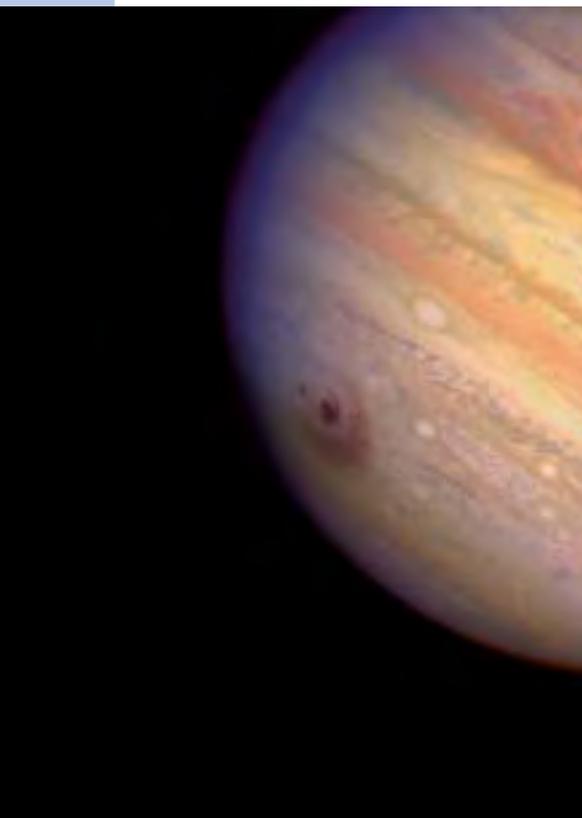


fokussiert



Ronald Stoyan, Chefredakteur



Titelbild: **Als Jahrhundertereignis gefeiert**, aber 15 Jahre später schon wiederholt: Der spektakuläre Absturz des Kometen Shoemaker-Levy 9 im Sommer 1994 war kein Einzelfall. Hilft Jupiter mit seiner Masse, dass die Erde von derartigen Bombardements verschont bleibt? Die Aufnahme des Hubble Space Telescope vom 18.7. zeigt die Einschlagsstellen der Kometenfragmente D und G. *H. Hammel, MIT und NASA/ESA*

Liebe Leserinnen und Leser,

als im Juli 2009 auf Jupiter plötzlich ein dunkler Fleck erschien, war die Überraschung groß. Nach dem spektakulären Vielfach-Impakt von Shoemaker-Levy 9 im Jahr 1994 war offensichtlich wieder ein Komet auf dem Riesenplanet eingeschlagen – doch in so kurzer Zeit hätte das niemand erneut erwartet. Spielt Jupiter etwa die Rolle eines »kosmischen Staubsaugers« und schützt uns durch seine Schwerkraft vor gefährlichen Kleinkörpern? Aktuelle Studien widmen sich dieser Frage – und kommen zu erstaunlichen Ergebnissen (Seite 12).

Das mit einer CCD-Kamera bestückte Teleskop ohne zusätzlichen Computer nachzuführen, ist der Traum vieler Astrofotografen. Ein Autoguider, also eine zusätzliche CCD-Kamera, die mit der Montierung kommuniziert, macht dies möglich. Seitdem die ST-4 von SBIG in den 1990er Jahren auf den Markt kam, hat sich nicht mehr viel getan – doch nun gibt es von der italienischen Firma LVI einen neuen Autoguider. Ein Testbericht (Seite 50).

Seit 1996 ist www.interstellarum.de nicht nur das Serviceportal für Abonnenten der Zeitschrift, sondern bietet zahlreiche Dienste und Informationen für Amateurastronomen. Zum Jahreswechsel ging die Internetseite in neuem Design und neuer Technologie an den Start. Eine übersichtlichere Struktur, aber auch viele neue Inhalte prägen das neue [interstellarum.de](http://www.interstellarum.de). Viele Mitmach-Angebote für Leser wie die Online-OdS werden in den nächsten Wochen und Monaten folgen – zusammen mit dem größten astronomischen Newsletterdienst in deutscher Sprache ein Grund mehr, auch im Internet regelmäßig [interstellarum](http://www.interstellarum.de) zu lesen.

Viel Spaß dabei wünscht,

Ihr

Ronald Stoyan



Schwarze Sonne über Vulkanen und Atollen

36



Mondbeobachtung mit bloßem Auge

40



Mücken im Auge

44



Perfekte Pixel

57

Hintergrund

Hauptartikel

12 **Jupiter – Schutzschild oder Bedrohung?**

Wie der Riesenplanet die Bahnen von Kleinkörpern im Sonnensystem beeinflusst

17 **Astro-Wissen: Welche Meteoroiden treffen auf die Erdoberfläche?**

Schlagzeilen

8 **Wasser im Mondboden**

Extrasolare Planeten und das Lithium-Problem der Sonne
Das kosmische Netz

10 **Raumfahrt aktuell: Rosettas letzter Besuch der Erde**

Himmel

Ereignisse

18 **Rückkehr des Ringplaneten**

Saturn in Opposition am 22. März
Venus begegnet Jupiter am 16. Februar

19 Mond streift Plejaden am 21. Februar
Vesta in Opposition am 18. Februar

Sonnensystem

22 **Sonne aktuell: Vorwärts in kleinen Schritten**

23 **Planeten aktuell: Mars am Abend, Saturn am Morgen**

24 **Kometen aktuell: Drei Schweifsterne für Amateurfernrohre**

Sternhimmel

27 **Astronomie mit bloßem Auge: Collinder 65**

Astronomie mit dem Fernglas:
Orions Gürtelsterne

28 **Objekt der Saison: M 93**

29 **Objekt der Saison: NGC 2440**

31 **Veränderlicher aktuell: Beteigeuze**

Praxis

Sonne

36 **Schwarze Sonne über Vulkanen und Atollen**

Die totale Sonnenfinsternis am 11. Juli 2010

Mond

40 **Mondbeobachtung mit bloßem Auge**

Einen alten Bekannten neu entdecken

aktuell auf www.interstellarum.de



Die Zeitschrift für praktische Astronomie

Das große Portal für Hobby-Astronomen

- Aktuelle Meldungen
- Produktneuheiten
- Bild des Tages
- Service für Leser



Die Zeitschrift für praktische Astronomie

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

astroeinstieg.de

by interstellarum Zeitschrift für praktische Astronomie

Die interstellarum-Einsteigerseiten

Planeten

44 **Mücken im Auge**

Mouches volantes und ihr Einfluss auf die astronomische Beobachtung

Deep-Sky

46 **Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter**

Zu Füßen der Zwillinge

49 **Praxis-Wissen: Wie beobachtet man den Hesiodus-Strahl auf dem Mond?**

Technik

Test

50 **Astrofotografie automatisiert**

Der LVI-Smartguider im Praxistest

Selbstbau

55 **Notoperation Nachführung**

Modifizierungen an einer EQ3-Montierung

Astrofotografie

57 **Perfekte Pixel**

Die mathematischen Grundlagen hochauflöser Planetenbilder

61 **Technik-Wissen: Was geschieht beim »Stacken«?**

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



Jupiter – Schutzschild oder Bedrohung?

12

Wie der Riesenplanet die
Bahnen von Kleinkörpern
im Sonnensystem
beeinflusst

Beobachtungen

- **Rückblick**
- 65 **Drei Planeten am Morgenhimmel**
- **First Light**
- 66 **Mehr Dynamik für den Kugelsternhaufen**
- **Objekte der Saison**
- 68 **NGC 3628 / NGC 3184**
- **Galerie**
- 72 **Astrofotos unserer Leser**

Service

- **Szene**
- 74 **Schluss-Spurt**
Das Jahr der Astronomie ist zu Ende
- 75 **Termine für Sternfreunde:**
Februar–März 2010
- **Rezensionen**
- 76 **Das Ende der Nacht**
Das Weltgeheimnis
Wir sind nicht allein!
- **Astromarkt**
- 77 **Kleinanzeigen**

- 1 fokussiert
- 2 Inhaltsverzeichnis
- 77 Leserhinweise
- 78 Vorschau, Impressum

Astrofotografie automatisiert: Der LVI-Smartguider im Praxistest

50



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

Wasser im Mondboden



Abb. 1: Der Einschlagskrater der Centaur-Raketenstufe im 98km großen Krater Cabeus in der Nähe des lunaren Südpols.

Die Hinweise auf das Vorkommen von Wasser im Boden des Mondes verdichten sich. Ein spektakuläres Experiment führte die NASA mit der Sonde LCROSS (Lunar CRater Observing and Sensing Satellite) durch: Am 9. Oktober 2009 um 12:31 MEZ schlug zunächst die knapp zehn Stunden zuvor abgetrennte Raketenstufe im Krater Cabeus mit 9000km/h nahe des lunaren Südpols ein, rund fünf Minuten später gefolgt von der Sonde selbst. Der bei den Aufschlägen aufgewirbelte »Staub« konnte nun analysiert werden. In den fünf Minuten zwischen den beiden Impakten wurden von LCROSS selbst Daten aufgenommen und zur Erde übertragen, aber auch von den Instrumenten der Mondsonde Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO). Diese war am 18. Juni 2009 mit derselben Centaur-Rakete wie LCROSS gestartet worden und flog auf direktem Weg zum Mond, während LCROSS erst nach mehreren Swing-by-Manövern an Mond und Erde ins Ziel gelenkt werden konnte. Der Ort des Experiments, der Krater Cabeus, ist mit Bedacht gewählt worden: In der Polgegend des Mondes fällt das Sonnenlicht so flach ein, dass unterhalb eines Kraterwalls niemals Sonnenlicht den Boden erreicht und so im Schutz der kalten Dunkelheit eventuelles gefrorenes Wasser ungestört existieren kann. Bei den Impakten entstanden einerseits ausgedehnte Wolken verdampften Materials und feinen Staubs, andererseits Auswürfe größerer Fragmente. Das Auswurfmaterial von der Centaur-Raketenstufe wurde von den Spektrometern auf LCROSS untersucht, und in beiden Komponenten zeigten sich die Signaturen von Wasser: Das Infrarotspektrum (Abb. 2) zeigt an zwei Stellen die Absorptionslinien von Wasser. Auch das aufgenommene Spek-

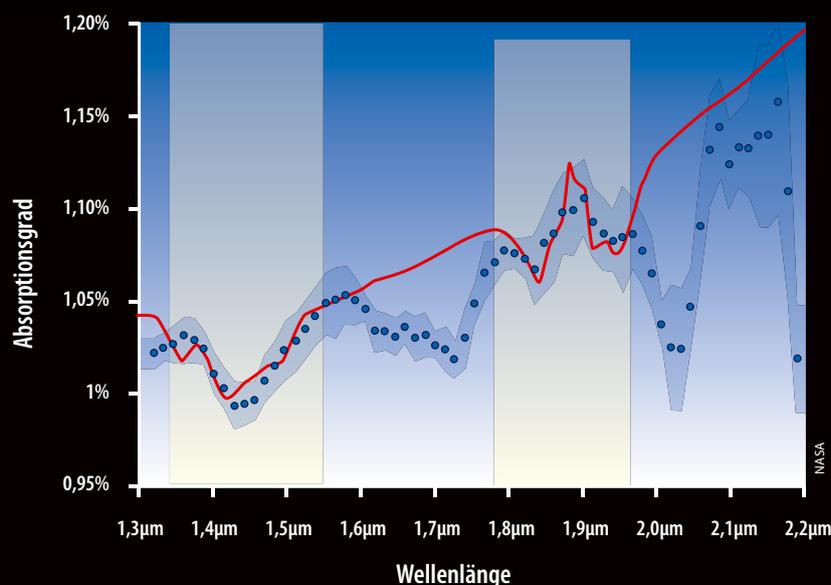


Abb. 2: Infrarotspektrum von LCROSS: Die rote Kurve beschreibt ein passendes gerechnetes Spektrum von Wasserdampf und Eis, das die Absorptionslinien in den beiden hell markierten Bereichen beschreiben kann.

trum im sichtbaren bis nahen Ultraviolett-Licht bestätigt den Befund, denn es zeigt zum Zeitpunkt des Impakts Signaturen von Hydroxyl (OH⁻), das entsteht, wenn Wasserdampf der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Die vollständige Auswertung aller Daten, einschließlich der von LRO gewonnenen, wird allerdings noch einige Zeit in Anspruch nehmen.

Auch kürzlich veröffentlichte Ergebnisse der ersten indischen Mondsonde geben detaillierte Hinweise auf Wasser im Gestein der Mondoberfläche. Chandrayaan-1, so der Name der Sonde, hat 3400 Mal den Mond in niedriger Höhe umrundet und mit verschiedenen Instrumenten die Oberfläche des Erdtrabanten untersucht. Der vom JPL (NASA) gebaute Moon Mineralogy Mapper (M³) auf Chandrayaan-1 hat die von der Mondoberfläche abgegebene Infrarotstrahlung kartiert und Absorptionslinien im Wellenlängenbereich von 2,8 bis 3,0 Mikro-

meter (vgl. Abb. 2) gefunden. Im Fall von Silikatgesteinen sind solche Signaturen typisch für hydroxyl- und/oder wasserreiche Materialien, wobei nur die obersten Millimeter des Bodens erfasst werden. Auf dem Mond beobachtet man sie besonders in den kühleren höheren Breiten und bei vielen jüngeren Kratern. Eine Korrelation der Befunde mit Neutronenspektrometerdaten der Sonde Lunar Prospector (1998), die ebenfalls einen Indikator für Wasser im Boden – allerdings bis 50cm Tiefe – darstellen, ist erstaunlicherweise nicht zu erkennen. Dies lässt darauf schließen, dass es sich um ständig ablaufende Oberflächenprozesse der Bildung und Speicherung von Hydroxyl und Wasser handelt. [NASA/JPL; NASA News Release 09-146AR; NASA Press Kit zu LRO/LCROSS (Juni 2009); NASA, LCROSS Mission Update vom 13.11.2009; Indian Space Research Organisation (ISRO); Science 326, 568 (2009)]

Abb. 3: Sehr junger Krater auf der Rückseite des Mondes, aufgenommen mit dem Moon Mineralogy Mapper auf Chandrayaan-1. Das linke Bild zeigt die Oberfläche im kurzwelligen Infrarotlicht; im rechten Bild ist die Verteilung von wasserreichen Mineralien um einen kleinen Krater herum dargestellt. Die wasserreichen und hydroxylreichen Vorkommen wurden speziell in dem Auswurfmaterial des Kraters gefunden.



Extrasolare Planeten und das Lithium-Problem der Sonne

Das Element Lithium, bzw. seine Isotope ${}^6\text{Li}$ und ${}^7\text{Li}$, gehört zu den wenigen Elementen, die bereits im Urknall synthetisiert wurden. Da es nicht in nennenswerter Menge durch Kernfusion in Sternen erzeugt wird, geht man davon aus, dass bei ihrer Geburt alle Sterne dieselbe Menge an Lithium besitzen. Allerdings wird Lithium bereits bei Temperaturen von etwas über 2 Millionen Grad, die leicht in Sternen erreicht werden, zerstört. Vergleicht man die Lithium-Häufigkeit in sonnenähnlichen Sternen, stellt man eine große Variationsbreite der Häufigkeit fest. So besitzt die Sonne im Vergleich zu anderen ihr sehr ähnlichen Sternen nur etwa ein hundertstel der Lithiummenge. Außerdem ist die Lithiumhäufigkeit an ihrer Oberfläche etwa 140 Mal geringer als sie bei ihrer Entstehung war, obwohl die Konvektionszone nicht in solche Tiefen reicht, die heiß genug wären, das Lithium zu zerstören, und damit zu einer geringeren Häufigkeit führen würden. Diese Diskrepanz konnte bisher nicht erklärt werden. Ein Lösungsansatz ergibt sich nun aus einer Untersuchung von 451 Sternen, von denen 70 ein Planetensystem haben. Etwa ein Viertel dieser Sterne ist sonnenähnlich mit Temperaturen zwischen 5600K und 5900K. Die überwie-

gende Mehrheit dieser Sterne mit Planetensystem weist eine sehr geringe Lithiumhäufigkeit auf, während in der Gruppe der Sterne ohne Planetensystem nur etwa die Hälfte eine geringe Lithiumhäufigkeit zeigt. Sterne mit niedrigeren und höheren Temperaturen weisen eine einheitlich niedrigere bzw. höhere Lithiumhäufigkeit auf: Bei den kühleren Sternen reicht die Konvektionszone tiefer, wodurch Lithium zerstört wird, und bei Sternen mit höherer Temperatur und damit höherer Masse ist die Konvektionszone nicht so dick, dass sie ausreichend heiße Schichten für die Zerstörung von Lithium erreicht. Dieses Ergebnis ist unabhängig von anderen Eigenschaften des Sterns, wie z.B. dem Alter. Auf welche Weise die Planeten jedoch dazu beitragen, dass das Lithium zerstört wird, ist noch nicht geklärt. Es könnte jedoch sein, dass das Planetensystem den Drehimpuls des Sterns beeinflusst und damit die Durchmischung der oberflächennahen Schichten verändert. Auch die Wechselwirkung zwischen Stern und protoplanetarer Scheibe könnte über eine differentielle Rotation zwischen Kern und konvektiver Hülle letztendlich zu einer geringeren Konzentration des Lithiums führen. [Nature 462, 189 (2009); ESO Science Release 42/09]

Ein junger Stern mit einer protoplanetaren Scheibe (künstlerische Darstellung), in der Planeten entstehen können. Die Scheibe könnte eine Ursache für die Zerstörung des Elements Lithium in sonnenähnlichen Sternen mit Planetensystem sein.

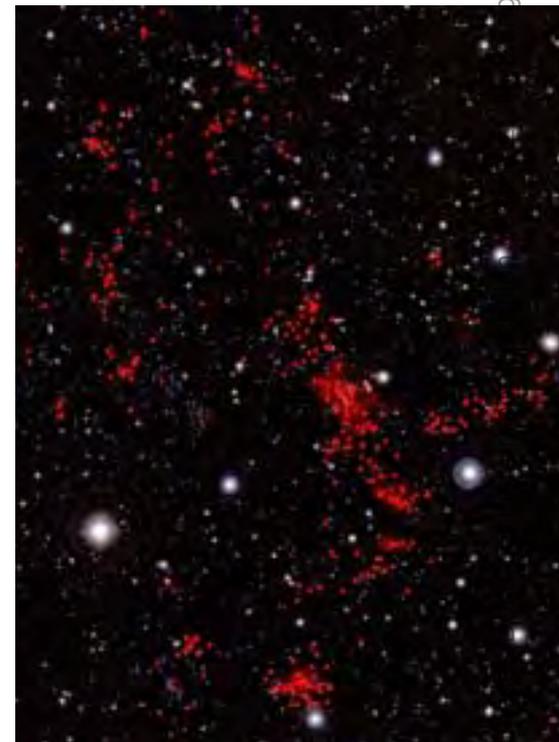


Das kosmische Netz

Im Weltall ist Materie nicht gleichförmig verteilt: Sie befindet sich in Sternen, die sich in Galaxien zusammenfinden, die sich wiederum zu Galaxienhaufen formieren. Auch die Galaxienhaufen sind nicht gleichmäßig im Universum verteilt, sondern ordnen sich entlang Millionen Lichtjahre langer Stränge an, die riesige, nahezu leere Räume wie ein Netz umgeben. Diese filamentartige Struktur wird in unserer kosmischen Nachbarschaft häufig beobachtet und wurde kürzlich auch in Entfernungen von 10,8 Milliarden Lichtjahren ($z=1$) gefunden. An den Kreuzungspunkten der Stränge befinden sich gigantische Galaxienhaufen, wie Spinnen in einem Netz, die sich weitere Materie einverleiben. In der Umgebung dieser Galaxienhaufen werden viele weitere Galaxiengruppen erwartet. Um den Galaxienhaufen CL 0016+16 in einer Entfernung von 6,7 Milliarden Lichtjahren ($z=0,55$) konnten jetzt zwei ungewöhnlich reich strukturierte Filamente mit diversen Galaxiengruppen gefunden werden. Die Messung der genauen Entfernungen sowie der Spektren von 150 Gala-

Die Galaxien, die in 6,7 Milliarden Lichtjahren Entfernung einen Teil des kosmischen Netzes bilden, sind in Rot dargestellt. Vorder- oder Hintergrundobjekte erscheinen blau.

ESO PR PHOTO 41a/09



g nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

xien erlaubt ihre räumliche Anordnung zu untersuchen. Sie verteilen sich über eine Länge von 60 Millionen Lichtjahren und umgeben den Haufen CL 0016+16. Die Massen der Gruppen bewegen sich zwischen der zehn- bis tausendfachen Masse der Milchstraße, während CL 0016+16 die

zehntausendfache Masse der Milchstraße aufweist. Nicht alle der Galaxienhaufen sind an CL 0016+16 gebunden, einige der Haufen werden jedoch in ferner Zukunft in ihn hineinfallen. [ESO Science Release 41/09, Astron. Astrophys. 505, L9 (2009)]

Surftipps

JPL/NASA: www.jpl.nasa.gov

Space Telescope Science Institute:
www.stsci.edu

ESO Presse Mitteilungen:
www.eso.org/outreach/press-rel

Max-Planck-Gesellschaft:
www.mpg.de

Raumfahrt aktuell Rosettas letzter Besuch der Erde

Mitte November war Halbzeit für die Reise der europäischen Kometensonde Rosetta zwischen dem Start 2004 und dem Eintritt in eine Umlaufbahn um den Kometen Churyumov-Gerasimenko im Jahre 2014 – und der letzte enge Vorbeiflug an einem großen Planeten, um die Bahn so zurecht zu biegen, dass sie sich derjenigen des Kometen immer weiter annähert. Der erdnächste Punkt lag 2481km hoch über Indonesien und sollte um 8:45:40 MEZ am 13. November erreicht werden: Nach einer ersten Analyse hat Rosetta die virtuelle Marke im Raum nur um etwas mehr als 1,1km und den Zeitpunkt des Perigäums um weniger als 1/100 Sekunde verfehlt, was sogar besser als die Vorgaben gewesen wäre. Mit 13,3km/s schoss die Sonde auf einer Hyperbel an der Erde vorbei und gewann dadurch 3,6km/s zusätzliche Geschwindigkeit: Nach dreimaliger Rückkehr zur Erde sowie einem Swingby am Mars ist Rosetta von nun an auf das eigene Triebwerk angewiesen. Von der gesamten Wegstrecke im Sonnensystem von 7,1 Mrd. km sind nun 4,5 Mrd. km geschafft. Erwartungsgemäß gab es während der Erdpassage keinerlei Zwischenfälle technischer oder himmelsmechanischer Art, und der rein geometrische Moment verstrich im Kontrollzentrum ESOC

in Darmstadt auch ohne rechte Emotionen. Im Augenblick der Erdnähe hatte noch Funkkontakt über die ESA-Bodenstation in Australien bestanden, dann folgte eine kurze geplante Funkstille, bevor Maspalomas den künftigen Kometenorbiter um 9:05 MEZ am richtigen Ort wiederfand. Wie schon zuvor konnte auch dieser Planetenbesuch unterwegs für vielfältige Tests der Instrumente Rosettas an einem wohlbekanntem Himmelskörper genutzt werden: Insbesondere gelangen mit der Hauptkamera OSIRIS spektakuläre Aufnahmen der Erde nahezu im Gegenlicht und auf der Nachtseite. Daneben wurde aber auch penibel genau der Verlauf der Bahn in Erdnähe verfolgt: Vielleicht würde es ja zu einer jener mysteriösen »Flyby-Anomalien« kommen, bei denen manchmal eine Raumsonde geringfügig anders fliegt als die Keplerschen Gesetze verlangen – manchmal aber auch nicht. Noch ein letzter Flyby steht Rosetta am 10. Juli dieses Jahr bevor, wenn der große Asteroid Lutetia besucht wird. Danach wird die Sonde allerdings in einen langen Winterschlaf versetzt, während sie sich weit von der Sonne entfernt, um den Kometen lange vor dessen Perihel zu treffen.

■ Daniel Fischer

Wolken über dem Südpazifik, darunter ein markanter Antizyklon, wie sie die OSIRIS-Kamera auf Rosetta am 13. November 2009 bei ihrem letzten Anflug auf die Erde sah.



ESA ©2009 MPS für OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

Jupiter – Schutzschild oder Bedrohung?

Wie der Riesenplanet die Bahnen von Kleinkörpern im Sonnensystem beeinflusst

VON LARS.-C. DEPKA

Pünktlich zum 15. Jahrestag des Shoemaker-Levy 9-Impakts machte der Riesenplanet Jupiter vergangenen Sommer wieder mit einem ebenso überraschenden wie spektakulären Einschlagereignis auf sich aufmerksam. Anders als noch beim Einschlag von 1994 hinterließ dieses Mal wohl ein einzelner Körper – und nicht eine Kette von Objekten – bei seiner gewaltsamen Begegnung eine dunkle Wolke von der Größe des Pazifischen Ozeans über Jupiters Wolkenoberfläche.



ANTHONY WESLEY

Abb. 1: Am 19.7.2009 kam es zur großen Überraschung der Fachwelt zu einem nicht vorhergesagten Einsturz eines Körpers auf Jupiter. Verhindert der größte Planet des Sonnensystems, dass solche Körper auf der Erde aufschlagen, in dem er sie selbst »aufammelt«?

Narben auf der Erde

Auch das Antlitz der Erde ist von solchen Einschlägen gezeichnet. Einer der wohl spektakulärsten ist der Barringer-Krater im US-Bundesstaat Arizona. Diese im Durchmesser 1,2km große, 170 Meter

tiefe und von Wällen, die sich bis zu 50 Meter über das umliegende Terrain erheben, umgebene Narbe im Wüstenboden ist der sichtbare Überrest eines frühzeitlichen Einschlages. Als Auslöser wird ein wohl 50 Meter großer Nickel-Eisen-Körper angenommen, der vor ca. 50000 Jahren

mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern je Sekunde auf der Erdoberfläche aufschlug. Erst in den frühen 1900er Jahren zog man seitens der Wissenschaft erstmals einen solchen, durch Daniel Barringer vorgeschlagenen Ursprung in Betracht. Zuvor galten Krater wie der Barringer und ähnliche Objekte als Spuren vulkanischer Aktivität. Zweifelsfrei gelang die Beweisführung zum Ursprung des Meteoritenkraters dann in der ersten Hälfte der 1960er Jahre, und auch das Tunguska-Ereignis von 1908 macht die anhaltende Bedrohung, die von aus ihrer Bahn gedrängten Himmelskörpern für die Erde ausgeht, deutlich.

Schutzschild für das innere Planetensystem?

Fast schon traditionell wird dem neben unserem Zentralgestirn größten und massereichsten Körper im Sonnensystem eine wesentliche Schutzfunktion in Bezug

Abb. 2: Der Barringer-Krater in Arizona aus der Luft: mit 1,2km Durchmesser und 170m Tiefe ein eindrucksvolles Zeugnis eines Einschlags eines Meteoriten vor 50000 Jahren.



