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67,

D-91054 Erlangen

E-Mail: aboservice@interstellarum.de

Tel.: 09131/970694 (Mo-Do 10:00-15:00)

Fax: 09131/978596

Bezug: Jahresbezugspreise 2011 inkl. Zustellung frei Haus: $54,90 \in (D)$, $59,90 \in (A, CH)$, $59,90 \in (Ausland)$, erscheint zweimonatlich Anfang Jan., Mär., Mai, Juli., Sept., Nov., zusätzlich 2 Hefte interstellarum »Thema«



interstellarum erhalten Sie im Presse-Fachhandel mit dem »blauen Globus«. Dort können Sie auch Hefte nachbestellen, wenn sie nicht im Regal stehen.

Vertrieb: für Deutschland, Österreich, Schweiz Verlagsunion KG, Am Klingenweg 10, D-65396 Walluf

Grafik und Layout: Frank Haller, Diana Hoh

 $\textbf{Redaktion:} \ redaktion@interstellarum.de$

Ronald Stoyan (Chefredaktion), Daniel Fischer, Susanne Friedrich, Frank Gasparini, Hans-Georg Purucker

Mitarbeit: Peter Friedrich (Schlagzeilen), Kay Hempel (Astronomie mit bloßem Auge), Manfred Holl (Sonne aktuell), Matthias Juchert (Objekte der Saison), André Knöfel (Himmelsereignisse), Matthias Kronberger (Objekte der Saison), Burkhard Leitner (Kometen aktuell), Uwe Pilz (Praxis-Wissen), Uwe Glahn (Deep-Sky-Herausforderung), Stefan Seip (First Light, Technik-Wissen), Lambert Spix (Astronomie mit dem Fernglas), Wolfgang Vollmann (Veränderlicher aktuell)

Astrofotografie: Siegfried Bergthal, Stefan Binnewies, Michael Deger, Ullrich Dittler, Torsten Edelmann, Bernd Flach-Wilken, Ralf Gerstheimer, Michael Hoppe, Bernhard Hubl, Michael Jäger, Wolfgang Kloehr, Bernd Koch, Siegfried Kohlert, Erich Kopowski, Walter Koprolin, Bernd Liebscher, Norbert Mrozek, Gerald Rhemann, Johannes Schedler, Rainer Sparenberg, Sebastian Voltmer, Manfred Wasshuber, Mario Weigand, Volker Wendel, Dieter Willasch, Peter Wienerroither, Thomas Winterer

Manuskriptannahme: Bitte beachten Sie unsere Hinweise unter www.interstellarum.de/artikel.asp

Copyright/Einsendungen: Für eingesandte Beiträge, insbesondere Fotos, überlassen Sie uns das Recht für einen einmaligen Abdruck im Heft und auf der Archiv-CD. Weitere Nutzungen in Büchern sind nicht gleichzeitig gegeben und bedürfen der Genehmigung durch den Autor. Ausgenommen davon ist der Abdruck ausgewählter Bilder in der Vorschau für die nächste Ausgabe und unter www.interstellarum.de.

Prinzipiell drucken wir nur unveröffentlichte Fotos und Texte. Parallelveröffentlichungen bereits eingesandter Materialien sind gesetzlich für den Zeitraum eines Jahres nach Abdruck untersagt (§ 2-1 Verlagsgesetz) – wir bitten um Beachtung.

Bitte informieren Sie uns, ob Ihre Beiträge schon an anderer Stelle veröffentlicht worden sind.

Wir behalten uns vor, bei der Bearbeitung Randpartien einer Aufnahme abzuschneiden und diese zu verkleinern/vergrößern, sowie orthografische und sprachliche Korrekturen vorzunehmen. Eingesandte Beiträge werden nicht sinnentstellend verändert bzw. gekürzt ohne Einverständnis des Autors. Der Verlag übernimmt keine Haftung für unverlangt eingesandtes Material.

Private Kleinanzeigen: können kostenlos unter www.interstellarum.de/kleinanzeigen.asp **aufgegeben werden**

Geschäftliche Anzeigen: es gilt Preisliste Nr. 12 vom 1.11.2010 Britta Gehle, Anzeigenleitung, Fax: 09131/978596, E-Mail: werbung@interstellarum.de