NASA EARTH OBSERVATORY

auf die Erde zugesprochen. Jupiter sei ein kosmisches Schild, das durch seine immensen gravitativen Einflüsse das innere Sonnensystem vor anfliegenden Kometen und Asteroiden schützt.

Die Idee, dass Planeten wie Jupiter das Impaktrisiko auf potentiell habitablen Planeten senken, ist seit etwa den 1980er Jahren weit verbreitet. Sie gründet sich auf Studien aus den 1950er und 1960er Jahren, die sich mit Impakten auf der Erde befasst hatten. Seinerzeit waren nur wenige erdnahe Asteroiden und eine überschaubare Menge kurzperiodischer Kometen bekannt: Die Mitglieder der Oort'schen Wolke galten als die gefährlichsten Objekte für die Erde und bei ihnen schien der Jupiter offensichtlich eine Art Schutzschildfunktion für das innere Sonnensystem auszuüben. Konkret untersucht wurde diese Vermutung indes nur erstaunlich selten.

1994 zeigte der Geophysiker George Wetherill (1925–2006), dass die mehr als 300-fache Erdmasse des Jupiters Kometen von einem potentiellen Kollisionskurs mit der Erde abbringen kann. Danach ist der überwiegenden Mehrzahl der Kometen aus der Oort'schen Wolke nur ein einziger Besuch der Sonne vergönnt, bevor sie auf ewig in den interstellaren Weiten des Raumes verschwinden. Ein Objekt der Oort'schen Wolke muss sich dem Jupiter gar nicht weit annähern, um in seinen Einflussbereich zu geraten und somit von der Sonne losgelöst seine Reise ohne Wiederkehr anzutreten. Bald gingen viele Astronomen wie selbstverständlich davon aus, dass die Erde ohne den Jupiter viel mehr Impakte verkraften müsste und dass dies gar den Gang der Evolution beeinflusst hätte. Und die Problematik kosmischer Einschläge wurde des Öfteren in Erinnerung gerufen, insbesondere durch die Shoemaker-Levy-Impakte auf Jupiter selbst.

Unterschätzte Gefahr

Die langperiodischen Kometen stellen jedoch nicht das größte Gefährdungspotential für unseren Planeten dar, sondern machen nur einige Prozent aller Himmelskörper aus, die auf die Erde stürzen können. Gefährlicher sind die erdnahen Asteroiden, die Near Earth Asteroids oder NEAs, die rund drei Viertel des Risikos ausmachen. Die Historie der Asteroiden und ihre Wahrnehmung in der Wissenschaft waren bis dahin im Vergleich zu der der Kometen weniger deutlich ausgeprägt gewesen. Tatsächlich war Ceres 1801 mit 1000km Durchmesser der erste entdeckte Asteroid. Doch sie blieb wahr-

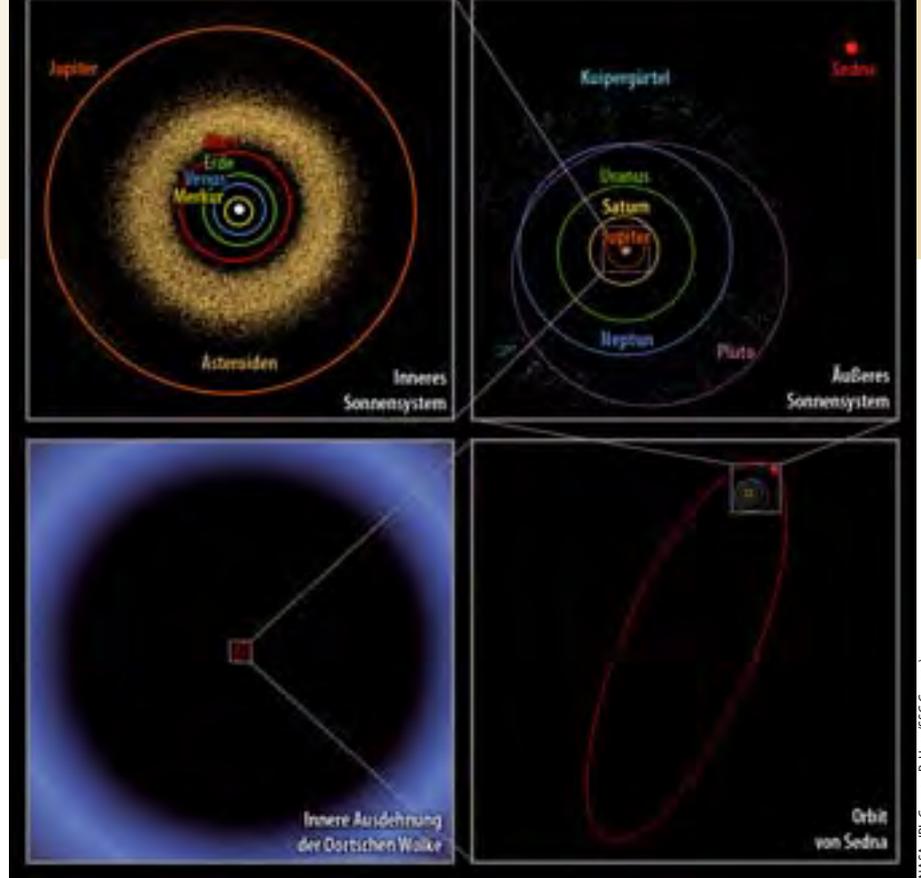


Abb. 3: Der Aufbau des Planetensystems von seinen innersten Bereichen (oben links) bis zur Oort'schen Kometenwolke.

lich nicht der einzige, heute weiß man von mehr als 300000 dieser Objekte und ihre Zahl schwillt mit monatlichen Steigerungsraten von 2000 bis 3000 außergewöhnlich an.

Die meisten von ihnen befinden sich im Asteroiden-Hauptgürtel zwischen den Bahnen der Planeten Mars und Jupiter und bedeuten generell kein erhöhtes Gefährdungspotential für uns, da sie selbst auf Zeitskalen von Milliarden Jahren stabile Orbits aufweisen. Sie halten genug bzw. den richtigen Abstand zum Masseresen Jupiter, so dass sie kaum Gefahr laufen, durch seinen Gravitationseinfluss auf Kollisionskurs zur Erde gelenkt zu werden.

Was aber, wenn zwei der Hauptgürtelobjekte in eine Kollision untereinander geraten? Die Bruchstücke einer solchen Begegnung können in bestimmte Zonen des Asteroidengürtels driften, die weit weniger stabil sind. Resonanzeffekte mit Jupiter machen hier ihre Bahnen chaotisch, ein plötzliches Ausbrechen aus dem Hauptgürtel ist jederzeit möglich, und sie können in für die Erde immer gefährlichere Orbits gelangen, bis sie schließlich das innere Sonnensystem erreichen. Einmal dort angekommen, bleiben diese neuen NEAs ein Spielball der Kräfte und beenden ihr Dasein entweder in einer Kollision mit der Sonne, einem Planeten, oder aber sie kommen einem massereicheren Körper in der Form nahe, dass sie – ähnlich einem Swing-By-Manöver – wieder aus dem Sonnensystem heraus beschleunigt werden.

Vor dem Hintergrund des mit knapp 32km größten NEA Ganymed wird klar, dass die Bruchstücke der Kollisionen innerhalb des Asteroidengürtels eine potentiell lebensbedrohende Situation für die Erde ausmachen können. Zu dieser Einsicht beigetragen haben nicht zuletzt auch automatisierte Suchprogramme wie LINEAR oder NEAT, die die NEAs auf die Position der als gefährlichsten anzusehenden Objekte rückten, und den Kometen der Oort'schen Wolke einen viel weniger starken Gefährdungsgrad zuteilten.

Wir müssen also von drei Objektgruppen ausgehen, die eine Bedrohung der Erde verkörpern:

- Kometen aus der Oort'schen Wolke
- Kometen aus dem Kuiper-Gürtel
- Near Earth Asteroids

Wie wirkt sich also die Anwesenheit des Jupiter auf die Bedrohung dieser Objekte für die Erde aus?

Eingefangen, hinauskatapultiert oder abgelenkt?

Am wirkungsvollsten schützt Jupiter seine kleineren Brüder und Schwestern natürlich dadurch, in dem er anfliegende Objekte durch seinen Masseinfluss aus dem Sonnensystem heraus schleudert und so die Gefahr eines Einschlages im inneren Sonnensystem von vornherein unterbindet. Hinzu kommt noch die Annahme, dass es sich bei dem Gasriesen um den neben der Sonne im Laufe der Geschichte

NASA, JPL-Caltech, R. Hurt (SSC-Caltech)

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

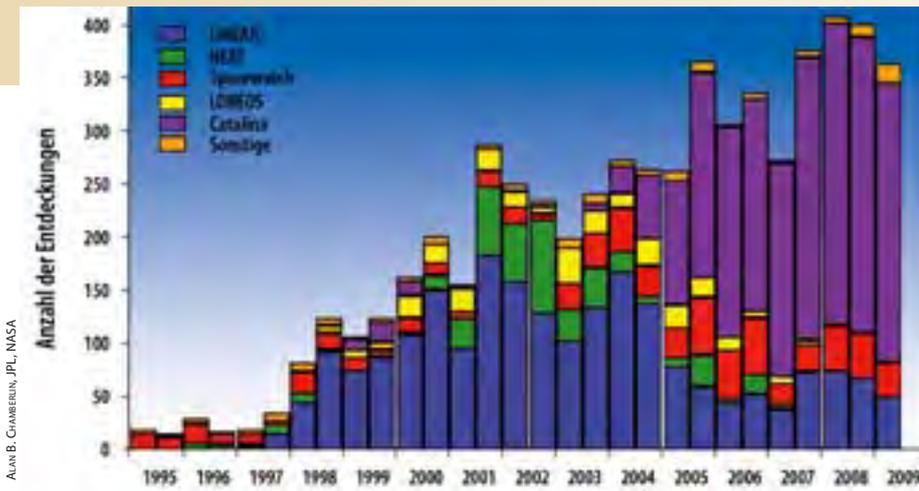


Abb. 4: Die Zunahme der Entdeckung von Near Earth-Asteroiden im Laufe der Jahre.

Abb. 5: Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die Kollisionsrate kurzperiodischer Kometen mit der Erde in Abhängigkeit des Alters des Sonnensystems für verschiedene Massen des Jupiter (links $0M_{Jup}$ bis $0,15M_{Jup}$, rechts $0,2M_{Jup}$ bis $1M_{Jup}$). Man erkennt aus beiden Grafiken, dass die meisten Kollisionen für einen hypothetischen Jupiter mit $0,15$ bis $0,2$ Jupitermassen auftreten [nach 1, 4].

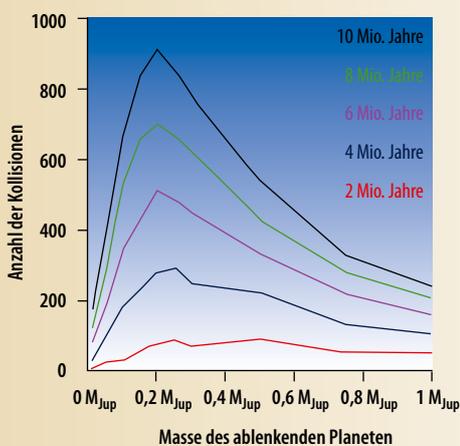
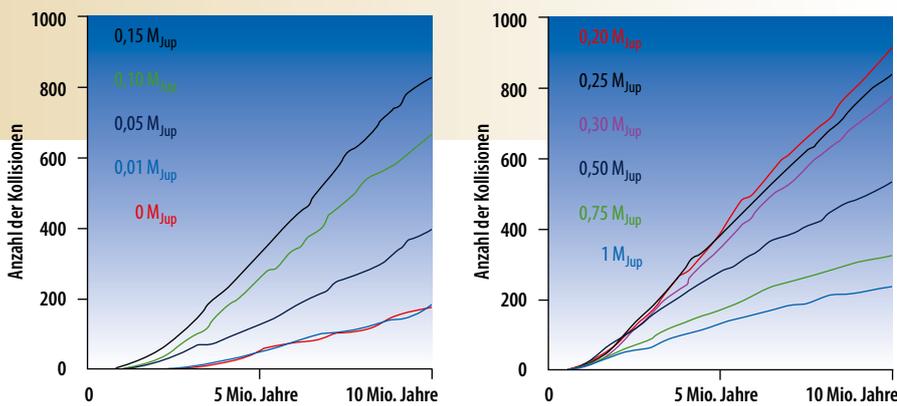


Abb. 6: Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die Kollisionsrate durch kurzperiodischer Kometen auf der Erde in Abhängigkeit der Masse eines hypothetischen Jupiter für verschiedene Alter des Sonnensystems von 2 Mio. Jahren bis 10 Mio. Jahre. Man erkennt deutlich, dass unabhängig vom Alter des Sonnensystems die meisten Kollisionen für einen hypothetischen Jupiter mit etwa $0,2$ Jupitermassen auftreten [nach 1, 4].

am häufigsten getroffenen Körper des Sonnensystems handelt. Während aktuell ein Treffer von Shoemaker-Levy-9-Ausmaßen auf der Erde nur alle paar Millionen Jahre angenommen wird, findet ein solches Ereignis auf Jupiter möglicherweise

auch heute noch im Jahrhundertrhythmus statt. Durch direkten physischen Kontakt und (weitaus häufiger) durch nahe Begegnungen mit ihm, die die Kometen aus dem Sonnensystem katapultieren, bewahrt der Jupiter die Erde und andere Mitglieder

des inneren Sonnensystems also eindeutig vor Gefahren, die von diesen Körpern ausgehen.

Jedoch existiert auch eine andere Seite der Medaille. Für jedes Objekt, Kometen wie Asteroiden gilt: Wollen sie der Erde gefährlich werden, müssen sie einen Orbit einnehmen, der wenigstens ein Mal die Erdbahn kreuzt. Und natürlich ist des Auswärtsschleudern eines Objektes durch Jupiter keine Einbahnstraße. Jede nahe Begegnung mit Jupiter birgt die statistisch ähnlich hohe Wahrscheinlichkeit, dass der Körper nicht aus dem Sonnensystem hinaus, sondern gegenteilig erst durch die enge Begegnung und dadurch hervorgerufene Bahnänderungen Richtung inneres Sonnensystem auf Kollisionskurs gelenkt wird. Insofern ist es folgerichtig, dass wenigstens einige der im Laufe der Erdgeschichte eingetretenen Impakte nicht stattgefunden hätten, wenn Jupiter nicht seine derzeitige Rolle gespielt hätte. Weitergehend ist anzunehmen, dass ein System ohne einen Planeten wie Jupiter an ähnlicher Stelle weitaus weniger kurzperiodische Kometen aufweisen würde.

Die Beurteilung, ob der Planet eher Freund oder Feind, oder aber ein berechnender Geschäftspartner ist, der gibt und nimmt, hängt von zwei wesentlichen Faktoren ab: Überwiegt der Schildeffekt oder wird die Impaktrate beispielsweise auf der Erde durch Jupiter derart erhöht, dass sie die von dem Planeten sicherlich auch ausgehende Schutzfunktion aufwiegt?

Planetensysteme im Modell

Eine Antwort versprechen Computersimulationen, wie sie erstmals um das Jahr 2005 durchgeführt wurden. Sie säten Zweifel an der Meinung, jupitergroße Planeten senkten in jedem Fall die Impaktrate in einem Planetensystem. Seit 2008 gehen die britischen Astronomen J. Horner und B. W. Jones der Frage ganz systematisch nach und haben sich der Reihe nach die NEAs, die kurz- und die langperiodischen Kometen vorgenommen. Jede Computersimulation kann das Sonnensystem jedoch nur in Teilaspekten erfassen, und gewisse Kompromisse sind unvermeidlich: So wurde etwa der Durchmesser der simulierten Erde künstlich vergrößert, um sie zu einer leichteren Zielscheibe zu machen – dafür mussten weniger Testasteroiden durch die simulierten Sonnensysteme fliegen, bei denen der Jupiter auf seiner Bahn blieb, seine Masse jedoch stark vari-

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

iert wurde. Zunächst nahm man sich den Asteroidengürtel als Hauptlieferant der Impaktoren vor, und das Ergebnis [1] war verblüffend: Ein Planet auf Jupiterbahn mit mehr als einer Jupitermasse machte kaum einen Unterschied, gab man ihm dagegen nur eine fünftel Jupitermasse, dann trafen doppelt so viele Asteroiden die Erde. Ein Planet mit 0,2 Jupitermassen lenkte zudem einerseits besonders effizient Asteroiden in den erdnahen Raum und war andererseits zu klein, um diese neuen Bahnen bald wieder wirksam zu stören. Mit nur noch einer hundertstel Jupitermasse am Ort von Jupiter lag die Impaktrate dagegen nur noch bei einem Drittel der tatsächlichen, d.h. mit Jupiter ist es auf der Erde 3,5 Mal so gefährlich, als wenn es keinen gäbe. Ein Schutzschild für innere Planeten ist ein Riesenplanet weiter draußen demnach wahrlich nicht.

Die zweite Arbeit beschäftigte sich mit den Zentauren, eisigen Köpern, deren Umlaufbahnen zwischen denen von Jupiter und Neptun liegen. Sie stammen aus dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel jenseits der Neptunbahn, sind aber auf instabile Bahnen etwas näher an die Sonne geraten und bilden die Elternpopulation der kurzperiodischen Kometen; etwa jeder dritte Zentaur wird zu einem solchen Kometen. Abermals wurde die simulierte Erde zu einer größeren Zielscheibe gemacht und die Masse Jupiters zwischen null und zwei variiert, während jeweils 10 Millionen Jahre lang das Verhalten dieser »Sonnensysteme« beobachtet wurde. Als potentielle Impaktoren wurden 104 Objekte des Sonnensystems ausgewählt, deren Bahnen nicht mehr im Edgeworth-Kuiper-Gürtel, aber noch weit außerhalb des Einflussbereichs von Jupiter liegen. Von jedem Objekt wurden zur Verbesserung der Statistik 1000 Kopien mit jeweils leicht abgeänderten Bahnparametern erzeugt, so dass mit insgesamt 107000 Testobjekten gerechnet werden konnte [2]. Jeder Treffer eines Planeten, bzw. jedes Verlassen des Systems reduzierte ihre Anzahl im Verlaufe der Simulationsrechnungen, die im Zuge dessen auch nicht wieder aufgefüllt wurde, bis das Ende der Lebensdauer des zu untersuchenden Systems erreicht war. Unterstellte man Jupiter einen ausschließlichen Schildereffekt, so müsste mit ansteigender Masse des Jupiter die Impaktrate auf der Erde abnehmen. Im umgekehrten Fall sollte bei der Annahme, dass Jupiter ausschließliche eine Bedrohung für das innere Sonnensystem darstellt, die Impaktrate mit steigender Masse des Jupiter ansteigen.

Kometenfamilien

Systematisch unterscheidet man innerhalb des Sammelbegriffs der Kometen zwei Familien, zum einen die Periodischen Kometen und ihre Gegenstücke, die **Aperiodischen Kometen**, die im Gegensatz zu den Periodischen Kometen aufgrund ihrer paraboloiden bzw. hyperboloiden Bahnen mit hinreichend hoher Wahrscheinlichkeit kein zweites Mal einen ihrer Bahnpunkte erreichen werden.

Innerhalb der **Periodischen Kometen** wird nunmehr zwischen Kurz- und **Langperiodischen Kometen** differenziert. Sie umlaufen mit statistisch verteilten Bahnneigungen die Sonne in mehr als 200 Jahren prograd, also in gleichem Umlaufsinn wie die Planeten, als auch in Gegenrichtung zu den Planetenbewegungen (retrograd). Die Exzentrizitäten ihrer Bahnen liegen nahe bei 1, trotzdem sind die Kometen in der Regel noch durch den Schwereinfluss der Sonne an sie gebunden. 1950 erregte J. H. Oort mit seiner Hypothese über die Herkunft der langperiodischen Kometen einiges Aufsehen. Er postulierte, dass das Sonnensystem von einer Wolke aus Kometenkernen umgeben sei, deren Anzahl er auf ca. 1 Billion schätzte. Zweifelsfrei direkt nachgewiesen ist die schalenförmige, sog. Oortsche Wolke, die sich in einem Abstand von 1,5Lj erstrecken soll, bislang noch nicht. Jedoch gibt es seither eine Vielzahl von belastbaren Indizien, so dass ihre Existenz als gesichert angesehen wird.

Bei den **Kurzperiodischen Kometen** (KPK) handelt es sich nunmehr um solche, die ihren Sonnenlauf in weniger als 200 Jahren absolvieren. Ihren Ursprung haben sie vermutlich im Edgeworth-Kuiper-Gürtel (vgl. interstellarum 50) – jener scheibenförmigen Region im Sonnensystem, die sich außerhalb der Neptunbahn in einer Entfernung von etwa 30 bis 50 Astronomischen Einheiten (AE) nahe der Ekliptik erstreckt, wengleich auch die durch gravitationsbedingte Einflüsse oftmals geänderten Bahnverläufe dies nicht immer direkt vermuten lassen. In ihm werden einige Zehntausend Trans-Neptun-Objekte (TNO) von wenigstens 100km Durchmesser vermutet, von denen man heute allerdings lediglich etwa 120 kennt. Zur allgemeinen Konfusion um die TNOs trägt der Umstand bei, dass der Ausdruck Kuiper-Gürtel-Objekt bzw. KBO für Kuiper Belt Object synonym für TNOs Verwendung findet.

Die kurzperiodischen Kometen bewegen sich zumeist prograd, ihre Inklination (Bahnneigung) liegt im Mittel bei etwa 20°, sie liegen also in der Nähe der Ekliptik. Bei einem besonderen Teil der kurzperiodischen Kometen liegt der größte Sonnenabstand (Aphel) in der Nähe der Jupiterbahn bei 5AE bis 6AE, wodurch sich ihre Bezeichnung in Jupiterfamilie, bzw. Jupiter Family of Comets (JFCs) ändern (nicht zu verwechseln mit der Jupitergruppe, besser bekannt unter der Bezeichnung Trojaner). Ferner betragen ihre Umlaufzeiten weniger als 20 Jahre. Es ist allgemein akzeptiert, dass es sich bei ihren Mitgliedern ursprünglich um langperiodische Kometen handelt, deren Bahnen durch den gravitativen Einfluss Jupiters verändert wurden. Die bekanntesten Mitglieder der Familie sind die Kometen Biela, Giacobini-Zinner und Pons-Winnecke.

Die Überraschung wiederholt sich

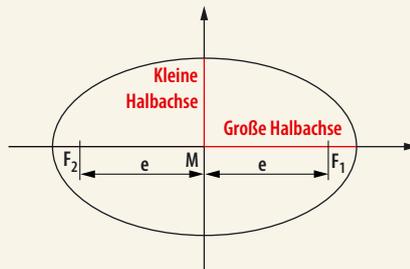
Weder das eine noch das andere war der Fall, stattdessen wiederholte sich im Wesentlichen das Bild, das sich schon bei den Asteroiden ergeben hatte: Während die Masse des Jupiter in den Simulationen ansteigt, ist zunächst auch eine erhöhte Impaktrate von Objekten aus dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel zu beobachten, die jedoch im weiteren Verlauf der Untersuchung signifikant wieder abfällt. Bei den Zentauren verursacht ein Planet von einer Jupitermasse eine ähnliche Impaktrate wie ein Planet der Jupitermasse Null, d.h. die Existenz oder Nichtexistenz Jupiters macht für die Erde praktisch keinen Unterschied.

Und abermals gäbe es die höchsten Einschlagraten und damit die potentiell gefährlichste Situation durch einen Planeten am Ort Jupiters mit 0,2 Jupitermassen: Rund viermal so viele Einschläge wie beim echten Jupiter wären die Folge. Wieder spielt eine Balance zwischen verschiedenen Effekten eine Rolle. Ohne Jupiter nimmt nur eine geringe Anzahl an Objekten einen erdkreuzenden Kurs ein und bei einem massearmen Jupiter kommen mehr, die er wiederum nicht besonders gut entfernen kann. Bei einem Planeten von mehr als einer Jupitermasse tritt jedoch eine deutlichere Abschirmwirkung auf, als es bei den Asteroiden der Fall war: Schon ein Zwei-Jupitermassen-Planet auf Jupiters

Bahnen der Kometen

Die (numerische) Exzentrizität oder auch Kreisbahnabweichung ist ein Wert, der die Geometrie der Umlaufbahn eines astronomischen Körpers beschreibt. Der Wert 0 entspricht dabei einer idealen Kreisbahn, Werte nahe 1 einer langgestreckten Ellipse und Werte über 1 einer Hyperbelbahn. Exzentrizitäten größer als 1 sind eher selten und werden vor allem durch Bahnstörungen bei der Passage an den großen Planeten hervorgerufen. Typischerweise verlassen Kometen, die einer Hyperbelbahn folgen, das Sonnensystem (sie werden zu Aperiodischen Kometen), allerdings könnte im Außenbereich des Sonnensystems schon die Einwirkung geringer Störkräfte von wenigen hundert Newton ausreichen, um aus dem beispielsweise hyperboloiden einen elliptischen Bahnverlauf zu machen.

Die numerische Exzentrizität einer Ellipse ist das Verhältnis der Entfernung e des Brennpunktes $F_{1/2}$ vom Mittelpunkt M der Ellipse zur großen Halbachse.



Bahn würde die Zahl der Einschläge kurzperiodischer Kometen auf der Erde halbieren. Zwar werden mehr Körper aus dem Sonnensystem heraus, aber auch mehr hinein gelenkt, doch warum sinkt dann die Einschlagrate auf der Erde? Dabei spielt die Zeitkomponente eine wesentliche Rolle. Denn durch den gestiegenen Masseneinfluss auf seine Umgebung erfahren die Objekte weitaus häufiger in weitaus kürzeren Zeitskalen Bahnkorrekturen, die sie schließlich in erhöhtem Maße wieder aus dem inneren Sonnensystem heraus in die Weiten des Alls führen. Die Körper haben also nicht genug Zeit, um auf der Erde Unheil anzurichten, denn bevor sie Gelegenheit erhalten, mit der Erde zu kollidieren, haben sie ihre fortlaufend veränderten

Bahnparameter schon wieder aus dem Gefahrenbereich herausgeführt. Saturn und erst recht Uranus und Neptun spielen wegen ihrer geringeren Massen übrigens keine nennenswerte Rolle.

In einer dritten Arbeit [3] wandten sich Horner und Jones sowie J. Chambers auch der dritten Klasse von Himmelskörpern zu, die mit der Erde zusammenstoßen können: den langperiodischen Kometen aus der Oortschen Wolke. Gegen diese Kometen bildet Jupiter tatsächlich einen spürbaren Schutz, denn sie sind nur so schwach ans Sonnensystem gebunden, dass schon ein kleiner Schwerkraftstoß während einer Reise ins innere Sonnensystem genügt, um sie los zu werden. Doch da sie zu der Gesamtzahl der Impaktoren

auf der Erde nur wenige Prozent beitragen (und Kometen aller Art zusammen nur ein Viertel), spielt die Abwehr der langperiodischen Kometen durch den Jupiter in der Bilanz kaum eine Rolle.

Brauchen wir einen Jupiter?

Summa summarum erhöht die Existenz des Jupiter die Impaktrate auf der Erde gegenüber einem jupiterlosen Sonnensystem. Vielleicht war die so zustande gekommene Impaktrate »gerade richtig« für die artenreiche Evolution des Lebens auf der Erde. Aber auch die Simulationsrechnungen sind noch nicht am Ende: Noch gar nicht untersucht wurde bisher, was Riesenplaneten unterschiedlicher Masse in unterschiedlichem Sonnenabstand und/oder mit unterschiedlicher Exzentrizität der Bahn bewirken. Auch soll noch untersucht werden, wie gut die drei diskutierten Reservoirs potenzieller Impaktoren in Abhängigkeit von Jupitermasse und -ort gefüllt sind. Die Frage der Schildfunktion von jupiterartigen Planeten in unserem und anderen Sonnensystemen sowie ihre Notwendigkeit bei der Entwicklung von Leben auf potenziell terrestrischen Planeten muss wohl neu beantwortet werden.

- [1] Horner, J., Jones, B. W.: Jupiter – friend or foe? I: the asteroids, *Int. J. of Astrobiology* 7, 251 (2008), www.arxiv.org/abs/0806.2795
- [2] Horner, J., Jones, B. W.: Jupiter – friend or foe? II: the Centaurs, www.arxiv.org/abs/0903.3305 (2009)
- [3] Horner, J., Jones B. W., Chambers, J.: Jupiter – friend or foe? III: the Oort cloud comets, www.arxiv.org/abs/0911.4381 (2009)
- [4] Horner, J., Jones, B. W.: Jupiter: friend or foe?, *Astronomy and Geophysics* 49, 22 (2008)

Welche Meteoroiden treffen auf die Erdoberfläche?

Täglich fallen auf die Erde 1000 bis 10000 Tonnen an interplanetarer Materie herab (vgl. Tabelle). Das meiste davon ist so winzig, dass es nicht einmal als Sternschnuppe zu sehen ist. Auch von den Sternschnuppen und Feuerkugeln verdampfen wegen ihrer enormen Geschwindigkeit von etwa 11,2km/s bis 72km/s – je nach Einfallswinkel zur Bahnbewegung der Erde – die meisten in etwa 80 Kilometern Höhe durch Luftreibung, wobei zunächst die Luftmoleküle ionisiert und bei der Rekombination von Elektron und Ion die Leuchtspuren hervorgerufen werden.

Viel seltener sind dagegen größere Objekte mit Massen von mindestens einigen Kilogramm, die unter Umständen nicht vollständig verglühen, als Meteorit auf der Erdoberfläche auftreffen und dort je nach Größe beträchtliche Krater hinterlassen können (z. B. das Nördlinger Ries oder der Barringer-Krater). Ob ein Körper die Erdoberfläche erreicht, hängt nicht nur von seiner Größe, sondern auch von seiner Dichte sowie seiner Geschwindigkeit außerhalb der Erdatmosphäre und seinem Einfallswinkel ab. Unter Mitarbeit von Wissenschaftlern des Lunar und Planetary Laboratory der Universität Arizona wurde ein Programm entwickelt, mit dem sich solche Einschläge und ihre Folgen (in Abhängigkeit vom Untergrund, in den das Projektil einschlägt) abschätzen lassen.

Der Erde nahe kommen entweder Asteroiden, die aus Gestein oder Eisen bestehen, oder Kometen, die hauptsächlich aus Eis bestehen. Typische Geschwindigkeiten, mit der Asteroiden die Erdatmosphäre erreichen, betragen 12km/s – 20km/s, während Kometen es bis auf 30km/s – 70km/s

bringen und damit praktisch die maximale mögliche Geschwindigkeit von 72km/s eines an die Sonne gebundenen Körpers auf der Erde erreichen.

Körper mit Durchmessern größer als etwa 1km und einer Masse, die größer als die Masse der verdrängten Atmosphäre beim Eindringen ist, werden abgesehen von ganz geringen Einfallswinkeln kaum von der Atmosphäre beeinflusst. Anders Körper, die kleiner sind: Sie werden in der ersten Flugphase in der Atmosphäre abgebremst und können zerbrechen, wenn der Staudruck der verdichteten Atmosphäre vor dem Meteoroiden größer wird als die Kräfte, die ihn zusammenhalten. Falls der Meteoroid aus unterschiedlichen Materialien aufgebaut ist, kann das Auseinanderbrechen sogar in mehreren Phasen geschehen. Der Druck, den ein Meteoroid aushält, ist proportional zur Wurzel seiner Dichte, weshalb Kometen leichter auseinanderbrechen als Eisenmeteoroiden. Der Vorgang des Auseinanderbrechens ist jedoch nicht gut verstanden. Dasselbe gilt für die Höhe, in der Meteoroiden auseinanderbrechen: Je höher die Anfangsgeschwindigkeit und je steiler der Einfallswinkel ist, umso tiefer dringen sie ein. Von kleinen Meteoroiden hingegen kann in der ersten Flugphase durch Erwärmung die Oberfläche soweit abgetragen werden, dass nichts mehr übrig bleibt.

Falls das Auseinanderbrechen des Meteoroiden in genügender Höhe über der Erdoberfläche geschieht, verteilen sich die Bruchstücke, da sie sich nach dem Auseinanderbrechen von der ursprünglichen Einfallsrichtung wegbewegen. Die kinetische Energie wird dann in der Atmosphä-

re freigesetzt und es entsteht eine entsprechende Druckwelle, die erheblichen Schaden anrichten kann. Andernfalls schlagen die Bruchstücke ein und bilden entweder einen gemeinsamen Krater oder ein Kraterfeld, je nachdem wie weit sie sich in der verbleibenden Flugzeit voneinander entfernt haben.

Selbst Kometen (aus Eis) mit Durchmessern von 1,5km und maximaler Geschwindigkeit von 70km/s zerbrechen noch in der Atmosphäre, wenn sie nahezu parallel zur Erdoberfläche (Einfallswinkel nahe Null) fliegen. Bereits ab Einfallswinkeln von 3° gelangen jedoch Bruchstücke zur Erde und bilden Krater, die ab Winkeln von 7° imposante Durchmesser von über 10km annehmen. Alle Eisenmeteoroiden und Steinmeteoroiden mit Durchmessern von etwa 1m–2m erreichen auch bei Parallelflug zur Erdoberfläche praktisch immer die Erdoberfläche. Größere Steinmeteoroiden hingegen zerbersten in der Luft, wobei jedoch nicht ausgeschlossen ist, dass größere Fragmente aufschlagen. Ab einer Größe von etwa 60m und Einfallswinkeln von über 70° erreichen die Bruchstücke jedoch stets die Erdoberfläche.

- [1] Collins, G. S., Melosh, H. J., Marcus, R. A.: Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth, *Meteoritics & Planetary Science* 40, 817 (2005)

Surftipp

Programm des LPL:
www.lpl.arizona.edu/impacteffects

Größen und Massen der Meteorite, die täglich die Erde treffen

Bezeichnung	Durchmesser des Ursprungskörpers	Masse	Gesamtmasse aller Objekte, die die Erde jeden Tag erreichen
Feuerkugeln, Boliden	>10mm	>2g	1t
Sternschnuppen (–4 ^m bis +6 ^m)	1mm – 10mm	2mg – 2g	5t
Teleskopische Meteore	0,1mm – 1mm	0,002mg – 2mg	20t
Mikrometeore	<0,1mm	<0,002mg	1000t – 10000t

Himmelsereignisse im Februar/März 2010

Rückkehr des Ringplaneten

Saturn in Opposition am 22. März

Der Ringplanet steht wieder im Mittelpunkt: Ende März erreicht Saturn seine beste Sichtbarkeit im Jahr 2010. Dabei steht er im Sternbild Jungfrau nahe des Sterns η Vir bei einer Deklination von $+2^\circ$ – die kommenden 16 Jahre wird Saturn nur noch südlich des Himmelsäquators zu beobachten sein.

Die Opposition tritt am 22.3. um 1:37 MEZ ein. Die Erdnähe wird bereits knapp zweieinhalb Stunden vorher mit 8,5AE bzw. 1,27 Milliarden Kilometern erreicht. Die größte Helligkeit tritt erst am 23.3. mit $0^m,5$ ein.

Nach der Ringkantenstellung im vergangenen Jahr blicken wir nun auf die Nordseite der Ringe. Die Ringöffnung beträgt jedoch nur $3,2^\circ$, die maximale Breite im Teleskop ist deshalb nur $2,4''$. Dieser Wert wird bis Ende Mai auf $1,2''$ abnehmen, um dann wieder bis zum Ende der Sichtbarkeit im Sommer anzusteigen.

2010 finden noch zahlreiche Erscheinungen der Saturnmonde statt, darunter auch einige gegenseitige Erscheinungen – diese sind in der Rubrik »Planeten aktuell« aufgelistet (S. 23).

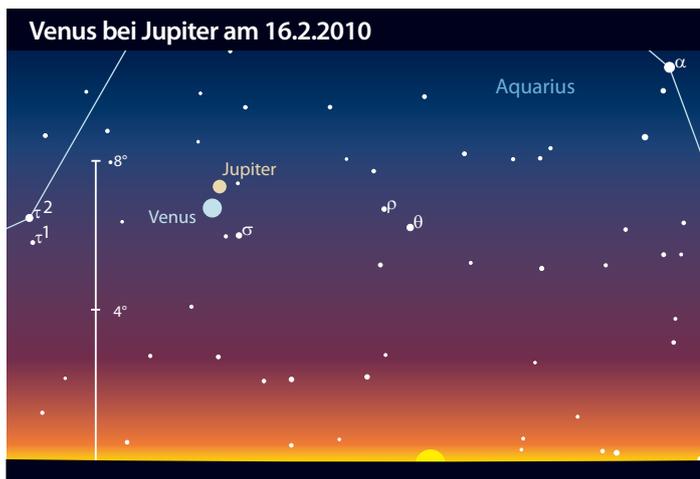
■ Ronald Stoyan

Saturn ist wieder da – im Gegensatz zu 2009 (Bild) blicken wir nun auf die Nordseite der sich wieder öffnenden Ringe.



THOMAS UND CLAUDIA WINTERER

Venus bei Jupiter am 16.2.2010



Venus begegnet Jupiter am 16. Februar

Anfang Februar bewegt sich die Venus scheinbar auf den Planeten Jupiter zu. In der Abenddämmerung des 16. Februar 2010 begegnen sich beide Planeten am Südwesthimmel. Dabei steht Jupiter ($-2^m,0$) rund $40'$ entfernt nördlich der hellen Venus ($-3^m,9$), die sich in den nachfolgenden Tagen dann wieder in östlicher Richtung von Jupiter entfernt. Wenn die Sonne untergeht, besteht nur ein sehr kleines Zeitfenster von rund 40 Minuten um diese Begegnung zu beobachten, bevor zuerst Venus und später Jupiter am Südwesthorizont verschwinden. Daher ist eine erfolgreiche Beobachtung der Begegnung am Taghimmel aussichtsreicher. Vorsicht ist jedoch mit der etwa 9° westlich stehenden Sonne geboten!

■ André Knöfel

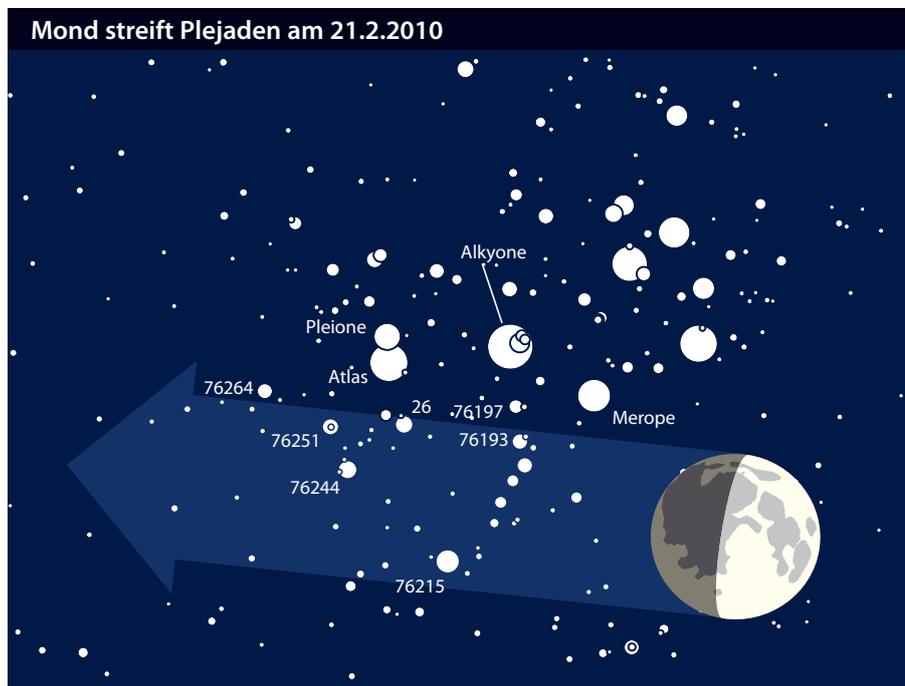
Mond streift Plejaden am 21. Februar

Zu einer wunderschönen Begegnung zwischen dem zunehmenden Halbmond und den Plejaden kommt es am Abend des 21. Februar. Zwischen 19 Uhr und 22 Uhr

MEZ zieht der Mond knapp südlich an M 45 vorbei. Von den helleren Plejadensternen wird lediglich 26 Tau bedeckt, es kommt aber zu Bedeckungen weiterer 6^m- und

7^m-Sterne der Sternkette im südlichen Teil des Sternhaufens, die teilweise streifend verlaufen.

■ Ronald Stoyan



Astronomische Ereignisse im Februar/März 2010		
6.2.	00:48:31 MEZ	Mond Letztes Viertel
14.2.	03:51:23 MEZ	Neumond
15.2.	00:18:52 MEZ	Neptun in Konjunktion
17.2.	03:00:00 MEZ	Venus bei Jupiter, Venus 32' südlich
18.2.	06:35:45 MEZ	Vesta in Opposition
21.2.	00:04:24 MEZ	Mond bedeckt ε Ari 4 ^m 6
21.2.	20:20:00 MEZ	Mond bedeckt Plejaden streifend
22.2.	01:42:27 MEZ	Mond Erstes Viertel
28.2.	00:22:52 MEZ	Mond bedeckt π Leo 4 ^m 9
28.2.	11:44:15 MEZ	Jupiter in Konjunktion
28.2.	17:37:57 MEZ	Vollmond
7.3.	02:12:00 MEZ	Mond bei Antares, Mond 34' nördlich
7.3.	16:41:52 MEZ	Mond Letztes Viertel
14.3.	14:16:25 MEZ	Merkur in Oberer Konjunktion
15.3.	22:01:10 MEZ	Neumond
17.3.	07:49:38 MEZ	Uranus in Konjunktion
20.3.	18:32:16 MEZ	Frühlingsanfang
22.3.	01:37:12 MEZ	Saturn in Opposition
23.3.	12:00:09 MEZ	Mond Erstes Viertel
25.3.	19:00:00 MEZ	Goldener Henkel (Mondjura) sichtbar
27.3.	03:07:03 MEZ	Mond bedeckt o Leo 3 ^m 8
30.3.	04:25:30 MEZ	Vollmond

Zeiten bezogen auf die Mitte des deutschen Sprachraums (Nürnberg)

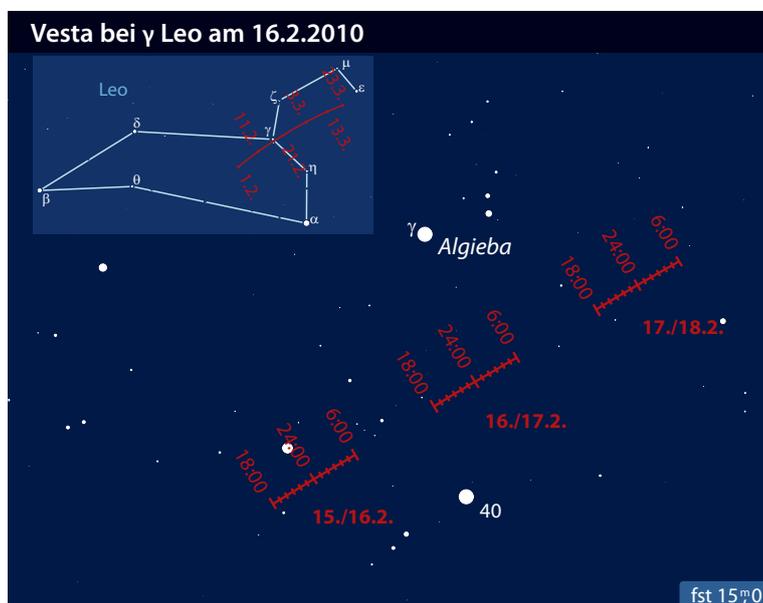
Bedeckung von Plejadensternen am 21.2.2010			
Stern	Helligkeit	Bedeckung	Bemerkung
SAO 76193	6 ^m 8	20:20:17 MEZ	streifend, nördliche Grenze Helgoland-Stettin
SAO 76215	5 ^m 5	20:47:55 MEZ	
SAO 76197	7 ^m 1	20:45:06 MEZ ¹	streifend, nördliche Grenze Biel-Bozen
26 Tau	6 ^m 6	21:14:17 MEZ	streifend, nördliche Grenze Aurich-Eisenhüttenstadt
SAO 76244	6 ^m 1	21:21:55 MEZ	
SAO 76251	6 ^m 7	21:40:39 MEZ	
SAO 76264	6 ^m 8	22:30:01 MEZ ²	streifend, nördliche Grenze Freiburg-Brixen

Zeiten für Nürnberg, falls nicht anders angegeben
¹ Zeit für St. Niklaus bei Merzlingen südlich von Biel ² Zeit für südlich Freiburg (47° 58' 40" N, 7° 52' 12" O)

Vesta in Opposition am 18. Februar

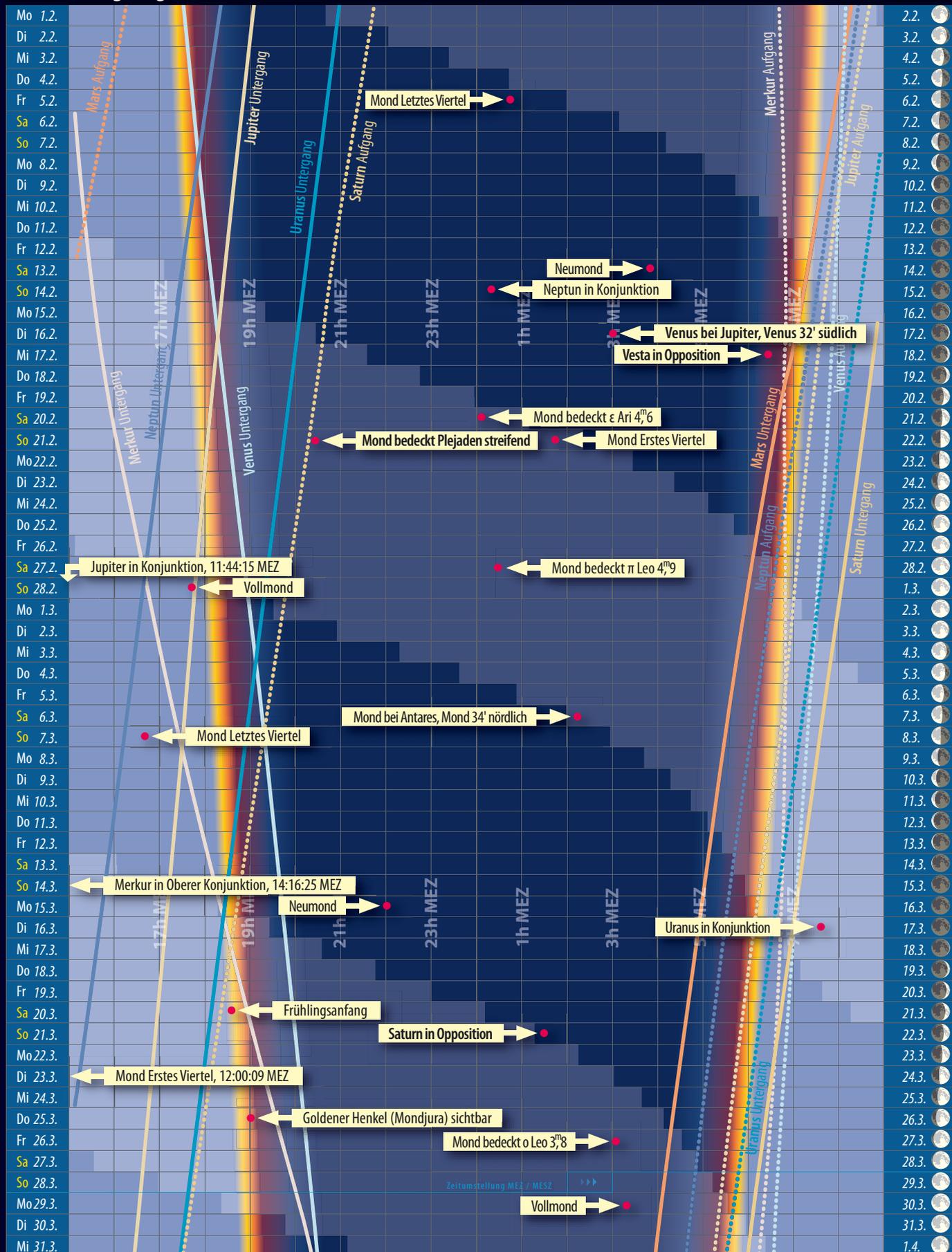
Am 18. Februar 2010 erreicht die rund 500km große Vesta ihre Oppositionsstellung im nördlichen Teil des Sternbildes Löwe. Dabei kommt sie auf eine Helligkeit von 6^m1 und ist damit zumindest theoretisch unter sehr guten Beobachtungsbedingungen auch mit bloßem Auge sichtbar. Bereits kleine Fernrohre und Ferngläser sollten es jedem ermöglichen, diesen Kleinplaneten mit der Nummer 4 auch einmal visuell zu beobachten. Eine gute Chance ergibt sich kurz vor der Opposition, wenn sich (4) Vesta in der Nacht vom 16. auf den 17. Februar genau zwischen den markanten Sternen Algieba (γ Leo, 2^m2) und 40 Leo (4^m7) hindurch bewegt und damit einfach aufzufinden ist. Vesta ist Ziel der amerikanischen Raumsonde Dawn, die den Asteroiden im August 2011 erreichen soll.

■ André Knöfel



Das Sonnensystem im Februar/März 2010

Dämmerungsdiagramm im Februar/März 2010



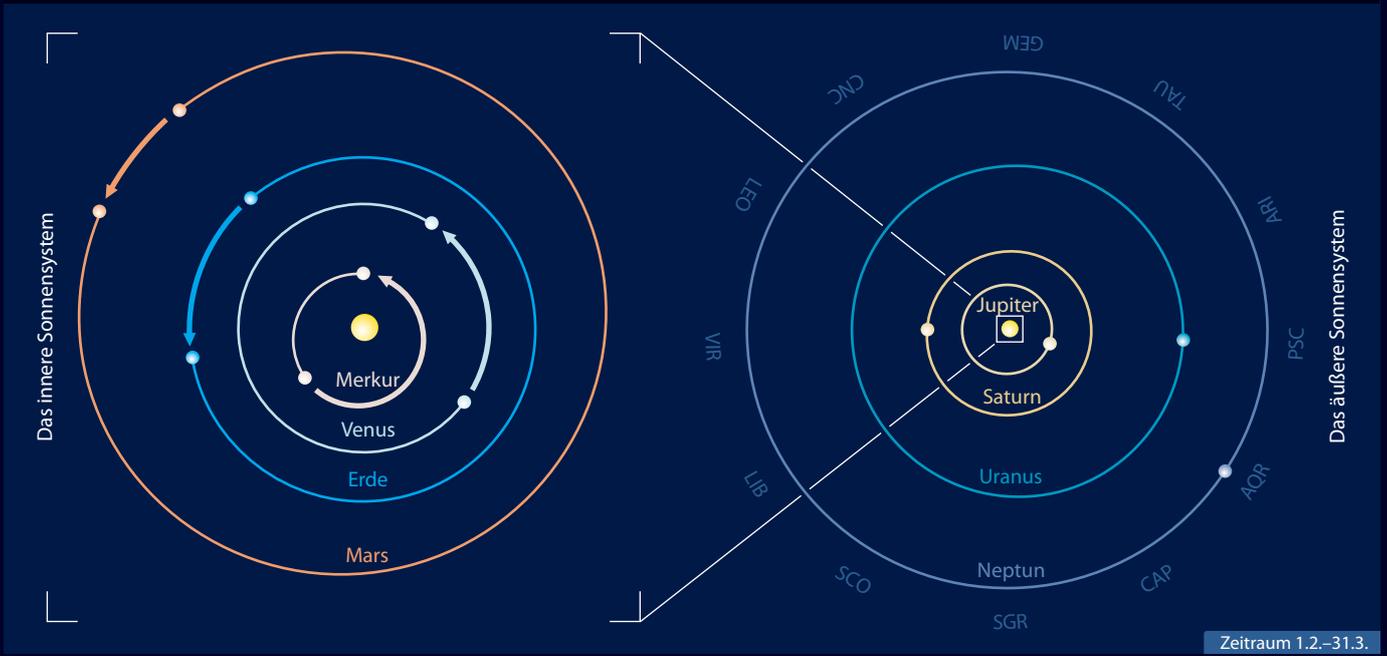
Der Lauf der Planeten im Februar 2010



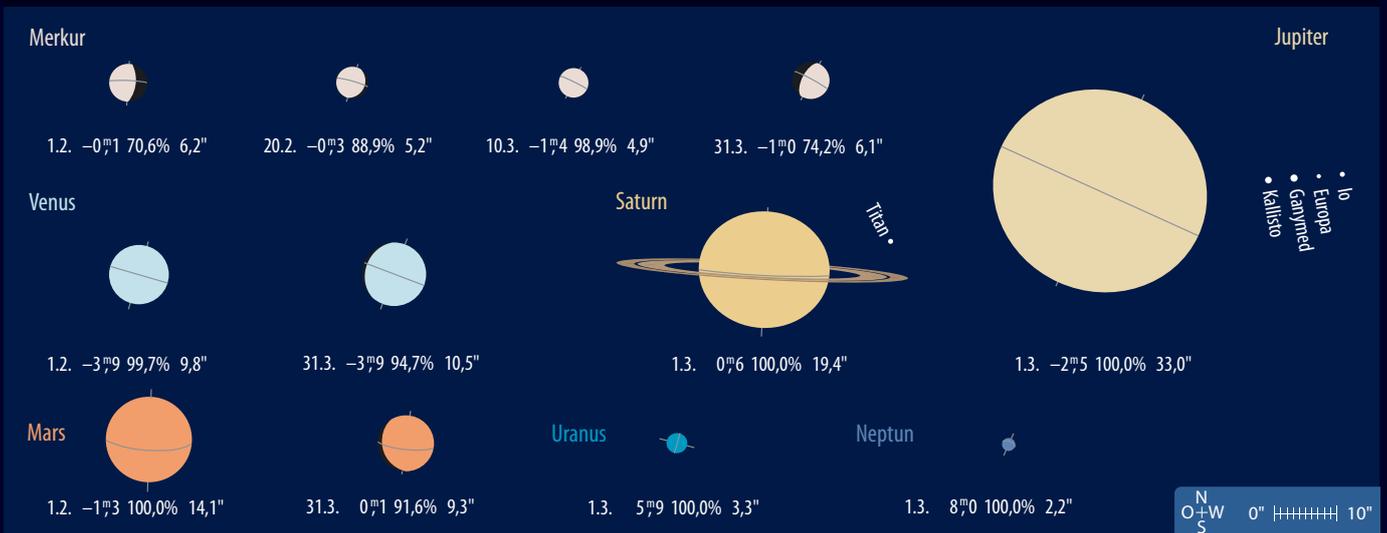
Der Lauf der Planeten im März 2010



Die Planeten auf ihren Bahnen im Februar/März 2010



Die Planeten im Fernrohr im Februar/März 2010



Sonne aktuell Vorwärts in kleinen Schritten

Nach dem fleckenlosen August 2009 ist die Sonnenaktivität in den folgenden Wochen in ganz kleinen Schritten und auf niedrigen Skalen wieder leicht angestiegen. Beendet wurde die fleckenlose Periode durch eine für nur einen Tag sichtbare kleine B-Gruppe. Ende September dann konnten gleich zwei Fleckengruppen zur selben Zeit (und noch dazu je eine pro Hemisphäre) beobachtet werden, die sich rasant entwickelten. Ein ähnliches Bild bot sich im Oktober: In den ersten Tagen war nur eine kleine Gruppe zu sehen, der wieder eine fleckenfreie Periode folgte. Aber ab dem 24.10.2009 erschien eine neue Fleckengruppe, die nicht nur recht ansehnlich war, sondern nach Beobachtungen des Sonnenobservatoriums Kanzelhöhe auch die Klasse D erreichte. In den ersten beiden Wochen des November waren dann schon fünf Gruppen der niedrigen Waldmeierklassen A und in einem Fall eine D-Gruppe zu verzeichnen. Blicken wir auf die Gesamtergebnisse der Monate September und Oktober, so ist hier ein kleiner, aber kontinuierlicher Anstieg zu erkennen.

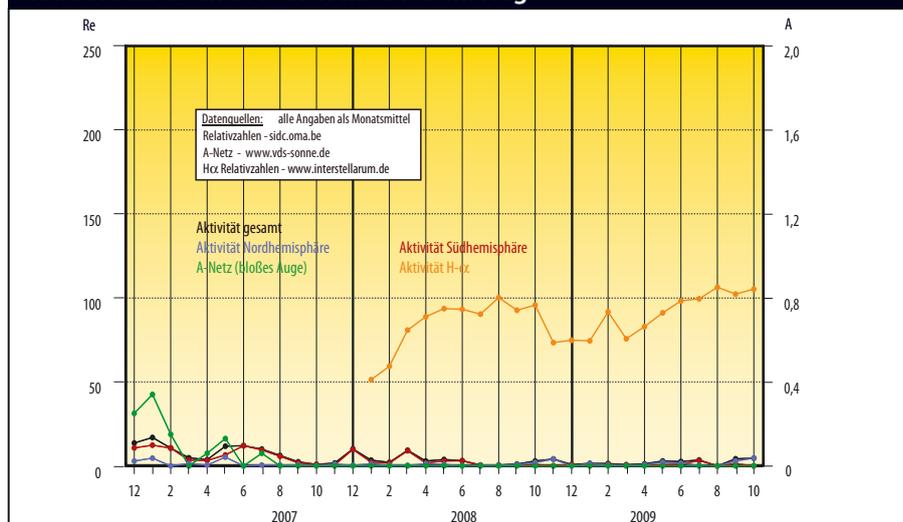
Dies spiegelt sich auch in den neuesten Prognosen des Marshall Space Flight Center wieder. Danach ist spätestens Anfang 2010 von einem kräftigen Anstieg der Sonnenaktivität auszugehen, der in einem eher mäßigen Maximum im Mai 2013 mit einer durchschnittlichen Maximumhöhe von 107,3 mündet. Je nach weiterer Entwicklung könnte sich das Maximum aber auch noch verschieben, das ist abhängig vom jetzt vor uns liegenden Anstieg: Fällt dieser sehr steil aus, würden wir ein hohes Maximum erhalten, das schon nach drei Jahren eintreten könnte. Allerdings spricht die prognostizierte Maximumhöhe eher für einen späteren als für einen früheren Zeitpunkt, da niedrige Maxima später eintreten als hohe. Deshalb könnte sich der Maximumzeitpunkt in das Jahr 2014 hinein verschieben. Das nächste Minimum würde dann in die Jahre um oder nach 2020 fallen.

Solange die Sonnenaktivität in den kommenden Monaten nicht deutlich ansteigt, werden die derzeit kursierenden Horrorszenerarien, nach denen 2012 mit extrem starken Sonnenstürmen zu rechnen sei, immer unwahrscheinlicher. Diese treten nämlich zu meist gehäuft um das Fleckenmaximum herum auf und sind stärker, je höher das Maximum ist. Vereinzelt können wie im Herbst 2003 Einzelereignisse auftreten, die zu schönen Polarlichtern führen, doch eine



Kleine Sonnenfleckengruppe am 25.10.2009. 3rd-Refraktor mit Solar Continuum Filter bei 5200mm Brennweite, 1/125s belichtet. *Erich Kopowski*

Relativzahlen und Flecken mit bloßem Auge



wirkliche Gefahr für die Erde stellen sie nicht dar.

In den nächsten Monaten wird die Zahl der einzelnen Aktivitätsgebiete zunehmen. Zunächst werden verstärkt unipolare Fleckengruppen der Waldmeierklassen A und B, die mit Penumbren ausgestalteten C-, D- sowie einpolige penumbrale H- und J-Gruppen zu sehen sein. Analog hierzu werden im H α -Licht vermehrt die Flares der niedrigen Klassen und wieder größere Protuberanzen am Sonnenrand erscheinen, die man vor der Sonnenscheibe als dunkle Filamente wahrnimmt. Deren Strukturen werden stetig komplexer, die Eruptionen intensiver. Bei einer Entwicklung wie der bislang vorhergesagten wird alles aber auf niedrigem Niveau ablaufen, denn extrem große Protuberanzen und heftige Ausbrüche der höchsten Röntgenklasse gibt es nur bei wirklich hoher Sonnenaktivität (die

F-Gruppen sogar erst danach). Und: Es wird nach dem Hauptminimum, das nach wie vor für Ende 2008 berechnet wurde, ein Nebenminimum geben, in dem die Aktivität für einen gewissen Zeitraum wieder zum Erliegen kommt; Einbrüche in der Aktivität nach dem Hauptminimum sind nämlich ebenso normal wie Anstiege nach dem Maximum.

■ Manfred Holl

Surftipps

Vorhersage der Sonnenaktivität:
solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml

Übersicht zur täglichen Sonnenaktivität:

www.solarmonitor.org

Beobachtung der Sonne:

www.strickling.net/astro.htm

Planeten aktuell Mars am Abend, Saturn am Morgen

Mars bestimmt den Abendhimmel im Februar und März. Die Opposition am 29. Januar ist gerade vorbei, so dass optimale Beobachtungsbedingungen herrschen – wäre der Rote Planet dieses Jahr nicht so klein an unserem Himmel. Der Scheibchendurchmesser nimmt von 14" auf 9" ab, so dass visuell hohe Vergrößerungen und fotografisch lange Brennweiten für brauchbare Ergebnisse vonnöten sind.

Im Blickpunkt stehen wird die Nordpolkappe, deren Abschmelzprozess in vollem Gange ist. Anfang März hat diese ein Stadium erreicht, bei dem eine dunkle Teilung der Polkappe sichtbar wird, die als Rima Tenuis bekannt ist (vgl. interstellarum 67). Der Abschmelzprozess wird sich gegen Ende März verlangsamen, da Mars am 31. März das Aphel seiner Bahn durchläuft, und die sog. »Aphelkälte« eine zwischenzeitliche Abkühlung des Frühlings auf der Nordhalbkugel des Mars erwarten lässt.

Jupiter ist in den Strahlen der Sonne verschwunden, hat aber im Spätherbst noch einmal für Aufregung gesorgt. Das Südliche Äquatorialband (SEB) verblasste deutlich, der Große Rote Fleck war im November bereits komplett von heller Materie umgeben. Im Oktober zeigte sich ein heller Fleck am Rand des GRF, der laut John Rogers von der Jupitersektion der BAA möglicherweise ein schon früher aufgetretenes Anzeichen des Verblasenden SEB sein könnte, denn er wurde schon 1990 und 1992/3 bei den besonders starken SEB-Fadings beobachtet. Der Fleck erschien besonders hell auf Bildern im Licht der Methanbande, was auf eine sehr hohe Wolkenobergrenze hindeutet. Beobachter dürfen gespannt sein, ob nach der Sonnenkonjunktion das SEB noch sichtbar sein wird, oder der Riesenplanet wie letztmalig 1993 nur mit einem von zwei Hauptbändern erscheint.

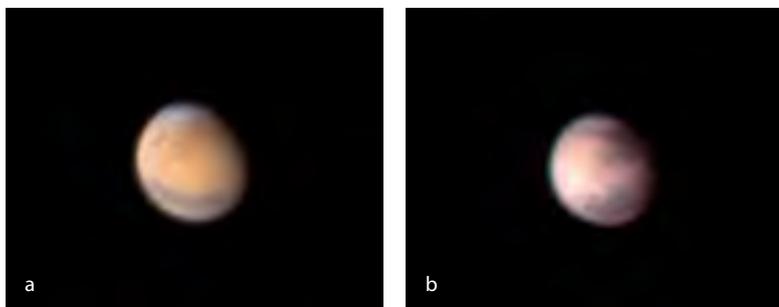


Abb. 1: Erste Mars-Ergebnisse aus dem Herbst 2009.

- a) 27.9.2009, 6:30 MESZ, 14"-SCT, Baader FFC, DMK 21, Astronomik RGB. *Mario Weigand*
 b) 17.11.2009, 5:30 MEZ, 10"-Cassegrain bei 7200mm, Basler scout, RGB-Filter. *Torsten Edelmann*

Abb. 2: Drei mal Jupiter im September 2009. 10"-Cassegrain bei 7200mm, Basler scout scA640-120, L-RGB-Filter. *Torsten Edelmann*

- a) 9.9.2009, 23:25:00 MESZ
 b) 20.9.2009, 21:43 MESZ
 c) 27.9.2009, 22:42 MESZ



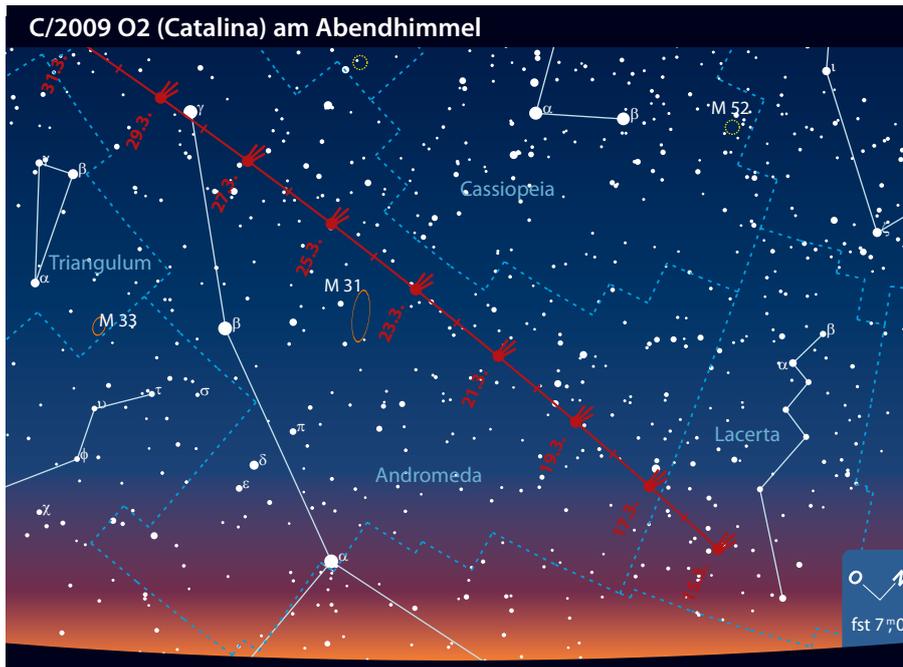
Ereignisse mit Saturnmond Rhea

Datum	Ereignis	Beginn	Ende
3.2.	Bedeckung	–	22:46:32 MEZ
6.2.	Schattendurchgang	00:45:34 MEZ	04:16:25 MEZ
6.2.	Durchgang	02:27:05 MEZ	04:57:53 MEZ
12.2.	Bedeckung	–	23:35:02 MEZ
15.2.	Schattendurchgang	01:41:31 MEZ	05:09:26 MEZ
15.2.	Durchgang	03:04:51 MEZ	05:46:03 MEZ
22.2.	Bedeckung	–	00:22:14 MEZ
24.2.	Schattendurchgang	02:37:44 MEZ	06:02:33 MEZ
24.2.	Durchgang	03:40:41 MEZ	–
2.3.	Verfinsterung	21:20:30 MEZ	–
3.3.	Bedeckung	–	01:08:06 MEZ
5.3.	Schattendurchgang	03:34:14 MEZ	–
5.3.	Durchgang	04:15:24 MEZ	–
11.3.	Verfinsterung	22:17:14 MEZ	–
12.3.	Bedeckung	–	01:52:44 MEZ
14.3.	Schattendurchgang	04:31:02 MEZ	–
14.3.	Durchgang	04:49:43 MEZ	–
18.3.	Schattendurchgang	–	20:15:42 MEZ
18.3.	Durchgang	–	20:24:41 MEZ
20.3.	Verfinsterung	23:14:18 MEZ	–
21.3.	Bedeckung	–	02:36:24 MEZ
27.3.	Durchgang	–	21:07:54 MEZ
27.3.	Schattendurchgang	–	21:09:09 MEZ
30.3.	Bedeckung	00:51:17 MESZ	–
30.3.	Verfinsterung	–	04:23:22 MESZ

Saturn zeigt sich mit wieder geöffnetem Ring in Opposition am 21. Februar (vgl. S. 18). Es kommt wieder zu Erscheinungen der Saturnmonde, wobei mitteleuropäische Beobachter abermals alle Ereignisse mit Titan verpassen. Für große Amateurinstrumente erreichbar sind jedoch die Ereignisse mit Rhea, die einige Bedeckungen, Durchgänge, Schattenwürfe und Verfinsterungen zeigt.

■ Ronald Stoyan

Kometen aktuell **Drei Schweifsterne für Amateurfernrohre**



Seit 2003 wird im Rahmen des Catalina Sky Surveys nach potentiell gefährlichen erdnahen Asteroiden und Kometen gesucht. Bei dem Projekt handelt es sich um eine Zusammenarbeit der Observatorien auf dem Mt. Lemmon in den Catalina Mountains (Arizona) und dem Siding Spring Observatorium im Südosten Australiens. Pro Jahr werden dabei rund 500 sog. Near-Earth-Objects (NEOs) entdeckt, der Großteil davon sind Asteroiden. Insgesamt wurden aber auch bereits etwa 80 Kometen gefunden, von denen etwa 20 unter dem Namen Catalina geführt werden. Keines dieser Objekte wurde bisher sonderlich hell und damit für Amateurbeobachter interessant. Nun könnte eine Entdeckung vom Juli 2009, **C/2009 O2 (Catalina)**, Ende März eine maximale Helligkeit von zumindest $9^m,0$ erreichen. Die kurze, aber interessante Beobachtungsphase für diesen Kometen beginnt ab Mitte Februar. Zunächst ist C/2009 O2 am Morgenhimmel noch recht tief im Osten zu finden. Er wandert am Rand der Milchstraße durch die Sternbilder Adler, Delphin und Füschen Richtung Norden. Die Helligkeit dürfte rasch von etwa $12^m,0$ auf $11^m,0$ zum Monatsende ansteigen. Bedingt durch die Erdnähe führt die Bahn des Kometen im Lauf des Monats März rasch über den nördlichen Himmel, wobei er zur Monatsmitte vom Morgen-

himmel an den Abendhimmel wechselt. Für Standorte im nördlichen Deutschland wird der Schweifstern in der zweiten Monathälfte im Sternbild Andromeda sogar zirkumpolar. Die maximale Helligkeit wird der Komet rund um den 25. März erreichen, wenn Erd- und Sonnennähe im Abstand von nur zwei Tagen aufeinander folgen. Um diese idealen Bedingungen zu vervollständigen, wird gleichzeitig auch die maximale nördliche Deklination von $+44^\circ$ erreicht. Zu dieser Zeit befindet sich Komet Catalina nur etwa $1\frac{1}{2}^\circ$ nördlich der Andromedagalaxie M 31 und dürfte zwischen $8^m,5$ und $9^m,0$ hell sein. Zum Monatsende wird er das Sternbild Andromeda dann in Richtung Perseus verlassen.

Für **81P/Wild** beginnt im Februar und März ebenfalls die beste Beobachtungszeit. Anfangs ist der Komet noch ein Objekt der zweiten Nachthälfte. Er bewegt sich nahe der Ekliptik durch das Sternbild Jungfrau, an dessen Hauptstern Spika der Schweifstern zur Monatsmitte nur wenige Grade entfernt vorbeizieht. Im Lauf des Monats verlegen sich die Aufgänge des Kometen auf vor Mitternacht und die Helligkeit steigt von $9^m,5$ auf etwa $9^m,0$. Das Perihel durchläuft 81P am 22. Februar in 1,60AE Abstand, bis zur Erdnähe im April sollte die Helligkeit aber noch weiter ansteigen. Im März kann der Schweifstern dann schon fast



Abb. 1: Komet C/2007 Q3 (Siding Spring) nahe der Galaxie M 88 am 22.11.2009, CCD-Aufnahme, 10"-Astrograph bei 950mm, Sigma 6303, 4x240s. Michael Jäger ▲

Abb. 2: Komet C/2006 W3 (Christensen) am 21.9.2009, CCD-Aufnahme, 3,5"-Refraktor bei 500mm, Canon 450D, ISO 1600, 16x5min. Norbert Morzek ▲

die ganze Nacht über beobachtet werden und bei einer Helligkeit von vielleicht $8^m,5$ wird 81P am dunklen Nachthimmel ein leichtes Beobachtungsziel werden. Gegen Monatsende verlangsamt sich die Bewegung des Kometen und er setzt zu einer Oppositionsschleife an. Diese führt ihn in Richtung des Sterns ι Vir, nahe dem er Ende des Monats seine Laufrichtung umkehrt.

Anfang Februar kommt **C/2007 Q3 (Siding Spring)** in Erdnähe. Er ist bereits seit seinem Perihel im Oktober 2009 in Reichweite kleinerer und mittlerer Instrumente. Der Komet befindet sich im Sternbild Bootes, wo er steil Richtung Norden wandert und bald zirkumpolar wird. Die Helligkeit könnte etwa $10^m,0$ betragen, nimmt jetzt aber stetig ab.

Über aktuelle und überraschende Ereignisse am Kometen-Himmel werden Sie im interstellarum-Newsletter informiert.

■ Burkhard Leitner

Surftipps

Monats- und Jahresübersichten, Aufsuchkarten, Bilder:

www.kometarium.com

Aktuelle Neuigkeiten, Bilder,

Beobachtungen: kometen.fg-vds.de

Historisches zu 81P/Wild: cometography.com/pcomets/081p.html

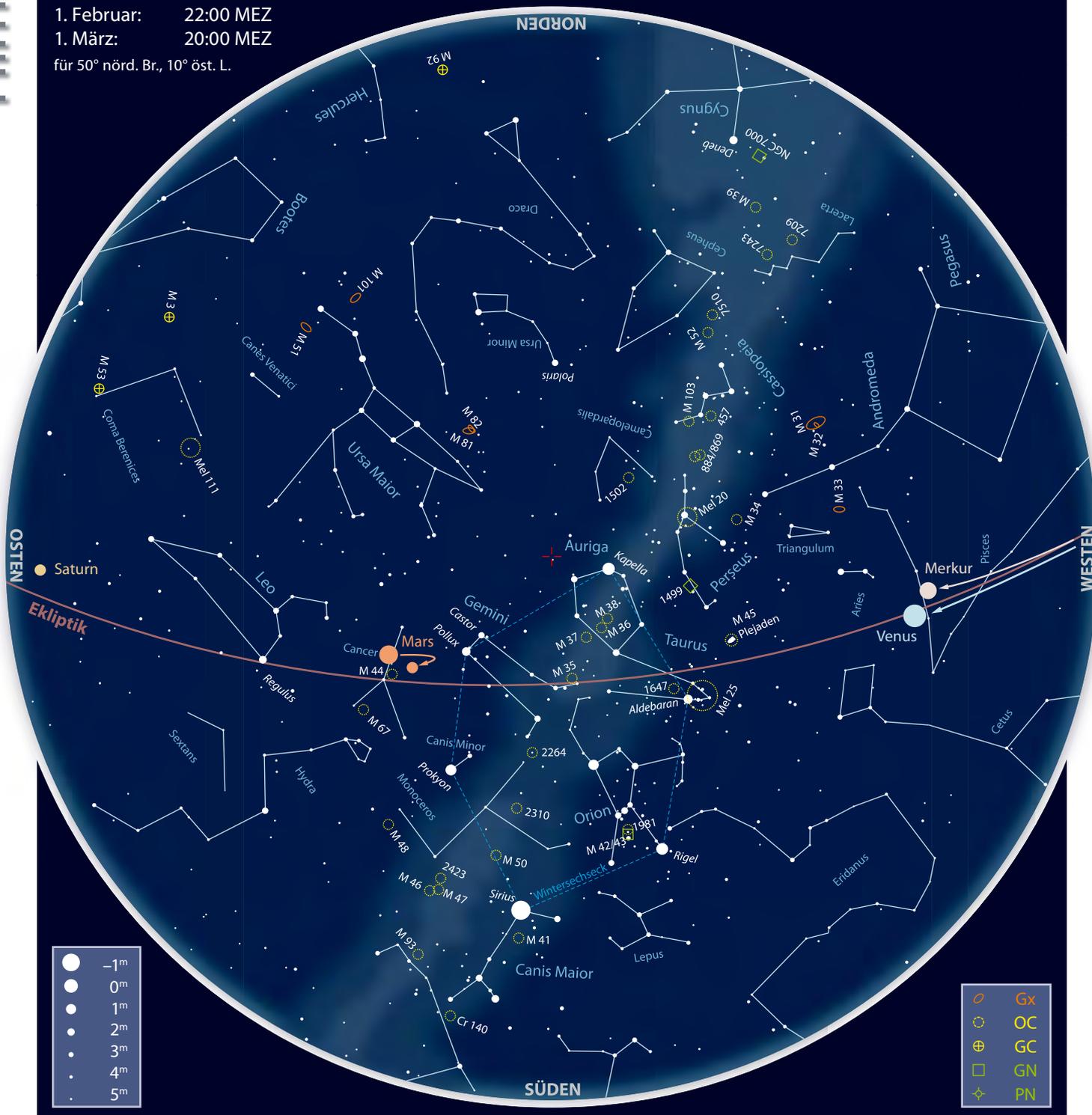
interstellarum-Newsletter: www.oculum.de/interstellarum/newsletter.asp

Kometen im Februar/März 2010

Name	Entdeckung	Perihel	Erdnähe	Beobachtungsfenster	erwartete Helligkeit
C/2007 Q3 (Siding Spring)	25.8.2007	7.10.2009 (2,25AE)	2.2.2010 (2,19AE)	Oktober 2009 bis April 2010	10^m-12^m
81P/Wild	6.1.1978	22.2.2010 (1,60AE)	5.4.2010 (0,67AE)	Dezember 2009 bis Juni 2010	9^m-10^m
C/2009 O2 (Catalina)	25.8.2007	24.3.2010 (0,69AE)	26.3.2010 (0,81AE)	Februar bis April 2010	9^m-12^m

Der Sternhimmel im Februar/März 2010

1. Februar: 22:00 MEZ
 1. März: 20:00 MEZ
 für 50° nörd. Br., 10° öst. L.



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

Beobachtungsempfehlungen für Februar/März								
Name	Empfehlung für	Typ	R. A.	Dekl.	Helligkeit	Größe	Entfernung	DSRA/Uran.
Collinder 65	bloßes Auge	OC	5 ^h 25,9 ^m	+16° 5'	3 ^m 0	219'	1010Lj	—/—
Collinder 70	Fernglas	OC	5 ^h 35,6 ^m	-1° 5'	0 ^m 6	149'	1400Lj	17/225, 226
M 93	Teleskop	OC	7 ^h 44,5 ^m	-23° 51,2'	6 ^m 2	22'	3400Lj	26/320
NGC 2440	Teleskop	PN	7 ^h 41,9 ^m	-18° 12,5'	9 ^m 1	0,3'	3590 – 7190Lj	26/319
Beteigeuze (α Ori)	bloßes Auge, Digitalkamera	Vr	5 ^h 55 ^m 10 ^s	+7° 24' 25"	0 ^m 6	—	430Lj	17/181

Unbekannte Winterschätze

Astronomie mit bloßem Auge Collinder 65

Die meisten Deep-Sky-Objekte sind mit dem bloßen Auge nicht oder nur sehr schwach zu sehen – und mit der Größe des eingesetzten Fernrohrs verbessert sich deren Erkennbarkeit immens. Doch es gibt wenige Ausnahmen, bei denen dies paradoxerweise umgekehrt ist: Am besten sind diese freiäugig sichtbar, mit einem kleinen Feldstecher noch erkennbar – im großen Teleskop ist dagegen keine Spur mehr von ihnen zu sehen.

Der riesige Offene Sternhaufen Collinder 65 an der Grenze zwischen den Sternbildern Stier und Orion ist solch ein Objekt. Da er aus wenigen, dafür aber recht hellen Sternen besteht, erscheint er für das bloße Auge als zwar relativ unauffälliges, aber auch nicht gerade schwieriges Objekt. Im kleinen Fernglas ist sein Haufencharakter noch zu erahnen, aber nur, wenn man weiß, dass es sich nicht um eine zufällige Sternansammlung handelt. Mit dem Teleskop erreicht man kein so großes Sehfeld, um Cr 65 auch nur teilweise zu überblicken. Im Gegensatz zu seiner unscheinbaren Gestalt und – wohl daraus resultierend – dem geringen Bekanntheitsgrad unter Amateurastronomen ist der Sternhaufen ein relativ gut erforschtes Objekt. Per Collinder entdeckte ihn fotografisch und nahm ihn in den 1931 im Rahmen seiner Dissertation er-



Das Sternbild Orion besticht nicht nur durch die prägnante Anordnung der hellsten Sterne, sondern auch durch zahlreiche schon mit bescheidenen Mitteln sichtbare Sternhaufen und Nebel. *Peter Wienerroither*

schienenen Katalog Offener Sternhaufen auf. Seine Trümpler-Klassifikation ist II3p, also ein schwach konzentrierter Haufen mit wenigen Sternen unterschiedlicher Helligkeit. Neueren Forschungen zufolge beträgt sein Alter etwa 25 Mio. Jahre und seine Entfernung 1010 Lichtjahre. Damit zählt er zu den jüngeren und vergleichsweise nahen Offenen Sternhaufen.

Laut Katalog beträgt die Größe des Sternhaufens 219', also fast 4°. Er befindet sich nahezu in der Mitte zwischen ζ Tau und λ Ori

und besteht im wesentlichen aus Sternen der Helligkeit zwischen 5^m0 und 6^m0. Von der Form her bildet er freiäugig einen riesigen Halbkreis von Norden über Westen nach Süden, dem im Westen eine Linie nach Osten entspringt. Der Autor erblickt darin die Figur eines Halbmondes mit langer Nase, vielleicht sehen andere einen liegenden Pilz. Je nach Himmelsgüte sollten ab einer Grenzgröße von 5^m5 etwa 10–15 Sterne freiäugig erkennbar sein.

■ Kay Hempel

Astronomie mit dem Fernglas Orions Gürtelsterne

1931 veröffentlichte die Sternwarte im schwedischen Lund eine Arbeit des Astronomen Per Collinder über die »Struktur von Offenen Sternhaufen und deren räumliche Verteilung in der Galaxis«. Die Abhandlung umfasst auch eine Liste von 471 Offenen Sternhaufen – heute bekannt als der Collinder-Katalog. Die Nummer 70 der Liste (Cr 70) ist im Prinzip jedem Sternfreund ein Begriff, weniger als Sternansammlung, jedoch viel mehr als das markante Zentrum des Sternbilds Orion: dem »Gürtel« des Himmelsjägers mit den drei hellen Sternen Alnitak (ζ Ori), Alnilam (ε Ori) und Mintaka (δ Ori). Insgesamt zählen auf einer Fläche von 3° × 1° wenigstens 100 Sterne mit Helligkeiten von 7^m bis 9^m zu der Sternansammlung in 1400 Licht-

jahren Entfernung. Nach Trümpler ist Cr 70 als Typ II3m klassifiziert, also ein Sternhaufen mit schwacher Konzentration, einer gleichmäßigen Verteilung der Sternhelligkeiten über einen bestimmten Bereich und einer mittleren Anzahl von Mitgliedern. Aufgrund seiner großen Ausdehnung ist Collinder 70 das ideale Objekt für das Fernglas, denn für die Beobachtung sind ein großes Sehfeld und eine geringe Vergrößerung gefragt. Erst ein genügend großes »Umfeld« von etwa dem Doppelten des Sternhaufendurchmessers bringt die optimale ästhetische Wirkung. Bestmöglich dafür ist z.B. ein 7×50-Fernglas mit 7° Sehfeld oder mehr geeignet. Beträgt das Sehfeld des Fernglases allerdings nur 4° und weniger, geht der Sternhaufeneindruck

der weitläufigen Gruppe schnell verloren. Ein guter Kompromiss stellt ein 10×50-Fernglas mit typischen 5° bis 6° Sehfeld dar. Ein solches Instrument zeigt mehrere Dutzend meist weißlich leuchtender Sonnen, die sich in geschwungenen Linien um die drei Gürtelsterne herum anordnen. Doch auch ein tieferer Blick in den Sternhaufen, z.B. auf die Mehrfachsternsysteme δ Ori und σ Ori ist lohnend. Der zwischen 2^m0 und 2^m2 variierende Bedeckungsveränderliche Mintaka wird umkreist von einem 6^m8 hellen Begleiter in 53" Abstand. Entdeckt wurde seine Veränderlichkeit im Jahre 1834 von Wilhelm Herschel. Aufgrund des großen Helligkeitsunterschieds ist es schwierig das Paar in einem Fernglas mit 8-facher Vergrößerung zu trennen. Sicher ge-



Orions Gürtelsterne und der sie umgebende Offene Sternhaufen Cr 70 im 7x50-Fernglas, Sehfeld ca. 6°.

lingt dies bei 10-facher Vergrößerung und der Verwendung eines Stativs. Insgesamt besteht das Sternsystem aus vier Komponenten. Nur wenig unterhalb des östlichen Gürtelsterns Alnitak befindet sich mit σ Ori sogar ein 5-fach-Sternsystem. Im 50mm-Fernglas als Doppelstern zu erkennen ist die 6^m,3 helle E-

Komponente in einer Distanz von 41" zur 3^m,7 hellen Hauptkomponente A. Die Sichtung weiterer Begleiter ist selbst für die Beobachtung mit einem Großfernglas eine Herausforderung. Die 6^m,6 helle Komponente D ist 12,7" entfernt, die 8^m,8 helle Komponente C sogar nur 11,5". Für eine mögliche Trennung ist deshalb eine hohe Vergrößerung von mindestens 20-fach erforderlich.

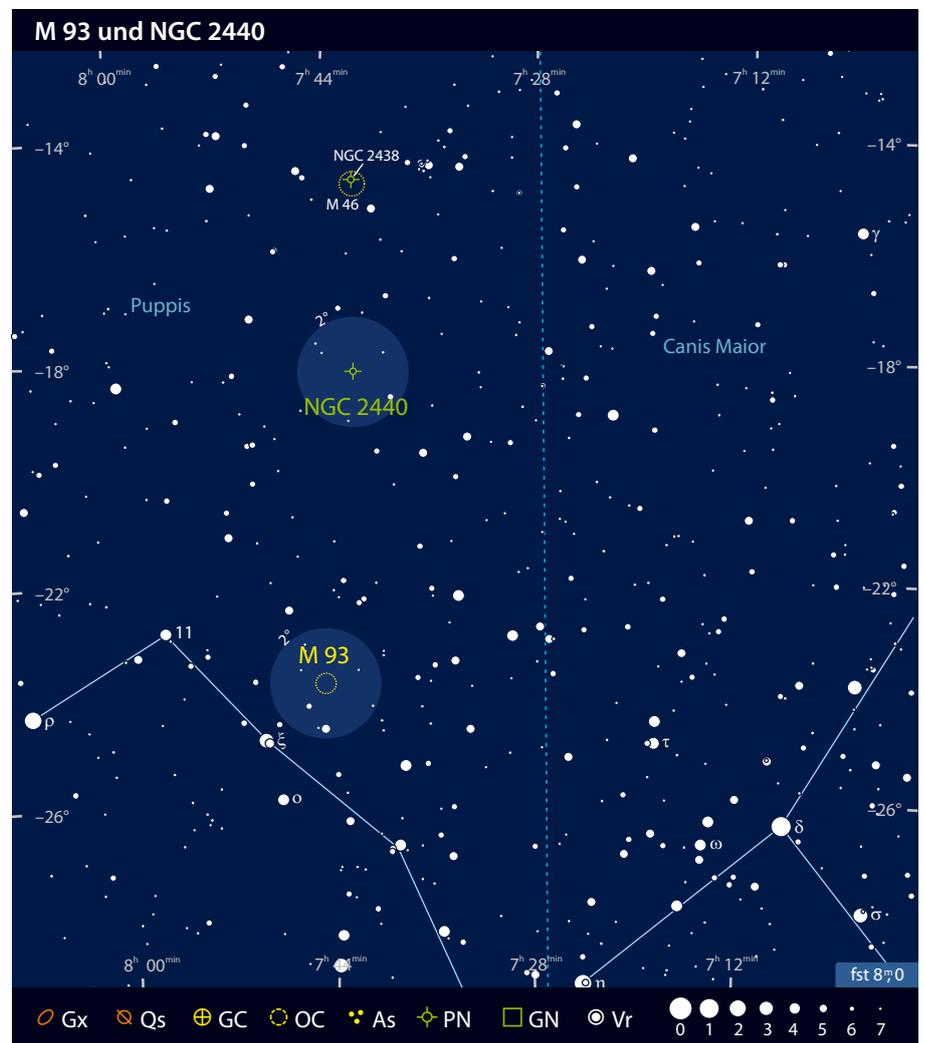
■ Lambert Spix

Objekt der Saison M 93

Der Offene Sternhaufen M 93 ist gemeinsam mit dem Kugelsternhaufen M 79 das am weitesten südlich gelegene Messierobjekt des Winterhimmels und wird bei Streifzügen in der winterlichen Milchstraße häufig übersehen. Zu Unrecht allerdings: Der Haufen braucht den Vergleich mit den bekannteren Vertretern seiner Zunft nicht zu scheuen und sollte bei keinem Besuch der Sternbilder Puppis und Canis Maior fehlen.

M 93 ist eines der letzten Objekte des Messierkatalogs, das von Charles Messier persönlich entdeckt wurde. Er sichtete das Objekt erstmals am 20. März 1781, exakt eine Woche vor seiner letzten »echten« Entdeckung M 101. Messiers Beobachtungsnotizen verzeichnen ihn als »Haufen kleiner Sterne ohne Nebel, zwischen dem Großen Hund und dem Bug des Schiffs [dem heutigen Sternbild Puppis]«. Nur zwei Jahre später wird M 93 von Caroline und Wilhelm Herschel beobachtet und als »sehr hübscher Haufen« aus 100 bis 150 Sternen beschrieben. Spätere Beobachter vergleichen die Anordnung der Sterne mit einem Seestern oder einer Pfeilspitze; poetischere Naturen vermaßen in der Sternanordnung des Haufens sogar einen Schmetterling mit ausgebreiteten Flügeln zu erkennen [1].

Hinsichtlich seiner Eigenschaften ist M 93 ein typischer mittelalter Haufen ohne auffällige Besonderheiten. Projiziert ist der Haufen auf ein reiches Sternfeld, das sich aus Sternen des Orionarms (zu dem auch M 93 gehört) sowie des weiter außen gelegenen Perseusarms zusammensetzt und in punkto Sterndichte die weiter nördlich gelegenen Regionen der Wintermilchstraße weitaus übertrifft. Das Alter des Haufens dürfte mehrere hundert Millionen Jahre betragen, wobei moderne Schätzungen zwischen 390 und 550 Millionen Jahren schwanken [2, 3]. Entsprechend seines schon etwas fortgeschrittenen Alters enthält M 93 neben leuchtkräftigen blauen Sternen vom Spektraltyp B und A auch eine Reihe von



Roten Riesen, die sich auf Farbaufnahmen als gelbliche oder orange Punkte deutlich von den übrigen blauweißen Haufenmitgliedern abheben. Kharchenko et al. [3] geben einen maximalen Haufendurchmesser von 38' an, was bei der angenommenen Entfernung von knapp 3400Lj einer tatsächlichen Ausdehnung von etwa 40Lj entspricht, und listen 64 Sterne bis zur 12. Größenklasse als wahrscheinliche Haufenmitglieder. Bemerkenswert ist dabei die sehr geringe Abschwächung

des Sternenlichts durch interstellaren Staub, die nur 0^m,2 beträgt: Offenbar gibt es kaum nennenswerte Staubansammlungen entlang der Sichtlinie, die unseren Blick auf den Sternhaufen trüben könnten. Die gesamte Sternpopulation des Haufens umfasst vermutlich mehrere hundert Sterne mit einer Gesamtmasse von knapp 700 Sonnenmassen [4]. Der Großteil der Haufensterne konzentriert sich dabei innerhalb der kompakten, länglichen Zentralregion von knapp

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

M 93 gehört zu den schönsten Offenen Sternhaufen des Winterhimmels, auch wenn er wegen seiner südlichen Stellung vielfach übergangen wird.

10' Durchmesser, die auch den visuell auffälligsten Teil des Sternhaufens darstellt.

M 93 gehört zu den schönsten von Mitteleuropa aus erreichbaren Sternhaufen des spätwinterlichen Himmels und ist trotz seiner südlichen Lage auch von stadtnahen Beobachtungsplätzen aus ein lohnenswertes Ziel. Als Aufsuchhilfe eignet sich der 3^m5 helle Stern ξ Pup, der 1,5° südöstlich des Haufens steht. Die Gesamthelligkeit von 6^m2 suggeriert die Machbarkeit einer freijugigen Sichtung unter guten äußeren Bedingungen. Demgegenüber steht allerdings die südliche Lage des Objekts, so dass eine erfolgreiche freisichtige Beobachtung von Mitteleuropa vermutlich nur von alpinen Beobachtungsplätzen aus möglich sein dürfte. In jedem Fall aber reicht bereits ein kleines Fernglas zur Sichtung aus; ein 10x50-Feldstecher etwa zeigt M 93 unter gutem Himmel als kleinen und dichten Nebelfleck, der von einem nach Südwesten hin spitz zulaufenden zentralen Sternknoten dominiert wird. Im kleinen Fernrohr bei niedriger Vergrößerung ist M 93 ein recht konzentrierter, nicht vollständig aufgelöster Sternhaufen, von dessen dreieckigem Zentralteil einige hübsche Sternketten ausgehen. Im Vierzöller sind bereits mehrere Dutzend Sterne zu erkennen, die sich vor allem im dreieckigen Haufenzentrum sowie südöstlich davon gruppieren. Fernrohre mit Öff-

Wolfgang Pies



nungen von 8" und mehr zeigen unter guten Bedingungen weit über hundert Sterne im gesamten Haufengebiet, wobei viele der Sterne in netten Zweier- und Dreiergruppen arrangiert sind. Zusätzlichen Reiz bieten dabei zwei 8^m helle, nahe der südwestlichen Spitze der Zentralregion gelegene Sterne, deren orangegelbe Färbung reizvoll mit dem bläulich-weißen Leuchten der übrigen Haufenmitglieder kontrastiert. Darüber hinaus lohnt sich übrigens auch ein Ausflug in die außerordentlich reiche Umgebung des Sternhaufens: Potenzielle Ziele sind dabei neben einigen Gas- und Planetarischen Nebeln nicht zuletzt auch die immerhin mehr als 40 Sternhaufen und -gruppen, die im Umkreis von nur 5° in der Fachliteratur gelistet sind [5].

■ Matthias Kronberger

- [1] Frommert, H., Kronberg, C.: Messier 93, www.seds.org/messier/m/m093.html
- [2] WEBDA Datenbank: M 93, www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=M+93
- [3] Kharchenko, N. V. et al.: Astrophysical parameters of Galactic open clusters, *Astron. Astrophys.* 438, 1163 (2005), Daten unter: vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=J/A+A/438/1163
- [4] Piskunov, A. E. et al.: Towards absolute scales for the radii and masses of open clusters, *Astron. Astrophys.* 468, 151 (2007), Daten unter: vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=J/A+A/468/151
- [5] Dias, W. S. et al.: New catalog of optically visible open clusters and candidates (V2.8), *Astron. Astrophys.* 389, 871 (2002), Daten unter: vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=B/ocl

Objekt der Saison NGC 2440

Das Sternbild Puppis (Hinterdeck) ist ein Teil des heute nicht mehr gebräuchlichen, antiken Sternbildes Schiff (Argo Navis). In Mitteleuropa sind nur seine nördlichen Ausläufer tief am Horizont erkennbar. Die Konstellation wird in ihrer gesamten Ausdehnung vom Band der Milchstraße durchzogen und bietet somit eine reiche Auswahl an Gasnebeln und Sternhaufen – darunter auch den als »Insektennebel« bekannten Planetarischen Nebel NGC 2440.

NGC 2440 wurde in der Nacht des 4. März 1790 von Wilhelm Herschel entdeckt. Er beschrieb den Nebel als schönes und ziemlich helles Objekt, das etwa 12" bis 15" groß ist und eine nicht klar definierte Form besitzt. Interessanterweise wurde NGC 2440 sowohl im Rahmen der Bonner Durchmuster-

ung (BD) als auch im Henry-Draper-Katalog (HD) als Stern BD-17°2105 bzw. HD 62166 erfasst. Beide Kataloge enthalten Sterne bis hinunter zur 9. Größenklasse, was der scheinbaren visuellen Helligkeit des stellar erscheinenden Planetarischen Nebels entspricht. H. D. Curtis beobachtete und fotografierte den Nebel 1918 und nannte ihn »sehr hell«, wobei er jedoch keinerlei Zentralstern erkennen konnte. Seine aufwändige Zeichnung [1] stellt das Komposit mehrerer Belichtungsreihen dar und gibt erstmals einen Eindruck der vielschichtigen Erscheinung wieder. Für Minkowski war 1964 der Anblick einer Fotografie mit dem 200"-Reflektor am Mount Palomar schlichtweg »zu kompliziert«, um ihn mit Worten zu beschreiben.

Die Erforschung der komplexen Morphologie stellte lange Zeit eine große Herausforderung für die Astronomen dar. Ursprünglich wurde NGC 2440 als klassischer bipolarer Planetarischer Nebel klassifiziert. Erst Lopez et al. [2] konnten 1998 mit ihrem Modell die charakteristischen Elemente des Nebels beschreiben. Es handelt sich dabei um drei bipolare Strukturen, die sich in verschiedenen Positionswinkeln um den Zentralstern herum anordnen. Sie dürften das Ergebnis mehrerer Ausbrüche sein, zwischen denen die Lage der Rotationsachse deutlichen Änderungen unterworfen war. Somit wird NGC 2440 mittlerweile als multipolarer oder polypolarer Planetarischer Nebel kategorisiert. Die Bezeichnung HD 62166 wird heutzutage zur Beschreibung des außergewöhn-



NASA, ESA, K. Noll (STScI)

Der Planetarische Nebel NGC 2440, fotografiert mit dem Hubble-Weltraumteleskop. Der Zentralstern ist einer der heißesten bekannten Sterne.

lichen Zentralsterns genutzt. Der 17^m,7 schwache Stern zählt mit einer Oberflächentemperatur von 200000K zu den heißesten bekannten Sternen. Die Entfernung von Zentralstern und umgebendem Nebel wird in der Literatur höchst unterschiedlich eingeschätzt: Das untere Limit liegt bei 3590 Lichtjahren [3], während andere Publikationen von bis zu 7190Lj [4] ausgehen.

NGC 2440 findet sich nahezu exakt 4,5° südlich des häufig beobachteten Paares M 46/NGC 2438. Mit Hilfe einer paralaktischen Montierung ist es auf diese Weise möglich, den Nebel ganz ohne Aufsuchkarte zu beobachten. Allerdings erscheint er bei niedrigen Vergrößerungen allenfalls als unscharfer Stern. Aufgrund seiner Helligkeit lässt sich NGC 2440 in dieser Form auch schon mit einem Fernglas identifizieren. Jegliche Detailbeobachtungen erfordern jedoch höhere Vergrößerungen von 100x und mehr. Als Problem können sich hierbei die südliche Position des Objekts und die damit verbundene Luftunruhe erweisen. Für Norddeutschland erreicht der Nebel selbst zur Kulmination gerade einmal 20° Horizontabstand. Aufgrund der hohen Flächenhelligkeit kann man jedoch auf Nächte geringerer Transparenz ausweichen, wenn diese die entsprechenden Seeing-Bedingungen bieten. Bei 190x zeigt ein 8"-Te-

leskop bereits, dass das Nebelscheibchen nicht rund, sondern deutlich elongiert ist. Mit größeren Teleskopen lässt sich unter Einsatz eines [OIII]-Filters eine helle, bipolare Struktur im Zentrum von zwei etwas außerhalb befindlichen Nebelknoten unterscheiden. Diese Strukturen scheinen in Momenten guten Seesings durch filigrane Nebelbänder verbunden. Wie ergiebig, aber gleichzeitig auch herausfordernd die Beobachtung und Fotografie von NGC 2440 für Amateurastronomen sein kann, zeigen unter anderem die Ergebnisse in interstellarum 6 [5] und 26 [6].

■ Matthias Juchert

- [1] Curtis, H. D.: The Planetary Nebulae, Publ. Lick Obs., No. 13, Part III (1918)
- [2] Lopez, J. A. et al.: The Morphology and Kinematics of the Complex Polypolar Planetary Nebula NGC 2440, *Astrophys. J.* 493, 803 (1998)
- [3] Hyung, S., Aller, L. H.: The Optical Spectrum of the Planetary Nebula NGC 2440, *PASP* 110, 466 (1998)
- [4] Gathier, R., Pottasch, S. R., Pel, J. W.: Distances to planetary nebulae. I – The reddening-distance method, *Astron. Astrophys.* 157, 191 (1986)
- [5] Reus, G., Stoyan, R.: Bildatlas heller Planetarischer Nebel – Teil 1, *interstellarum* 6, 13 (1996)
- [6] Diederich, H. G.: NGC 2440 – ein polypolarer Planetarischer Nebel, *interstellarum* 26, 44 (2003)

Veränderlicher aktuell **Beteigeuze**

messer des Sterns nur schwer festgelegt werden. Das Hubble Space Telescope und das Very Large Telescope (vgl. interstellarum 67) konnten den Stern direkt abbilden und heiße Flecke sowie riesige Gasblasen feststellen. Infrarotbeobachtungen zeigen ein Schrumpfen des Durchmessers um etwa 15% in den letzten 20 Jahren [1]. Außerdem ist der Stern nicht ganz rund, sondern etwas oval.

Beteigeuze ist ein entwickelter Stern am Ende seines Sternlebens. Entwicklungsrechnungen legen nahe, dass der Wasserstoff im Kern aufgebraucht ist und im Inneren Heliumatome zu Sauerstoff und Kohlenstoff verschmolzen werden. Erst vor etwa 10 Millionen Jahren begann der Stern als heißer blauer O-Stern mit etwa 18 Sonnenmassen zu leuchten. Bei so massereichen Sternen ist der Wasserstoff im Sterninneren jedoch rasch aufgebraucht. Wenn im Kern von Beteigeuze auch das Helium erschöpft ist, können auf Grund der hohen Masse auch schwerere Elemente bis zum Eisen aufgebaut werden. Danach verfügt er über keine Energiequelle mehr und der Sternkern wird endgültig zusammenstürzen. Eine Supernova, heller als der Halbmond, erstrahlt dann an unserem Himmel – das könnte schon in wenigen 10000 Jahren passieren! Als Überrest bliebe ein Neutronenstern mit nur wenigen Kilometern Durchmesser.

Der erste Bericht über die Helligkeitsänderungen von α Orionis stammt von John

Herschel, der den Lichtwechsel 1836–1840 besonders auffallend fand. Beteigeuze wird in ausgeprägten Maxima mit $0^m,2$ fast so hell wie Kapella im Fuhrmann. In tiefen Minima sinkt die Helligkeit auf weniger als $1^m,2$ ab – dann ist der Stern nur mehr ein Drittel so hell wie im Maximum.

Helligkeitsschätzungen von Beteigeuze sind mit freiem Auge möglich, aber schwierig: Nur wenige Vergleichssterne, die auch noch relativ weit entfernt sind, stehen zur Verfügung. Auch die unterschiedliche Farbe der rötlichen Beteigeuze und der weißen bzw. gelblichen Vergleichssterne ist schwierig. Menschliche Augen sind offenbar recht unterschiedlich empfindlich für das rötliche Licht. Weitere Effekte entstehen durch die unterschiedliche Stellung von Veränderlichem und Vergleichsstern (z.B. im Osten und im Westen; »Positionswinkelfehler«) und unterschiedliche Extinktion des Sternlichts in verschiedenen Höhen über dem Horizont. All das führt zu recht großer Streuung von Datenpunkten in visuellen Gemeinschaftslichtkurven. Beteigeuze ändert die Helligkeit halbregelmäßig mit überlagerten mehrfachen Perioden von einem halben Jahr bis zu mehreren Jahren.

■ Wolfgang Vollmann

[1] Townes, C. H. et al.: A Systematic Change with Time in the Size of Betelgeuse, *Astrophys. J.* 697, L127 (2009)

Abb. 1: Beteigeuze, wie sie das Very Large Telescope bei einer Auflösung von 37 Millibogensekunden sieht. Deutlich ist die abgeblasene Materie in der Umgebung des Sterns zu erkennen.

Beteigeuze, der Stern an der rechten Schulter des Himmelsjägers Orion, ist einer der beiden roten Überriesen unter den Sternen 1. Größenklasse (der andere ist Antares im Skorpion). Er ist ein Stern der Superlative: Wenn die Entfernung 570 Lichtjahre beträgt – die Bestimmungen schwanken auch heute noch zwischen 495 und 640 Lichtjahren – leuchtet der Stern 85000 Mal heller als die Sonne!

Die Oberflächentemperatur von Beteigeuze ist mit nur 3650K kühl für einen Stern – unsere Sonne hat 5800K – dafür ist der Durchmesser wahrhaft riesig: Die Angaben schwanken zwischen sechs und zehn Astronomischen Einheiten. Der Stern wäre damit fast so groß wie die Jupiterbahn um die Sonne! Da Beteigeuze jedoch pulsiert und die Durchsichtigkeit des Sternngases sich sowohl ändert als auch von der Wellenlänge abhängt, bei der beobachtet wird, kann der Durch-

Vergleichssterne für visuelle Helligkeitsschätzungen		
Stern	Visuelle Helligkeit	Spektraltyp
Rigel (β Ori)	$0^m,12$	B8Iab:
Prokyon (α CMi)	$0^m,36$	F5IV–V
Aldebaran (α Tau)	$0^m,87$	K5III
Pollux (β Gem)	$1^m,14$	K0IIIb
Kastor (α Gem)	$1^m,58$	A2Vm
Bellatrix (γ Ori)	$1^m,64$	B2III

Surftipps

STARS, Beteigeuze:
stars.astro.illinois.edu/sow/betelgeuse.html

American Association of Variable Star Observers, Variable star of the month, Alpha Orionis:

aavso.org/vstar/vsots/1200.shtml

Umgebungskarte für α Orionis: varsao.com.ar/Carta_Eta_Gem.htm

Veränderlichenbeobachtung mit

Digicams: www.bela1996.de/astronomy/digicams.html

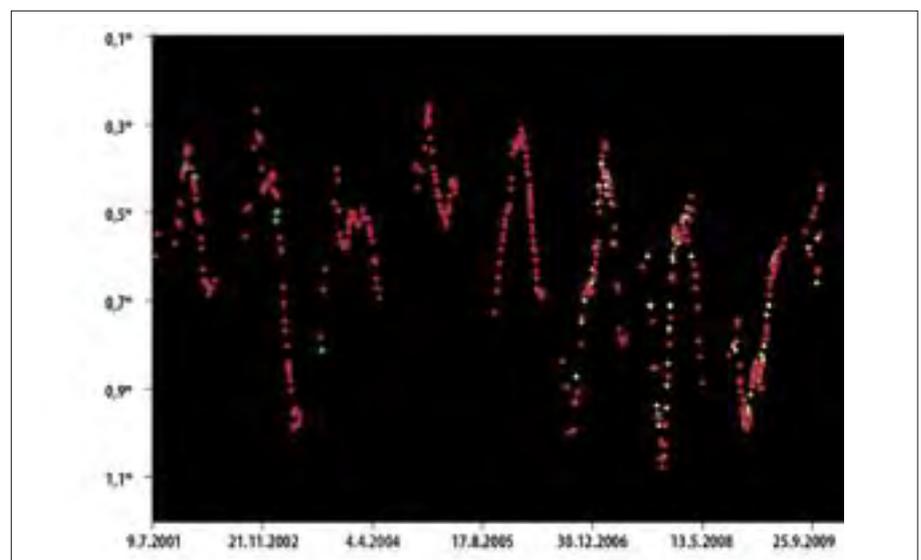


Abb. 2: Lichtkurve von Beteigeuze 2001–2009 aus visuellen Beobachtungen (rot) von S. Otero und Messungen der V-Helligkeit von D. West und Y. Ogane.

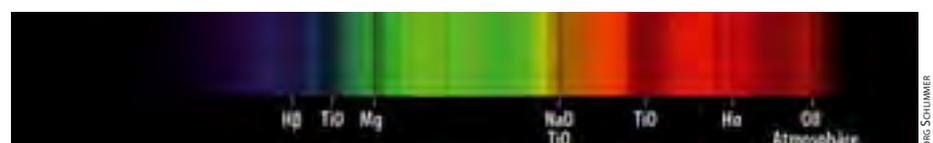


Abb. 3: Spektrum von Beteigeuze, aufgenommen mit einem 200mm-Newton und Webcam. Es zeigt schön die Banden des kühlen M-Sterns.

Schwarze Sonne über Vulkanen und Atollen

Die totale Sonnenfinsternis am 11. Juli 2010

VON PETER UND SUSANNE FRIEDRICH



Am Sonntag, dem 11. Juli 2010, findet im Südpazifik eine totale Sonnenfinsternis mit einer maximalen Totalitätsdauer von fünf Minuten und 20 Sekunden statt. Die spektakulärste Kulisse für dieses Himmelsereignis bilden sicher die monumentalen Steinköpfe der Moais auf der Osterinsel, wenn sich dort für fast fünf Minuten gegen 14 Uhr Ortszeit die Sonne verfinstert. Sonst berührt die Totalitätszone Land nur bei den Cook-Inseln, Französisch-Polynesien sowie auf dem südamerikanischen Kontinent in Patagonien.

Abb. 1: Stumme Zeugen der Sonnenfinsternis am 11. Juli 2010: die monumentalen Steinköpfe, genannt Moais, am Ahu Tongariki auf der Osterinsel.

Wann ereignet sich eine Sonnenfinsternis?

Sonnenfinsternisse treten nur zu Neumond auf, wenn sich der Mond zwischen Sonne und Erde befindet. Jedoch kommt es nicht zu jedem Neumond zu einer Sonnenfinsternis, da die Bahnebene des Mondes um etwa 5° gegen die Ebene geneigt ist, in der sich die Erde um die Sonne bewegt. Sie ereignen sich nur, wenn sich der Mond zu Neumond in unmittelbarer Nähe eines Bahnknotens, also dem Schnittpunkt der Mondbahn mit der Erdbahnebene (Abb. 2), befindet. Dies ist mindestens zweimal und maximal fünfmal im Jahr der Fall. Als

Folge der Erdrotation und der Mondbewegung zieht der Mondschaten mit hoher Geschwindigkeit über die Erdoberfläche. Die Spur der Schattenmitte nennt man Zentrallinie. Nur an Orten, die von dem nur wenige 100km großen Mondschaten getroffen werden, kann eine totale Sonnenfinsternis beobachtet werden. Etwa 3000km zu beiden Seiten dieser Zone ist eine partielle Sonnenfinsternis sichtbar, bei der die Sonne nur teilweise von der Mondscheibe verfinstert wird. Die Sonne scheint dann nahezu mit unverminderter Helligkeit am Himmel. Eine Beobachtung ist deshalb auch mit dem bloßen Auge nur mit einem sicheren Filter möglich, etwa einer zertifizierten Sonnenfinsternis-

brille. Benutzen Sie keine Schweißergläser, Filme, CDs oder rußgeschwärzten Gläser. Mit einem Fernrohr müssen sichere Objektivfilter verwendet werden (siehe Kasten).

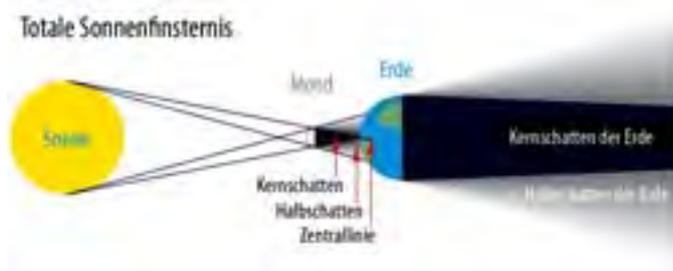
Das 27. Mitglied der Saros-Serie 146

Bereits die Chaldäer, die ab 1000 vor Christus in Babylonien lebten, wussten aufgrund ihrer langjährigen Himmelsbeobachtungen, dass sich Sonnenfinsternisse (und Mondfinsternisse) regelmäßig wiederholen. Diese Periodizität im Auftreten der Finsternisse wird Saros-Zyklus genannt und dauert 18 Jahre elf Tage und acht Stunden (oder 18 Jahre zehn Tage acht Stunden, wenn in diesen Zeitraum fünf statt vier Schaltjahre fallen). Zwei Finsternisse, die in diesem Abstand auftreten, ähneln sich, da sie beim selben Mondknoten mit dem Mond in ähnlicher Erdentfernung und zur selben Zeit im Jahr auftreten. Die acht Stunden, die der Saros-Zyklus länger als volle 18 Jahre und elf (zehn) Tage ist, bewirkt, dass die Erde zur Finsternis Sonne und Mond nicht dieselbe Seite zuwendet, sondern sich bereits weiter nach Osten gedreht hat: Die Finsternis findet 120° weiter westlich statt. Finsternisse, die jeweils durch einen Saros-Zyklus getrennt sind, werden in einer Saros-Serie zusam-

Tab. 1: Kontaktzeiten für einige Städte in der Totalitätszone

Ort	1. Kontakt	2. Kontakt	Mitte	3. Kontakt	4. Kontakt	Dauer Totalität
Mangaia (Cook-Inseln)	17:15:06 UT	18:19:27 UT	18:21:06 UT	18:22:45 UT	19:36:51 UT	3min 18s
Hikueru (Fr. Polynesien)	17:22:14 UT	18:37:09 UT	18:39:18 UT	18:41:28 UT	20:07:51 UT	4min 20s
Tatakoto (Fr. Polynesien)	17:27:13 UT	18:45:38 UT	18:47:55 UT	18:50:12 UT	20:19:27 UT	4min 35s
Hanga Roa (Osterinsel, Chile)	18:40:36 UT	20:08:30 UT	20:10:51 UT	20:13:11 UT	21:34:16 UT	4min 41s
El Calafate (Argentinien)	19:44:15 UT	20:48:30 UT	20:49:54 UT	20:51:17 UT	–	2min 47s

Abb. 2: Der Schattenwurf des Mondes während einer totalen Sonnenfinsternis. Dabei berührt der Kernschattenkegel des Mondes die Erde. Die totale Phase ist nur in einer begrenzten Region um die Zentrallinie des Schattenwurfs sichtbar. In der Zone des Halbschattens ist die Finsternis dagegen nur partiell sichtbar.



mengefasst. Solch eine Serie dauert mehr als 1000 Jahre und zu ihr gehören 70 oder mehr Finsternisse. Die Finsternis am 11. Juli 2010 ist die 27. Finsternis in der Saros-Serie 146, die am 19.9.1541 südlich von Australien und in der Antarktis mit der ersten einer ungewöhnlichen langen Serie von 22 partiellen Finsternissen begann und am 29.12.2893 in Sibirien mit einer partiellen Finsternis der Größe 0,0028 (!) enden wird. Zusammen mit ihrer Vorgängerin am 30.6.1992 (5min 21s) ist die Sonnenfinsternis am 11. Juli diejenige mit der längsten Totalität im Zyklus. Mit ihr teilt sie allerdings auch die der Beobachtung nicht gerade förderliche Eigenschaft fast ausschließlich über Wasser zu verlaufen.

Der globale Verlauf der Finsternis

Die Finsternis beginnt um 18:15 UT im südlichen Pazifik 700km südöstlich von Tonga und 1800km nordöstlich von Neuseeland. Fast 1500 Kilometer zieht der Schatten in Richtung Nordosten, verpasst Rarotonga, die Hauptinsel der Cook-Inseln, um 25km – 14000 Einwohner werden eine partielle Finsternis der Größe 0,993 (Anteil des durch den Mond bedeckten Sonnendurchmessers) erleben – bevor er um 18:21 UT zum ersten Mal Land berührt und Mangaia, die zweitgrößte Insel des Archipels, für 3min 18s in Dunkelheit taucht. Tahiti liegt 20km nördlich der Totalitätszone und erlebt um 18:28 UT eine partielle Sonnenfinsternis der Größe 0,996 bis 0,984. Nachdem der Mondschatten noch einige kleinere Atolle des Tuamotu-Archipels (Französisch-Polynesien) berührt hat, rast er über die Weiten des Pazifiks, wo um 19:33:31 UT mit 5min 20s die maximale Dauer der Finsternis eintritt, und erreicht um 20:11 UT die Hauptstadt Hanga Roa der Osterinsel. Für 4min 41s werden dort die knapp 4000 Einwohner Zeuge der totalen Sonnenfinsternis. Die Sonne steht zu diesem Zeitpunkt 40° über dem Horizont. Nach diesem kurzen Intermezzo verläuft die Zentrallinie die nächsten 3700km wieder über Wasser, bevor sie kurz vor Ende der Finsternis um 20:49 UT auf die Küste Südhiles trifft. Nach $2\frac{2}{3}$ Stunden und 11100 Kilometern endet die Finsternis um 20:52 UT in Argentinien, nachdem sie um 20:50 UT noch die Touristenstadt El Calafate am

Lago Argentino, in den der berühmte Perito Moreno-Gletscher mündet, für 2min 47s in Dunkel getaucht hat. Die Sonne steht dabei nur 1° über dem Horizont flankiert von den Bergen der Anden.

Das Wetter zur Finsternis

Die Finsternis findet mitten im Winter der Südhalbkugel statt, was normalerweise mit häufigen Stürmen und wechselhaftem Wetter verbunden ist. Der erste Teil der Zentrallinie liegt glücklicherweise in bzw. nördlich der sog. Rossbreiten, eines Hochdruckgürtels um den südlichen 30. Breitengrad mit sonnigem Wetter und angenehmen Temperaturen ähnlich der Karibik im Winter auf der Nordhalbkugel. Dies schließt jedoch nicht aus, dass aus der südlich gelegenen Westwindzone (40°S – 60°S) Kaltfronten eindringen, die Schauerwetter und Bewölkung im Gepäck haben. Im Gebiet von den Salomonen über Fidschi und Samoa bis zu den Cook-Inseln wird das Wetter geprägt von der Südpazifischen Konvergenzzone (SPCZ), einem südlichen Ausläufer der äquatorumspannenden innertropischen Konvergenzzone (ITC). Diese jahreszeitlich ziemlich stabil liegende Tiefdruckzone bringt häufige Schauer und Gewitter sowie damit verbunden Bewölkung mit sich. In den letzten Jahren verschob sich diese Tiefdruckzone, die Jahrzehnte währenden Oszillationen (IPO) unterliegt, weiter nach Norden und Osten; sie wirkt sich dadurch direkter auf das Wetter am Anfang des Finsternispfades aus. Auch die kurzfristigen, mit dem El-Niño-Phänomen verbundenen Oszillationen (ENSO) beeinflussen die Lage der Südpazifischen Konvergenzzone und verschieben sie bei einem El-Niño-Ereignis Richtung Nordosten. Die Messungen der Wassertemperatur im südlichen Pazifik weisen jedoch für 2010 auf eine Abnahme der mit El Niño verbundenen Temperatur-anomalie hin [3]. Generell gilt: Je weiter östlich und nördlich man sich in Französisch-Polynesien auf dem Finsternispfad befindet umso besser. Westlich der Osterinsel verläuft der Finsternispfad schließlich durch die Westwindzone und der Bewölkungsgrad insbesondere an der chilenischen Küste nimmt zu.

Im Juli herrscht auf den äquatornäheren pazifischen Inseln Trockenzeit, was aber u.U. immer noch 100mm Regen im Monat zur Folge hat. Dies ist nicht viel weniger als auf der Osterinsel, wo Mitte Juli Regenzeit herrscht, jedoch vier Mal mehr als in El Calafate in Argentinien, da die Anden eine effektive Barriere für die Schlechtwettergebiete aus Westen bilden.

Cook-Inseln, Tahiti und Französisch-Polynesien

Die mittlere Wolkenbedeckung fällt von etwa 62% bei den südlichen Cook-Inseln auf 44% bis 53% bei den Inseln Französisch-Polynesiens, während die Wahrscheinlichkeit für Sonnenschein von 52% auf vielversprechende 65% bis 70% steigt. Kaltfronten mit schlechtem Wetter können jedoch von Südwesten kommen. Diese Wolkenbänder haben in der Regel eine Breite von 100km bis 200km und können sich tagelang an den Inseln festsetzen. Da das Angebot an Beobachtungsplätzen auf den Inseln relativ gering ist – die meisten Atolle der Inselwelt sind zudem unbewohnt –, bieten sich hier Kreuzfahrten an, die es auch ermöglichen schlechtem Wetter in Richtung Osten entlang des Finsternispfades zu entkommen. Tahiti markiert typischerweise den östlichsten Punkt der südpazifischen Konvergenzzone, deshalb ist weiter östlich mit stabileren Wetterverhältnissen zu rechnen. Taifune stellen kein Problem dar, da ihre Saison im März zu Ende geht. Finsternis-Beobachter, die von Land beobachten, sollten deshalb die Tuamotu-Inseln Hao, Hikueru, Tatakoto oder Anaa ansteuern, da sie über Flugplätze verfügen. Andere Inseln der Gruppe können nur per Boot erreicht werden, was Zeit in Anspruch nimmt.

Osterinsel

Die Vulkaninsel liegt auf der südlichen Seite der Hochdruckzone entlang des südlichen 30. Breitengrades und ist den Einflüssen der Westwindzone deshalb stärker ausgesetzt. Da hier im Juli Regenzeit herrscht, liegt die Wahrscheinlichkeit für Sonnenschein nur bei 50%. Es regnet im Schnitt an 12 Tagen, die Luftfeuchtigkeit beträgt gut 80% und die Temperaturen betragen 20°C, die Tiefsttemperaturen liegen bei 15°C.

Tab. 2: Wetterdaten für einige Orte in der Totalitätszone am 11. Juli 2010

Ort	Wahrscheinlichkeit für Sonnenschein im Juli	mittlerer Bewölkungsgrad (berechnet) ¹	Häufigkeit 0/8 Bewölkung	Häufigkeit 1/8–2/8 Bewölkung	Häufigkeit 3/8–4/8 Bewölkung	Häufigkeit 5/8–7/8 Bewölkung	Häufigkeit 8/8 Bewölkung	Regentage im Juli	Niederschlag im Juli
Mangaia (Cook-Inseln)	ca. 52%	63%	0,3%	16,7%	21,7%	45,3%	16%	15,3	159mm
Hao (Tuamotu-I., Fr. Polynesien)	–	53%	0,5%	17,8%	34,6%	44,2%	2,9%	10,2	76,1mm
Osterinsel (Chile)	50%	70%	0,0%	8,9%	19,9%	55,9%	15,2%	18,1	111mm
El Calafate (Argentinien)	–	55%	7,1%	20,7%	22,8%	34,2%	15,2%	3,6	42mm

¹ statistische Kombination der verschiedenen Wolkenkategorien

Sicherheitsregeln zur Sonnenbeobachtung

1. Filter vor jeder Benutzung prüfen
2. Sucherfernrohr abdecken oder mit Filter ausrüsten
3. sicherstellen, dass der Filter fest auf dem Teleskop sitzt
4. Teleskop am eigenen Schatten ausrichten
5. vor dem Entfernen des Filters Teleskop aus der Sonne drehen
6. Teleskop niemals unbeaufsichtigt lassen

Aller Voraussicht nach kann man mit einem Gemisch aus Sonne und Wolken rechnen, was die Wahl eines Beobachtungsortes nicht erleichtert. Man sollte deshalb

bis zum letzten Augenblick warten, um Wind- und Wetterverhältnisse richtig einzuschätzen. Die Insel wird von drei großen Vulkanen im Südosten, Südwesten und Norden geprägt, deren Gipfel in den Wintermonaten von Wolken verhüllt sind.

An den Hängen entsteht eine starke Konvektion, durch die Wolken im Nu entstehen oder sich auflösen können, selbst bei größeren Wettersystemen. Man sollte deshalb keine hangaufwärts gelegenen oder gar im Aufwind liegenden Beobachtungsorte wählen, sondern bei leichtem Wind Plätze an der Küste bevorzugen, da die kühlere Luft vom Meer die unmittelbare Wolkenbildung verhindert. Auch im Windschatten groß-

er Vulkane mag es etwas sonniger sein, falls die Wetterlage nicht generell zu schlecht ist. Eine vorherrschende Windrichtung gibt es nicht, je nach Wetterlage kann der Wind aus allen Richtungen kommen. Aufgrund der Komplexität von Wind und Wetter könnte sich die Südküste als bester Platz erweisen. Bei Ost- oder Westwind empfiehlt sich die Gegend um Hanga Roa, die jedoch bei Süd- und Nordwinden unter den Abwinden der Vulkane Terevaka und Rano Kao, die Wolken herabtreiben, leidet. Bei Nordwind könnte Tongariki im Schatten des Terevaka mit leichten Abwinden eine gute Wahl sein, aber man sollte die östlich gelegenen Hänge des Vulkans Puakatike im Auge behalten. Auch der Strand von Anakena bietet sich bei aufländigem Nordwind an.

Chile und Argentinien

Der Finsternispfad trifft in Chile in einer Gegend auf Land, das kaum besiedelt ist und in dem entsprechend wenig Infrastruktur existiert. Außerdem ist das Land dem Westwind ungeschützt ausgesetzt. Dies sind schlechte Voraussetzungen für eine erfolgreiche Beobachtung. Jenseits des Andenhauptkamms in Argentinien werden die Wetterbedingungen wesentlich besser: Die Anden bilden einen wirksamen Schutzwall gegen Wetterunbill aus Westen, entziehen der Luft Feuchtigkeit, so dass es in Argentinien sonniger und trockener ist. In El Calafate am Lago Argentino, wo die Finsternis zu Sonnenuntergang stattfindet, beträgt die Wahrscheinlichkeit für Bewölkung etwa 55% – so viel wie auf den Cook-Inseln und Teilen Französisch-Polynesiens. Die Temperaturen liegen bei durchschnittlich 6°C, Tiefsttemperaturen bei -5°C. Da die Sonne nur noch knapp über dem Horizont steht, spielen Horizontdunst sowie die Wahl einer freien Sichtlinie eine entscheidende Rolle. Große Seen in West-Ost-Richtung wie der Lago Argentino, der etwa dreimal so groß ist wie der Bodensee, dürften dafür gut geeignet sein.

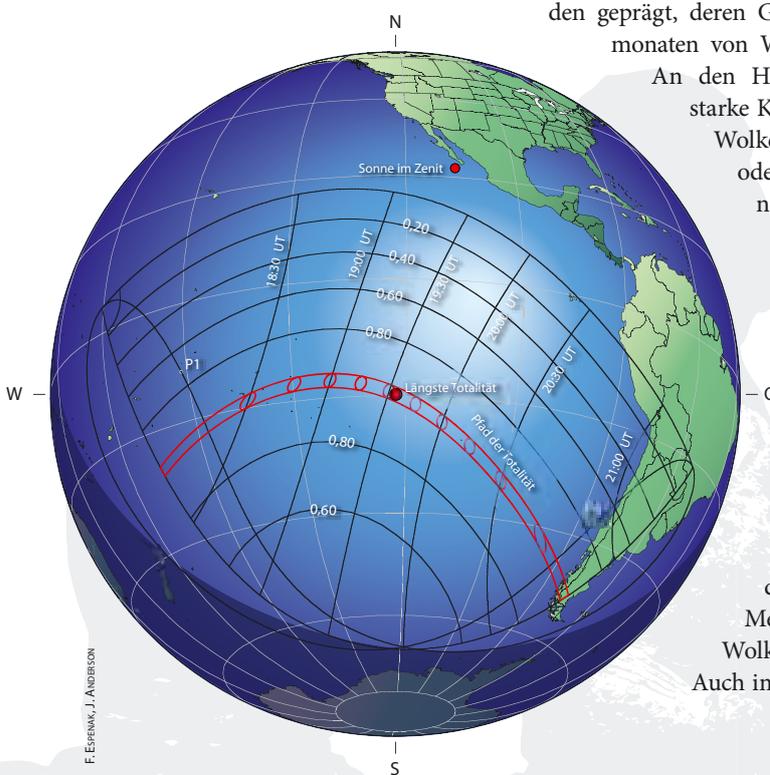


Abb. 3: Karte der Sonnenfinsternis von 11. Juli 2010 (orthographische Projektion).

Eingezeichnet sind auch die Gebiete, in denen die Finsternis partiell zu sehen ist mit ihrer jeweiligen Größe (Bruchteil des Sonnendurchmessers, der vom Mond bedeckt wird) und der Uhrzeit der maximalen Bedeckung. Die Bögen am westlichen und östlichen Ende des Finsternispfades geben die Orte an, an denen die Finsternis mit Sonnenaufgang beginnt bzw. mit Sonnenuntergang endet. Die Bögen werden jeweils von der Ortslinie geschnitten, wo das Maximum der Finsternis bei Sonnenaufgang (westlicher Bogen) bzw. bei Sonnenuntergang (östlicher Bogen) eintritt.

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

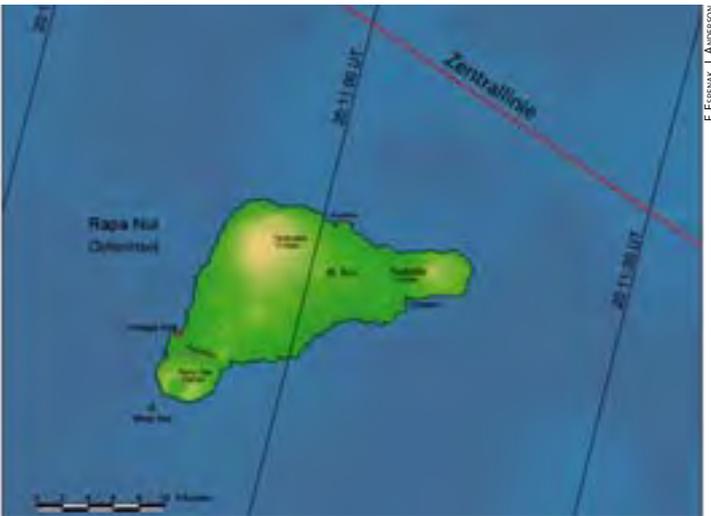


Abb. 4: Detailkarten der Osterinsel. Eingezeichnet ist die Zentrallinie mit der Dauer der Totalität.

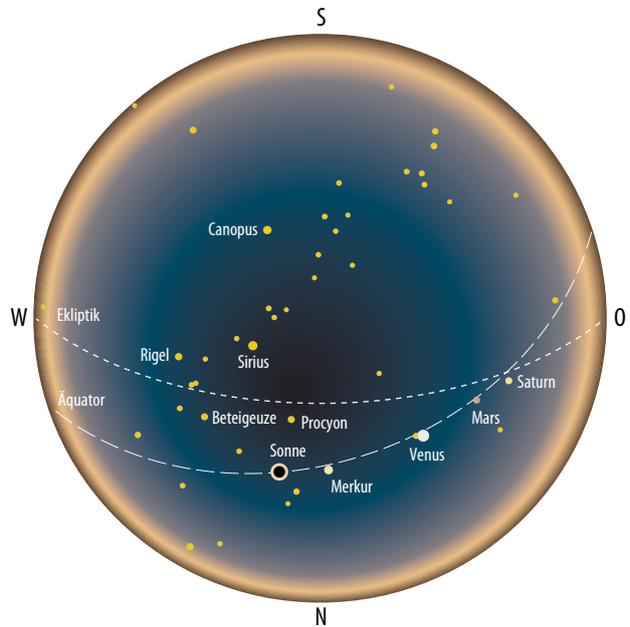


Abb. 5: Der Sternhimmel, wie er sich über der Osterinsel während der Totalität zeigt.

Argentinien ist wohl nicht die richtige Wahl, falls man ausschließlich an der Beobachtung der Sonnenfinsternis interessiert ist. Französisch-Polynesien und dort insbesondere die Atolle des Tuamotu-Archipels sind besser geeignet. Eine Beobachtung vom Schiff aus bietet zusätzlich die Möglichkeit schlechtem Wetter zu entfliehen. Diese Möglichkeit bietet die Osterinsel nicht – bei schlechtem Wetter sitzt man fest – jedoch verfügt sie über die beste Infrastruktur und eine mystische Kulisse.

Der Sternhimmel zur Finsternis

Zur Totalität entspricht die Helligkeit des Himmels in etwa dem Dämmerungshimmel eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang, so dass helle Planeten und Sterne sichtbar werden. Die Sonne befindet sich im Sternbild Zwillinge, östlich von ihr sind die Planeten Merkur, Venus, Mars und Saturn aufgereiht, südwestlich von ihr findet man die hellen Sterne der Wintersternbilder der Nordhalbkugel sowie Canopus. Venus, die zur Totalität mit $-4^m,1$ leuchtet, wird am leichtesten zu finden sein. Merkur befindet sich in 15° Entfernung von der Sonne und sollte mit einer Helligkeit von $-0^m,8$ ebenfalls gut zu sehen sein. Mars und Saturn hingegen, die nur $1^m,4$ bzw. $1^m,1$ hell sind und sich gut 60° und 70° östlich der Sonne befinden, könnten schwieriger auszumachen sein. Von den hellen Sternen könnten Sirius und Canopus sichtbar werden (Abb. 5).

Die nächsten Sonnenfinsternisse

Die nächste totale Sonnenfinsternis findet erst am 13. November 2012 statt. Der Mondschaten streift zu Sonnenaufgang den Norden Australiens, um anschließend den Pazifik bis fast zur südamerikanischen Küste zu überqueren. Auch die totalen Sonnenfinsternisse von 2015 und 2016 verlaufen größten Teils über Wasser und berühren Land meist entweder nur zu Beginn oder Ende des Finsternispfades, so dass die Sonne nahe dem Horizont steht. Erst die Finsternis am 21. August 2017 über den USA ereignet sich wieder weitgehend über Land.

[1] Espenak, F., Anderson, J.: Annular and Total Solar Eclipses of 2010, NASA/TP-2008-214171a (2008)

- [2] Friedrich, S., Friedrich, P.: Finsternisse – verstehen, beobachten und fotografieren, Oculum-Verlag, Erlangen (2005)
- [3] Geographische Software: Das ENSO-Phänomen, www.enso.info/aktuell.html

Surftipp

NASA Eclipse Homepage von Fred Espenak:
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

Mondbeobachtung mit bloßem Auge

Einen alten Bekannten neu entdecken

VON NICO SCHMIDT

Der Mond als unser kosmischer Nachbar ist der einzige Himmelskörper, auf dem sich bereits mit bloßem Auge Landschaften einer anderen Welt entdecken lassen. Schon ein erster Blick lässt großflächige Oberflächenstrukturen erkennen, was ihn zum ersten Beobachtungsziel von Galileo Galilei und vor ihm Thomas Harriot machte, als sie vor 400 Jahren ihre Teleskope auf den Sternhimmel richteten. Zwar offenbart erst ein Fernrohr den ganzen Detailreichtum der Mondoberfläche, doch schon das freie Auge genügt, um mehr als nur das bekannte Mondgesicht zu sehen. Denn neben dunklen Meeren und hellen Hochländern sind sogar einzelne Kraterregionen, lunare Bergketten und vulkanische Ablagerungen freiäugig sichtbar.



Beobachtungsprojekt Mond

Obwohl es auf den ersten Blick kaum den Anschein hat, dass mehr als nur die großflächige Gestalt der dunklen Mondflecken ohne Hilfsmittel wahrgenommen werden kann, lohnt es sich durchaus, den Mond einmal genauer im Auge zu behalten. Denn mit einem geschulten Blick lassen sich kleine Buchten in den Mondmeeren und lange Bergketten ebenso erkennen wie helle Kraterregionen oder leichte Helligkeitsunterschiede in einzelnen Gebieten, verursacht durch Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung des Mondgesteins. Einige dieser spannenden lunaren Oberflächenmerkmale lassen sich nur mit etwas Geduld

Abb. 1: Schon mit dem bloßen Auge erkennt man besonders bei Vollmond dunkle Flecken.

Es ist ein reizvolles Projekt nachzuvollziehen, welche Einzelheiten des Mondes man ohne optische Hilfsmittel sehen kann.

MARCO WEGAND

beobachten, während andere bereits für den unerfahrenen Mondbeobachter zu sehen sind. Für die Sichtbarkeit kleiner Einzelheiten und kontrastarmer Schattierungen spielt außerdem häufig auch die Mondphase eine wichtige Rolle, so ist z.B. der Krater Aristarchus am besten zu Vollmond beobachtbar.

Um die eigenen Fortschritte bei der Beobachtung von Einzelheiten auf dem Mond festzuhalten, bietet es sich sogar an, auch in einem kleinen Projekt das Gesehene zeichnerisch festzuhalten, wobei die Ergebnisse verschiedener Zeichner erwartungsgemäß voneinander abweichen können – jedes Auge sieht anders (Abb. 2). Auf diese Weise lässt sich außerdem verfolgen, wie durch den täglich neuen Anblick des Mondes das Auge bald auch für die Wahrnehmung schwacher Einzelheiten geschult wird, so dass mit etwas Geduld und Übung eine Vielzahl von unterschiedlichen Mondlandschaften erkennbar werden – auf einer lediglich 0,5° großen Scheibe am Himmel!

Dunkle Lavameere...

Schon mit einem einfachen Blick zum hellen Mond sind die dunklen Flecken als die markantesten Oberflächenmerkmale auszumachen: die Meere (lat. Mare/Maria). Ihre Bezeichnung stammt aus einer Zeit, als man sich den Mond wie die Erde von Meeren und Ozeanen bedeckt vorstellte. Erst Ende des 19. Jahrhunderts gelangte man schließlich zu der (richtigen) Ansicht, dass die Mondmeere lediglich gewaltige Krater ungeheuren Ausmaßes sind, die infolge späterer Überflutungen durch flüssiges Gestein aus dem Inneren vollständig bedeckt wurden. In den späten 1960er Jahren folgte dazu der eindeutige Beweis: Die Analyse des Mondbodens durch die im Sinus Medii gelandete NASA-Sonde Surveyor 6 zeigte, dass das Gestein aus eisenhaltigem Basalt besteht. Heute wissen wir, dass die teilweise über 1000km großen lunaren Meere tatsächlich

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

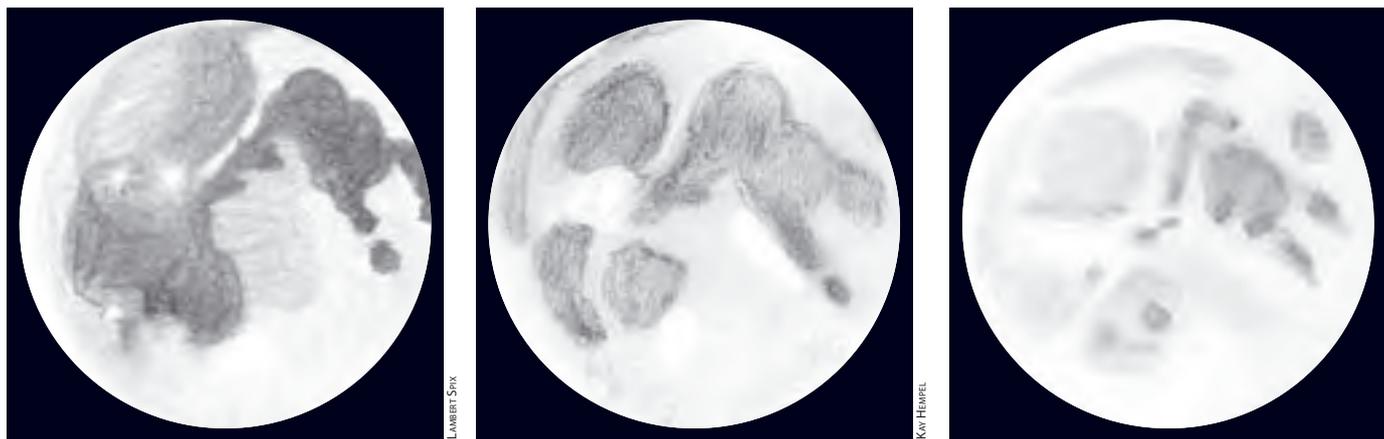


Abb. 2: Mit ein wenig Übung lassen sich mit dem bloßen Auge erstaunliche Details sehen. Wie stark die visuellen Eindrücke verschiedener Beobachter voneinander abweichen können, zeigen diese drei Zeichnungen.

nur riesige Einschlagbecken aus der Frühzeit des Erdtrabanten darstellen, die sich anschließend mit Magma aus dem noch heißen Inneren füllten und so die riesigen Lavaebenen formten, die schon ohne Hilfsmittel als die dunklen Flecken des Mondgesichts erkennbar sind.

Außer dem freiäugig leicht sichtbaren Mare Crisium am Ostrand des Mondes und dem Mare Frigoris in den nördlichen Bereichen, bilden die Mondmeere insgesamt eine zusammenhängende Fläche. Dabei lassen sich auch kleinere Einzelheiten erkennen, wie etwa die nur rund 150km breite Lavabucht Sinus Medii. Abhängig von den Mondphasen werden in den Maria sogar schwache Helligkeitsunterschiede wahrnehmbar; hierfür ist nur etwas Beobachtungserfahrung notwendig. Dann erscheinen neben den Meeren der östlichen Mondhälfte beispielsweise auch der östliche Bereich im Mare Nubium und der Nordwest-Rand des Mare Imbrium leicht dunkler (Abb. 3).

Hervorgerufen werden solche Helligkeitsvariationen durch Unterschiede in der Albedo (Rückstrahlungsvermögen) des Mondgesteins; auf diese Weise wird die chemische Zusammensetzung des Lavagesteins direkt erkennbar, allgemein verursacht durch einen höheren Gehalt an Eisenoxid (FeO) und/oder Titandioxid (TiO₂) im Basalt. Auch die dunkleren Meere im Bereich der Mondmitte – vom Sinus Medii bis zum Mare Vaporum – lassen die komplexe Geochemie des Mondes mit bloßem Auge deutlich werden. Hier gibt es einzelne Gebiete, deren Gesteinsmaterial teilweise aus vulkanischen Ablagerungen besteht, so genannten »Regional Dark Mantle Deposits«. Verursacht wurden sie durch pyroklastische Eruptionen, die oft mit den gewaltigen Lavafontänen auf Hawaii verglichen werden. Durch

Tab. 1: Mondformationen für das bloße Auge: dunkle Oberflächenmerkmale						
Name	Typ	Breite	Länge	Collongitude	Fläche / Durchmesser	Rükl
Mare Imbrium	Mare	+32,8°	-15,5°	354° – 40°	830000km ² / 1250km	9–12
Mare Crisium	Mare	+17°	+59°	292°–310°	176000km ² / 570km	26/27
Mare Humorum	Mare	-24°	-39°	30°–45°	113000km ² / 380km	52
Mare Nectaris	Mare	-15°	+35°	320°–330°	101000km ² / 350km	58
Mare Vaporum	Mare	+13°	+3°	352°–0°	55000km ² / 230km	33
Sinus Medii	Bucht	+2,5°	+1,7°	356°–2°	52000km ² / 350km	33

die Mondflüge des Apollo-Programms hat sich herausgestellt, dass »Ascheablagerungen« wie diese aus mikroskopischem Vulkanglas und kristallisierten »Perlen« bestehen.

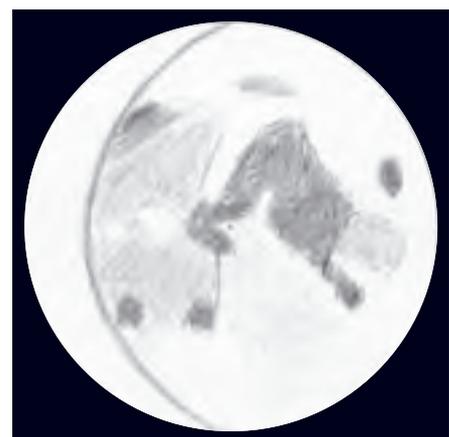
...helle Hochländer, Kraterregionen...

Während die niedrige Albedo der Basaltgesteine hauptsächlich auf Oxide des Eisens und Titans (z.B. als Mineral Ilmenit vorhanden) zurückzuführen ist, wodurch die dunkle Färbung der erstarrten Lavameere entsteht, so sind sie in den hellen Mondgebieten kaum vorhanden. Daraus resultiert das höhere Rückstrahlungsvermögen der als lunare Hochländer (lat. Terra/Terrae) bezeichneten Oberflächenmerkmale, die eher weißlich erscheinen. Hier blicken wir nicht nur direkt auf die Kruste des Mondes, sondern erhalten auch einen Einblick in die sozusagen heiße Geburtsstunde unseres Erdtrabanten. Denn nach seiner Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren wurde er bis in große Tiefen von einem globalen Magmaozean bedeckt, welcher nur langsam erstarrte und nach 60 Millionen Jahren schließlich an der Oberfläche die erste feste Kruste bildete. Wenn wir auf die hell leuchtenden Hochländer blicken, schauen wir quasi zurück auf die

Urkuste, die sich während der Entstehung des noch glühenden Mondes formte.

Besonders in der Zeit um Vollmond lassen sich auch im Mare Imbrium kleine, helle Stellen beobachten. Es sind die Höfe hellen Auswurfmaterials junger Krater, die verglichen mit dem Alter des Mondes nur mehrere 100 Millionen Jahre alt sind. Denn während eines Meteoriteneinschlags werden große Mengen an Gesteinsmaterial aus der Oberfläche herausgeschleudert, die sich über Hunderte von Kilometern verteilen. Die dabei entstandenen Krater

Abb. 3: Für ein leichteres Erkennen sind in dieser Zeichnung die schwachen Helligkeitsunterschiede etwas stärker herausgearbeitet.



Beobachtungen zur Entstehungsgeschichte des Mondes

Ganz ohne Hilfsmittel lassen sich auf dem Mond anhand einzelner Oberflächenformationen sogar unterschiedliche Phasen seiner Jahrmilliarden langen Entwicklungsgeschichte beobachten. Nach seiner Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren war der Urmond von einem mindestens 500km tiefen Magmaozean bedeckt. Als er sich allmählich abkühlte, erstarrte zuerst die oberste Gesteinsschicht zu einer ersten festen Oberfläche. Anhand der hellen Hochländer (1) blicken wir zurück auf diese ursprüngliche Kruste. Vor ungefähr vier Milliarden Jahren kam es zu einer erhöhten Anzahl von Einschlägen auf der Mondoberfläche, die mit kleinen und großen Restkörpern der Planetenentstehung bombardiert wurde. Dabei entstanden gewaltige Becken, und an ihren Rändern formten sich mächtige Ringgebirge, wobei sich die Bergkette der Apenninen und des Kaukasus (2) leicht mit bloßem Auge erkennen lässt. Dieser stellenweise bis zu 6000m hohe Gebirgszug bildet den Kraterwall des vor 3,9 Milliarden Jahren entstandenen Einschlagbeckens des heutigen Mare Imbrium. Ein weiteres Zeugnis des gigantischen Imbrium-Impakts ist das Fra-Mauro-Hochland (3), Gestein, das tief aus der Mondkruste herausgerissen wurde und sich 500km entfernt ablagerte. Erst nach dem schweren Bombardement stieg langsam heißes Magma aus dem Mondmantel nach oben und überflutete schließlich die Kraterböden der großen Becken: Die Meere (4) entstanden und gaben dem Mond sein bekanntes Gesicht. Die lunare Lava war besonders dünnflüssig, wodurch sie sich über die zum Teil 1000km großen Krater Ebenen ohne weiteres ausbreiten konnte. Es entstanden bis zu 4000m dicke Basaltdecken, bevor der Mare-Vulkanismus schließlich vor etwa drei Milliarden Jahren größtenteils beendet war. Später erfolgte Einschläge konnten sogar Lavaflächen unter ihrem Auswurfmaterial begraben (5). Die jüngsten Oberflächenmerkmale auf dem Mond stellen die Strahlenkrater dar, die freisichtig allerdings nur als helle Kraterregionen (6) sichtbar sind. Sie zeugen davon, dass die bewegte Geschichte des Erdtrabanten noch bis »heute« anhält.

Entstehungszeiten der Mondformationen

	Entstehung der...	...vor
1	hellen Hochländer	4,5 Milliarden Jahren
2	Apenninen-Bergkette	3,9 Milliarden Jahren (durch Imbrium-Impakt)
3	Fra-Mauro-Region	3,9 Milliarden Jahren (durch Imbrium-Impakt)
4	Mondmeere	4 bis 3 Milliarden Jahren
5	Kryptomare-Region	3,8 Milliarden Jahren
6	hellen Kraterregionen	900 bis 100 Millionen Jahren

Tab. 2: Mondformationen für das bloße Auge: helle Oberflächenmerkmale

Name	Typ	Breite	Länge	Collongitude	Größe ¹	Rükl
Tycho	Krater	-43,3°	-11,2°	10°-13°	85km	64
Montes Apenninus	Gebirge	+20°	-3°	354°-10°	600km	22
Montes Caucasus	Gebirge	+39"	+8°	346°-354°	520km	13
Copernicus	Ringgebirge	+9,7°	-20°	19°-22°	93km	31
Kepler	Krater	+8,1°	-38°	38°	32km	30
Stevinus A	Krater	-31,8°	+51,6°	52°	8km	69
Furnerius A	Krater	-33,5°	+59°	59°	12km	69
Byrgius A	Krater	-24,5°	-63,7°	64°	19km	50
Aristarchus	Krater	+23,7°	-47,4°	48°	40km	18

¹Die Größenangaben geben die wahren Durchmesser der Krater wieder, mit bloßem Auge sind jedoch nur die Kraterregionen bestehend aus Auswurfmaterial sichtbar.

werden als Strahlenkrater bezeichnet, da sich das helle Auswurfmaterial strahlenförmig ausgebreitet hat. Allerdings sind sie freisichtig nur als helle Kraterregionen

ohne Struktur sichtbar, die jedoch immerhin einen Eindruck von den gewaltigen Kräften vermitteln, die bei der Entstehung großer Mondkrater am Werk waren. Als

markanteste Strahlenregion für das bloße Auge erscheint das helle Gebiet des Copernicus, und auch der westlich von ihm gelegene Kepler ist noch leicht auszumachen. Schwieriger dagegen – aber für gute Augen noch sichtbar – ist Aristarchus, der zu beiden im rechten Winkel steht. Einzelne Kraterregionen lassen sich auch in den Terrae erkennen, die helle Region um Tycho ist dabei am auffälligsten.

Ein aufmerksamer Beobachter mit guten Augen kann in seinem Strahlensystem sogar eine leichte Helligkeitszunahme entdecken: Diese ist allerdings nicht auf den Krater selbst, sondern auf »Cassinis hellen Fleck« zurückzuführen. Die Entdeckung des Oberflächenmerkmals durch den französischen Astronomen geht auf das Jahr 1671 zurück, in dem Cassini eine veränderliche »weiße Wolke« in dieser Region sah. Tatsächlich verbirgt sich dahinter der Strahlenkranz des winzigen, nur 4km großen Kleinkraters Hell Q in der Wallebene Deslandres. Besser lässt sich die Stelle sogar in der Morgen- oder Abenddämmerung beobachten, wenn sich dieser kaum auffallende, kleine Lichtklecks südöstlich des Mare Nubium kontrastreicher von Tychos heller Umgebung abhebt.

Durch leichte Helligkeitsunterschiede lassen sich auch an anderen Stellen Kraterregionen in den hellen Hochlandgebieten erkennen, beispielsweise findet sich westlich der Maria Tranquillitatis und Nectaris ein weißlicher, rund 1000km langer Streifen, der gleich aus einer ganzen Reihe auffälliger Strahlenkrater besteht. Aber nicht nur zur Vollmondzeit werden Strahlensysteme erkennbar; in der Nähe des Mondrandes gelegene Krater zeigen sich eher beim zunehmenden und abnehmenden Mond und können auch am Taghimmel gesehen werden. Am Südwestrand befindet sich der Strahlenkrater Byrgius A, während dicht am südöstlichen Rand sogar ein heller Kranz zweier benachbarter Krater beobachtet werden kann: Stevinus A und Furnerius A.

...und die Entstehung des Mare Imbrium

Ein weiteres lohnendes Beobachtungsziel ist ein mächtiges Ringgebirge, das die Maria Imbrium und Serenitatis voneinander trennt und sich als heller, rund 800km langer Streifen leicht freisichtig ausmachen lässt. Hauptsächlich besteht es aus den Mondapenninen, ein kleiner nördlicher Teil wird jedoch durch den Mondkaukasus gebildet – die zwei Bergketten formen dabei insgesamt einen bis zu 6000m ho-

Abb. 4: Diese Vollmondaufnahme gibt die wichtigsten mit bloßem Auge sichtbaren Oberflächenmerkmale mit ihren Bezeichnungen wieder.

hen Gebirgszug. Sie wurden durch den gewaltigen Imbrium-Impakt vor fast vier Milliarden Jahren aufgeworfen, das Ringgebirge gehörte also zum Kraterwall des entstandenen 1250km großen Einschlagbeckens. Durch den anschließend auftretenden Mare-Vulkanismus wurde es schließlich mit einer 2km dicken Lavaschicht überflutet – das Mare Imbrium bildete sich. Im Fra-Mauro-Hochland, 500km nördlich des Mare Imbrium, ging helles Gestein, das während des Impakts aus über 50km Tiefe aus der Mondkruste herausgeschlagen wurde, nieder. Diese Region lässt sich zu Vollmond mit dem bloßen Auge durch den Kontrast zur dunklen Umgebung als weißes, punkartiges oder leicht längliches Merkmal gut erkennen.

Dies sind Beispiele dafür, dass man beim Anblick des Mondes nicht nur einen statischen Himmelskörper sieht; seine sichtbaren Oberflächenmerkmale lassen sogar einen interessanten Blick zurück in die Zeit zu – bis zu seiner Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren (siehe Kasten). So ist der Mond als unser kosmischer Nachbar nicht nur der einzige Himmelskörper, auf dem sich mit freiem Auge Landschaften einer fremden Welt beobachten lassen, sogar einzelne Abschnitte seiner dynamischen Entwicklungsgeschichte werden direkt sichtbar und lassen uns gleichermaßen Teile der feurigen Entstehung der Erde erahnen, deren Spuren über Jahrmilliarden durch Erosion, Plattentektonik und andere geologische Prozesse längst verwischt sind.

Verstecktes Lavameer

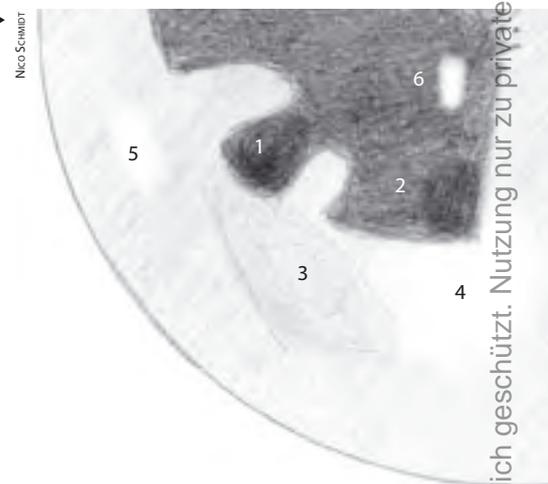
Ein einzigartiges Oberflächenmerkmal lässt sich in der zwischen den Meeren Humorum sowie Nubium und dem Mondrand gelegenen Hochlandregion entdecken, das einen besonderen Einblick in die vulkanische Vergangenheit unseres Erdtrabanten zulässt. Von Vollmond bis zum Letzten Viertel kann ein Beobachter mit bloßem Auge in dieser Gegend eine leicht ovale Fläche erkennen, die in ihrer Färbung dunkler als die Terra-Gebiete, aber heller als die Maria erscheint – die Albedo liegt genau dazwischen (Abb. 5). Um das blendend helle Vollmondlicht zu mindern und dabei den Kontrast dieser Region zu erhöhen, kann z.B. ein neutraler Graufilter verwendet werden; außerdem lässt sie sich



Abb. 5: Auf dieser Zeichnung des südwestlichen Mondareals ist das südlich der Mondmeere Humorum (1) und Nubium (2) gelegene Gebiet der Kryptomare-Region (3) zu sehen. Neben Tychos großem Strahlensystem (4) und dem hellen Kranz des Kraters Byrgius A (5) ist außerdem das Fra-Mauro-Hochland (6) sichtbar.

noch relativ gut zur Dämmerung und sogar am Taghimmel erkennen. Wie bereits erwähnt, ist die leicht grau schattierte Fläche zwischen Mare Humorum und dem Mondrand zu finden, im Osten wird sie durch den hellen Tycho-Hof begrenzt.

Dieses Gebiet besteht u.a. aus so genannten »Hidden Mare«-Ablagerungen, es handelt sich also um eine Region mit »versteckter Lava«, die verdeutlicht, dass es einst Mare-Vulkanismus sogar im Hochland gab. Vielleicht befand sich an dieser Stelle tatsächlich ein Einschlagbecken mit einem kleinen Lavameer oder infolge des Imbrium-Einschlags trat auch hier rotglühendes, geschmolzenes Gestein an die Oberfläche. Durch einen gigantischen Impakt vor 3,7 bis 3,8 Milliarden Jahren, der das riesige Einschlagbecken des heutigen Mare Orientale formte, wurde das



dunkle Basaltgestein schließlich vom herausgesprengten, hellen Auswurfmaterial bedeckt – so entstand das sichtbare Gebiet »intermediärer Albedo«. Die unter dem hellen Oberflächengestein begrabene, 400m dicke Lavadecke erstreckt sich insgesamt über eine Fläche von fast 400000km². Oberflächenmerkmale wie diese werden auch als Kryptomare-Regionen bezeichnet und zeugen wiederum von der feurigen Vergangenheit und dem wandelbaren Bild unseres nächtlichen Begleiters.

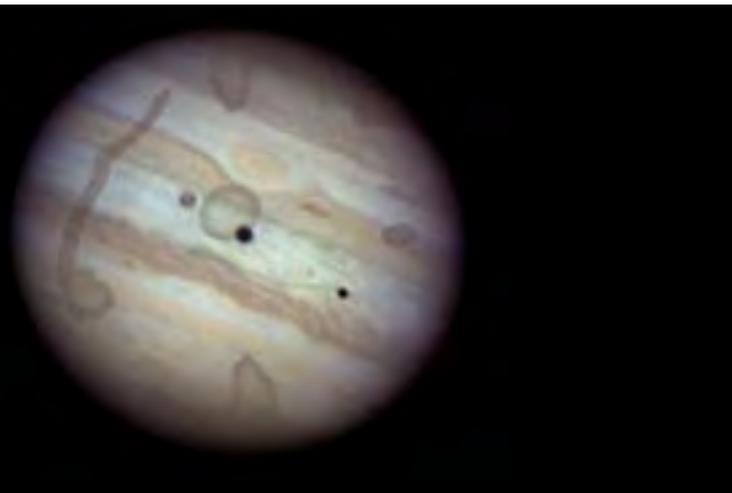
Mücken im Auge



Mouches volantes und ihr Einfluss auf die astronomische Beobachtung

VON UWE PILZ

Zappelnde kleine graue Flecken im Auge, die einfach nicht verschwinden wollen: Vor allem Planetenbeobachter stören die Mouches volantes (frz. »fliegende Mücken«), Unreinheiten des Glaskörpers, beim Fixieren feiner Details. Von Beobachter zu Beobachter treten sie in unterschiedlicher Stärke auf. Wie entstehen diese »Mücken im Auge« und welche Maßnahmen helfen, ihre störende Wirkung zu unterbinden?



Die meisten Menschen haben Mouches volantes schon einmal bewusst wahrgenommen: Wenn man in den blauen Himmel blickt, zeichnen sich krumme, kurze oder längere Fäden und größere Punkte vor dem Hintergrund ab. Es gelingt schlecht, sie direkt anzublicken, denn sie bewegen sich mit den Augenbewegungen. Diese Erscheinung nennt man »Mückensehen« (englisch: eye floaters, französisch: mouches volantes). Es handelt sich dabei nicht um eine Augenerkrankung, sondern um das Abbild von Unreinheiten des Glaskörpers, die durch den Sehprozess scheinbar nach außen verlagert werden.

Entstehung vor der Geburt

Das wahrgenommene Bild entsteht auf der Netzhaut des Auges. Die Lichtstrahlen

durchlaufen dafür zuerst die Hornhaut, die Augenlinse und schließlich den Glaskörper. Alle diese Elemente sollten optisch völlig klar sein, um eine gute Abbildung zu erzielen. Der Glaskörper erfüllt dies nur eingeschränkt. In diesem Bereich des Auges befinden sich Inhomogenitäten, welche die Abbildung verfälschen oder gar Schatten auf der Netzhaut verursachen.

Der Glaskörper besteht zu 98% bis 99% aus einer wässrigen Flüssigkeit, welche von einem Gerüst aus Stützzeiweißen durchsetzt ist. Dieses verleiht dem Glaskörper eine galertartige Beschaffenheit. Der Brechungsindex ist dadurch etwas höher als der von Wasser. In diesem wichtigen Teil des Auges befinden sich kleine Fasern und Klümpchen, die optisch wirksam sind. Ihre Ursache haben sie nicht in einer Fehlkonstruktion der Natur, sondern es handelt sich um ein Zuge-

Abb. 1: Planetenbeobachter fürchten sie: Schlieren im Auge, die das Erkennen feiner Einzelheiten auf dem kleinen Scheibchen verhindern. Dieses »Mückensehen« hat seinen Ursprung in der Physiologie des Auges.

ständnis an die Funktionsweise des Sehapparates, welches die vernünftige Bilderzeugung erst ermöglicht. Hornhaut, Linse und Glaskörper müssen transparent sein: Aus diesem Grund ist es biologisch nicht sinnvoll, diesen Teil des Körpers mit Blutgefäßen zu durchziehen, welche für die Ernährung des Organs eigentlich nötig wären [1, 2].

In der Embryonalphase muss das wachsende Auge jedoch gut ernährt werden. Deshalb wird das Auge zu dieser Zeit von einer Glaskörperarterie (arteria hyaloidea) durchzogen, die sich schon vor der Geburt

zurückbildet. Es verbleiben jedoch ein zentraler Kanal (Cloquetscher Kanal oder Canalis hyaloideus) und einige Bindegewebszellen, welche zu wahrnehmbaren Schattierungen führen. Diese Seheinschränkung ist uns von Geburt an auferlegt. Außerdem befinden sich fast immer weiße Blutkörperchen (Leukozyten) im Glaskörper, welche weniger auffällige, kleine und runde Abbilder erzeugen. Diese geringgradigen Glaskörpertrübungen finden sich in jedem Auge.

Zunahme im Alter

Im Verlaufe des Lebens verstärkt sich das Mückensehen. Hierfür ist das für das Sehen notwendige Fehlen von Versorgungsgefäßen verantwortlich. Die Ernährung des Augapfels und auch der Linse sind hierdurch physiologisch problematisch: Nährstoffe können nur mittels Diffusion in diese Gebiete gelangen. In der Kindheit und Jugend sind die Diffusionsstrecken kürzer, da die Augen kleiner als bei Erwachsenen sind, und die Versorgungslage ist besser. Beim Erwachsenen beginnen zunehmend Zellen in Glaskörper und Linse abzusterben. Dieser Prozess verstärkt sich selbst: Die beginnende Verhärtung von Glaskörper und Linse verschlechtert die Diffusionseigenschaften, so dass sich der Vorgang exponentiell beschleunigt. Sehr kritisch ist dabei, dass nicht nur der Nährstofftransport behindert wird, sondern auch die Konzentration des körpereigenen Zellschutz-Stoffes (Glutathion, GSH) sinkt. Dieser Stoff wird hauptsächlich von der Leber hergestellt und kann auch nur per Diffusion in das Auge eindringen.

Das Absterben von Zellen im Inneren des Glaskörpers und auch der Augenlinse führt zu einer Verschlechterung der Sehleistungen. Allgemein bekannt ist die Altersweitsichtigkeit, welche auf der geringeren Elastizität infolge der toten Zellen der Linse beruht. Ein zweiter Effekt besteht darin, dass sich Zelltrümmer und Abbauprodukte in dem für Stoffe schwer durchlässigen Glaskörpergewebe anreichern und zu einer Zunahme der Mouches volantes führen. Durch ähnliche Prozesse kann es zu einer Linsentrübung, dem so genannten Altersstar (Grauer Star, Katarakt) kommen. Dieser lässt sich zum Glück operativ behandeln.

Auswirkung am Okular

Die Fremdkörper werfen im Auge Schatten und erzeugen zusätzliche Lichtbrechungen. Auffallend ist dies beim Anblick heller Objekte, wobei die Erscheinung bei kleineren Austrittspupillen stärker wird. Beim indirekten Sehen oder bei der Betrachtung

Abb. 2: Aufbau des menschlichen Auges.

Zum Erhalt der optischen Eigenschaften ist das Auge nach der Geburt nicht von Gefäßen durchzogen. Von der Glaskörperarterie des Embryos verbleibt ein Kanal.

zung eher großflächiger, aber lichtschwacher Nebel sind die Mouches volantes nicht zu sehen oder stören kaum.

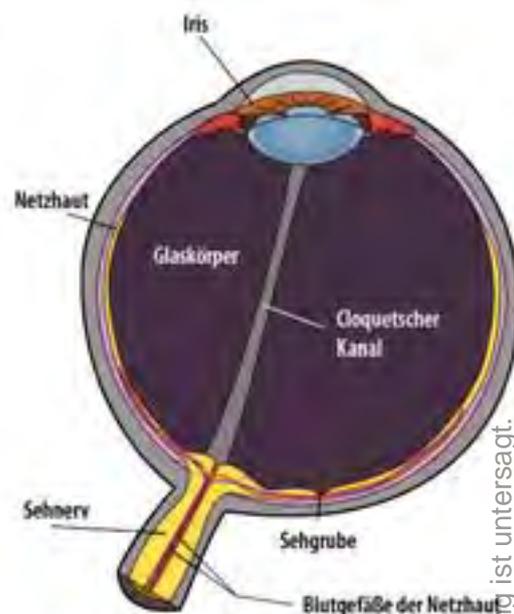
Diese Schein-Bilder können deshalb bei der Sonnen-, Mond- und vor allem der Planetenbeobachtung lästig werden. Insbesondere beim längeren Blick in das Okular – um auf Momente guter Luftruhe zu warten – »schwimmen« die Flecken durch das Sehfeld. Es ist ärgerlich, wenn ein wichtiges Detail eines Planeten gerade dann von einer Unreinheit überdeckt wird, wenn die Luftruhe für einige Sekunden sehr gut ist.

Gegenmaßnahmen

Wenn man einen Planeten beobachtet und durch eine Unreinheit des Glaskörpers gestört wird, dann kann es helfen, das Auge vom Instrument abzusetzen und nach ein paar Sekunden wieder hineinzublicken. Meist ist dann aber die Luftruhe wieder schlechter. Man kann auch versuchen, den Planeten an eine andere Stelle des Bildfeldes zu verschieben.

Mouches volantes wirken sich besonders stark bei kleinen Austrittspupillen aus, die bei hohen Vergrößerungen erzeugt werden. Der Drang, an Planeten möglichst hoch zu vergrößern, ist jedoch nicht immer ratsam. Die Auflösung des Auges beträgt an der Stelle des schärfsten Sehens etwa 1'. Dies entspricht einem Visus von 1,0 – dem Normalwert für große Teile der Bevölkerung. Um dies an die Auflösung des Teleskops anzupassen, genügt eine Vergrößerung von 5,1× je Zentimeter Öffnung oder eine Austrittspupille (AP) von 1,9mm. Selbst wenn man diesen Wert verdoppelt, um nicht knapp an der Auflösungs-grenze zu arbeiten, liegt man bei einer AP von knapp 1mm. Die Empfehlung, für feine Einzelheiten mit der förderlichen Vergrößerung bei einer AP von 0,7mm zu arbeiten, findet hier einen adäquaten Niederschlag. In das kleinere Bild muss man sich zwar »einsehen«, aber die Menge an wahrnehmbaren Details ist am Ende nicht geringer. Belohnt werden wir durch weniger Störungen durch das Mückensehen sowie eine kontrastreichere und farbintensivere Wahrnehmung.

Nur für sehr kontrastreiche feine Einzelheiten wie Doppelsterne oder harte Linienstrukturen empfehlen sich Vergrößerungen mit einer AP von unter 0,5mm.

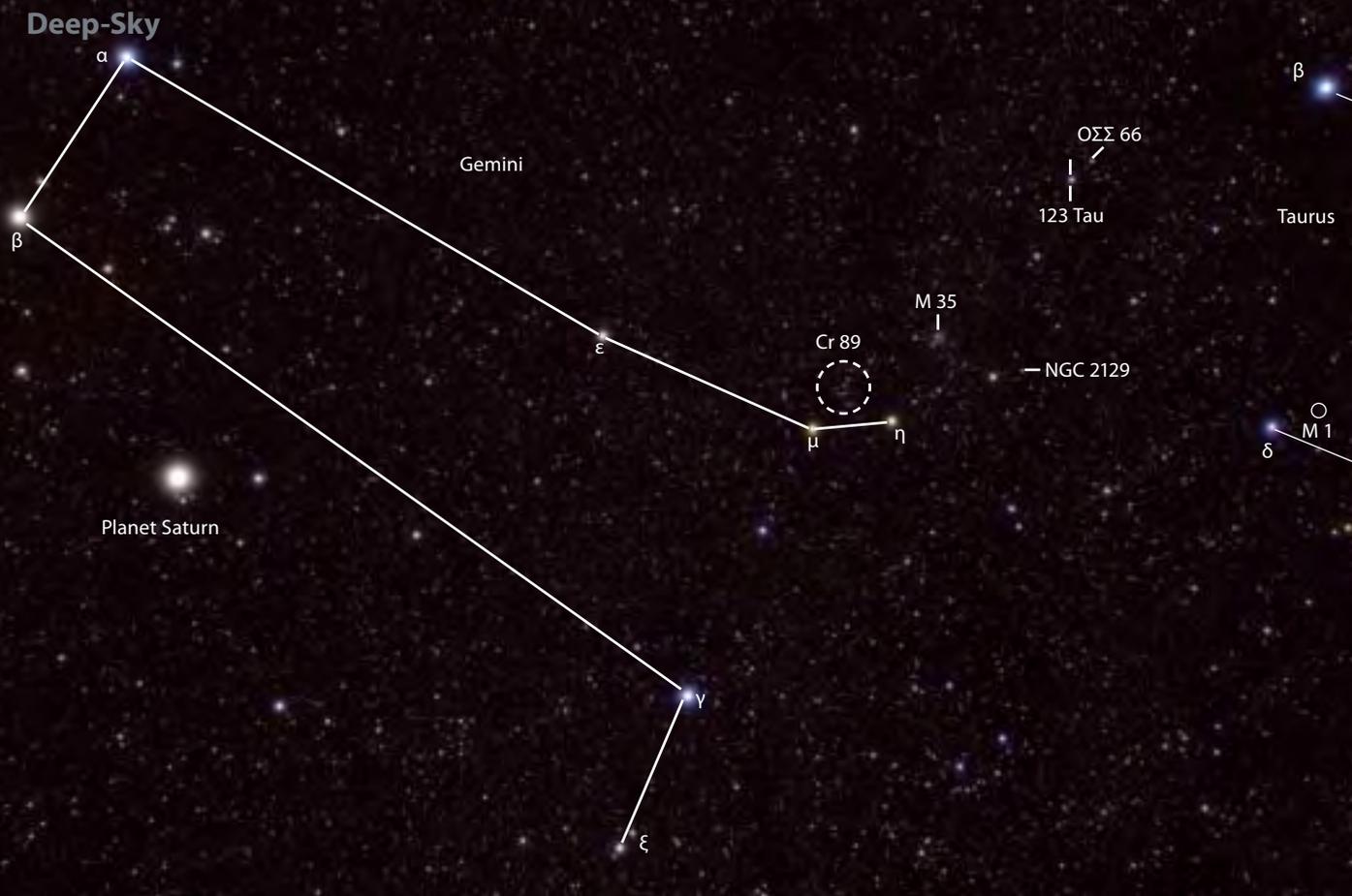


Kontrastreiche Strukturen werden von den Mouches volantes nur gering gestört.

Richtige Teleskopwahl

Im Alter können die Unreinheiten des Auges so weit zunehmen, dass auch bei einer AP von 1mm störende Effekte auftreten. Aber auch hierfür gibt es eine Lösung: Die nutzbare Vergrößerung hängt an den meisten Abenden vom Zustand der Atmosphäre ab. Um eine gute Luftruhe von z.B. 1" auszunutzen, genügt eine Vergrößerung von 120×, gegenüber dem Visus von 1,0 ist dies eine 2-fache Übervergrößerung. Ein Fünfzöller liefert diese Auflösung und ist somit eine gute Wahl. Die Austrittspupille liegt bei diesem Instrument bei etwas über einem Millimeter – und kann im Alter zu gering sein. Wenn stattdessen ein Zehnzöller bei derselben Vergrößerung benutzt wird, dann erreicht man eine AP von 2mm. So wird die vierfache Fläche des Auges durchstrahlt! Möglicherweise muss dann ein Graufilter eingesetzt werden, um die Lichtfülle zu dämpfen. Aber die Unreinheiten des Glaskörpers werden von großen Bereichen überlagert, in denen das Auge besser abbildet. Der Effekt des Mückensehens geht dadurch stark zurück.

- [1] Bucher, O.: Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen, Verlag Huber, Bern (1997)
- [2] Feneis, H.: Anatomische Bildnomenklatur, G. Thieme Verlag, Stuttgart (1967)
- [3] Kanski, J.: Klinische Ophthalmologie: Lehrbuch und Atlas, Elsevier-Verlag, München (2008)
- [4] Herzau, V.: Pathophysiologie des Sehens, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1984)



PETER WIENERROITHER

Deep-Sky-Nächte für Großstadtbeobachter

Zu Füßen der Zwillinge

VON KARL-PETER JULIUS

Der nächtliche Winterhimmel bietet für Großstadtastronomen nicht nur wegen seiner leicht aufzufindenden Sternbilder ideale Bedingungen, sondern auch deswegen, weil seine hellen Sterne häufig den Weg zu interessanten Deep-Sky-Objekten weisen (vgl. interstellarum 58). Wer jetzt zum Beispiel sein Teleskop auf das Sternbild Zwillinge richtet und dann auf die beiden mit bloßem Auge erkennbaren Fußsterne von Kastor schwenkt (η und μ Geminorum), ist bereits mittendrin in einem an Deep-Sky-Objekten reichen Himmelsabschnitt. Freunde heller und großflächiger Sternhaufen kommen dabei ebenso auf Ihre Kosten wie anspruchsvolle Beobachter mit größer dimensionierten Teleskopen.

Collinder 89 – ein Großobjekt für kleine Teleskope

Er ist leicht zu finden und wird dennoch häufig übersehen: Collinder (Cr) 89, ein 5^m7 heller Offener Sternhaufen, liegt rund 1,5° nördlich einer zwischen η und μ Geminorum gezogenen Verbindungslinie. Im schwach vergrößernden Okular (etwa 15 \times) fallen zunächst vier helle

Sterne der 6. bzw. 7. Größenklasse auf, die wegen ihrer lockeren Anordnung kaum den Eindruck vermitteln, dass es sich hier um einen Offenen Sternhaufen handelt. Gleichwohl sind 9, 10, 11 und 12 Geminorum zusammen mit einigen schwächeren Sternen Mitglieder einer physisch zusammenhängenden Gruppe, die sich über eine Fläche von einem Quadratgrad verteilt [2]. Wegen seiner außergewöhn-

lichen Größe wird Cr 89 in der Beobachtungsliteratur – wenn überhaupt – als ein reines Fernglasobjekt geführt. Aber gerade wenn die Sichtverhältnisse ungünstig sind und ein aufgehellter Himmel nur die Beobachtung lichtstarker Objekte zulässt, ist dieser mit lediglich 15 Mitgliedern vergleichsweise schwach besetzte Haufen vor allem für kleine Teleskope ein lohnendes Ziel.

Abb. 1: Das Sternbild Zwillinge – hier besucht vom Planeten Saturn – ist Heimat einiger auch aus der Stadt heraus sichtbarer Deep-Sky-Objekte.

Abb. 2: M 35 und NGC 2158, zwei Sternhaufen unterschiedlichster Entfernung.

M 35 und NGC 2158: enge Nachbarn und doch weit entfernt

Ein völlig anderes Bild bietet das von Cr 89 nur rund 2° nordwestlich liegende Messier-Objekt M 35. Wegen seines Sternreichtums gilt der 5^m1 helle Offene Sternhaufen als eines der prachtvollsten Objekte am Winterhimmel, das weder große Teleskope noch hohe Vergrößerungen oder besonders gute Sichtbedingungen benötigt. Mit einem 80mm-Refraktor blickt man bei typischem Stadthimmel (SQM: 19^m0 bis 19^m3) bereits bei 50× auf ein rund 50 Sonnen umfassendes Sternfeld, dessen wahrer Durchmesser mit 22 bis 28 Lichtjahren angegeben wird [3]. Der Mitte des 18. Jahrhunderts von dem französischen Astronomen de Chéseaux entdeckte Haufen bietet nicht nur einen ästhetischen Beobachtungsgenuss, sondern lädt vor allem dazu ein, sich intensiver mit einigen interessanten Details, insbesondere den markanten Sternformationen, zu beschäftigen. Auffallend ist zum Beispiel im nördlichen Bereich eine leicht gekrümmte Sternkette, die im Norden mit dem Doppelstern OΣ 134 beginnt. Dessen unterschiedlich hell leuchtende Komponenten stehen in einem komfortablen Abstand von 28", so dass sie sich schon bei geringer Vergrößerung unschwer trennen lassen.

Ein Besuch bei M 35 ist aber auch deswegen besonders spannend, weil sich in seiner unmittelbaren Nachbarschaft ein weiterer Offener Sternhaufen befindet, der mit einer Distanz von 12000 Lichtjahren vier- bis fünfmal so weit entfernt ist wie das Messier-Objekt. Damit ist NGC 2158 zugleich eines der entferntesten Objekte unserer Galaxis, die sich optisch beobachten lassen [4]. Kein Wunder also, dass zwischen der Entdeckung von M 35 im Jahre 1747 und dem Auffinden von NGC 2158 durch – dann erheblich besser ausgestatteten – F. W. Herschel rund 40 Jahre liegen. Ab 1783 beobachtete Herschel mit seinem »large 20ft«, einem 18,7"-Reflektor [5]. Und bis heute ist der nur 8^m6 helle NGC 2158 zumindest am Großstadthimmel ein ausgesprochen schwieriges Objekt geblieben. Der Haufen lässt sich zwar recht gut lokalisieren, da er neben einer unmittelbar westlich von M 35 liegenden kreuzförmigen Sternenansammlung liegt und ein 10^m5-Stern im südöstlichen Bereich des Haufens eine gewisse Orientierung bietet. Doch auch bei hohen Vergröße-

rungen bleiben die mit 15^m extrem lichtschwachen Mitglieder von NGC 2158 im 80mm-Refraktor unsichtbar oder erscheinen günstigstenfalls bei indirektem Sehen als ein schwaches Nebelfleckchen. Erst im Achtzöller erkennt man ab ca. 125× eine leichte Granulation.

NGC 2129 und OΣΣ 66 – stellare Schönheiten

Die nächsten beiden Objekte sind leichtere Ziele und allein wegen ihrer stellaren Anordnung lohnenswert. NGC 2129 liegt 2° südwestlich von M 35 und ist eigentlich ein Offener Sternhaufen, dessen rund 70 Mitglieder sich über einen wahren Durchmesser von 10 Lichtjahren verteilen [6]. Dominiert wird der Haufen allerdings von zwei Sternen 7. bzw. 8. Größenklasse, blaue Superriesen mit einer absoluten Helligkeit von -6^M2 bzw. -5^M6, was der Leuchtkraft von 25000 bzw. 14500 Sonnen entspricht [7]. Beide Sterne überstrahlen die übrigen Mitglieder, so dass im kleinen Teleskop nur der Eindruck eines Doppelsterns entsteht. Dieser optische Effekt macht jedoch gerade den Reiz dieses Sternhaufens aus, denn NGC 2129 bildet

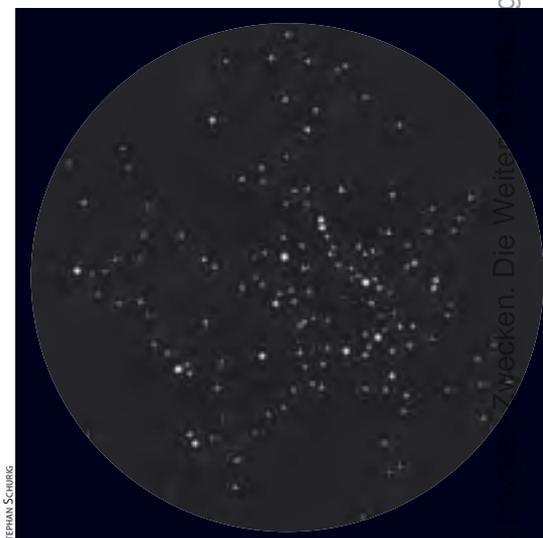


Abb. 3: M 35 aus der Großstadt heraus gezeichnet, 90mm-Refraktor bei 50× und 150×.

mit dem 1° östlich gelegenen, 5^m hellen Stern 1 Geminorum und einem weiteren Sternpaar im Norden ein attraktives Dreieck. Der schönste Anblick dieses stellaren Quintetts ergibt sich im 80mm-Refraktor bei 15×, da sich dann um NGC 2129 keine störenden Haufenmitglieder ins Okular-

Deep-Sky-Objekte für Großstadtbeobachter							
Name	Typ	Sternbild	R.A.	Dekl.	Helligkeit	Größe	DSRA/Uran.
Cr 89	OC	Gem	6 ^h 18,0 ^m min	+23° 38'	5 ^m 7	60'	-/137
M 35	OC	Gem	6 ^h 08,9 ^m min	+24° 20'	5 ^m 1	28'	9, 10/136, 137
OΣ 134	DS	Gem	6 ^h 09,3 ^m min	+24° 26'	7 ^m 6/9 ^m 1	31"	-/-
NGC 2158	OC	Gem	6 ^h 07,4 ^m min	+24° 06'	8 ^m 6	2,5'	9, 10/136, 137
NGC 2129	OC	Gem	6 ^h 00,7 ^m min	+23° 19'	6 ^m 7	5'	9, 10/136
OΣΣ 66	DS	Tau	5 ^h 47,9 ^m min	+24° 41'	7 ^m 0/7 ^m 7	94,3"	-/-
M 1	GN	Tau	5 ^h 34,5 ^m min	+22° 01'	8 ^m 4	5' × 4'	9/135, 136
Σ 742	DS	Tau	5 ^h 36,4 ^m min	+22° 00'	7 ^m 1/7 ^m 5	4"	-/-



PETER WEINBERGER

Abb. 4: M 1 mit dem Doppelstern Σ 742 (linker Rand) – was unter Landhimmel so hell erscheint, kann in der Stadt schnell zur Herausforderung werden.

günstigsten Fall als ein schwaches Nebelfleckchen auftauchen sollte. Beobachter mit kleindimensionierten Teleskopen werden jedoch nur mit äußerster Mühe Anzeichen eines strukturierten Nebels entdecken. In einer Beobachtungsnacht bei einer mit dem Sky-Quality-Meter gemessenen Himmelsqualität von 19^m35 blieb der Krebsnebel – auch bei Verwendung eines [OIII]-Filters – für jede Öffnung unsichtbar. Nebelhafte Umrisse waren erst auf einem länger belichteten Foto zu erkennen, was zeigt, dass M 1 kein visuelles City-Objekt, sondern in erster Linie etwas für Großstadtbeobachter mit astro-fotografischen Ambitionen ist.

Wer beim Krebsnebel erfolglos war, sollte sich als kleine Entschädigung vielleicht noch etwas genauer mit dem bereits erwähnten Σ 742 beschäftigen. Interessant ist der Doppelstern deswegen, weil seine annähernd gleich hellen Komponenten ein binäres System mit einer Umlaufperiode von knapp 3000 Jahren bilden. Da deren Abstand von 4" relativ komfortabel ist, gehört Σ 742 zu den wenigen Doppelsternen, die sich auch mit kleineren Teleskopen trennen lassen. Für den Großstadtbeobachter ist daher vielleicht der unscheinbare Doppelstern in unmittelbarer Nähe von M 1 ein spannenderes Objekt als der Krebsnebel selbst.



RONALD STOYAN

Abb. 5: M 1 im 114/900-Einsteigerteleskop – auch größere Öffnungen zeigen bei Lichtverschmutzung nicht viel mehr.

feld schieben. Ein nebligtes Umfeld erhalten die beiden Sterne bei höheren Vergrößerungen mit indirektem Sehen. Wer den Haufencharakter mit Einzelsternen erspüren will, muss jedoch eine größere Öffnung zur Hand nehmen: Im Vierzöller füllen bei 200 \times elf Sterne das Okularfeld aus. Übrigens ist NGC 2129 auch in astrometrischer Hinsicht ein bemerkenswertes Objekt, da er sich ziemlich genau am nördlichsten Punkt der Ekliptik befindet.

Eine ähnlich attraktive Sternkonstellation findet man, wenn man das Teleskop von NGC 2129 rund 3° nordwestlich be-

wegt. Dann erscheinen 132 Tauri und O $\Sigma\Sigma$ 66, ein Sternpaar mit 7^m0 und 7^m7 hellen Komponenten, die ein weiter Abstand von knapp 100" trennt. So entsteht insgesamt der Eindruck eines spitzen Sternendreiecks, das in einem sternarmen Umfeld schwebt und so bei schwacher Vergrößerung ein besonders schönes Bild bietet.

M 1 – ein schwieriger Nebel mit interessantem Nachbarstern

Unter einem idealen Landhimmel wäre das nächste Objekt der krönende Abschluss jeder Beobachtungstour. Über M 1, den sog. Krebsnebel, gibt es eine Fülle von Beobachtungsberichten und Beschreibungen, die auch den Amateurastronomen über die besondere astrophysikalische Bedeutung des ersten Objekts in Messiers Liste aufklären. Unter dunklem Himmel wird M 1 sogar als Feldstechertipp behandelt [7–9].

Günstig ist auch für Großstadtbeobachter, dass sich zumindest die Position des Krebsnebels recht leicht lokalisieren lässt. Von 132 Tauri und O $\Sigma\Sigma$ 66 schwenkt man das Teleskop etwa 4° südwestwärts und gelangt so zu dem 3^m-Stern ζ Tauri. Mit ζ Tauri bilden zwei nördliche Sterne 7. Größenklasse ein nahezu gleichseitiges Dreieck, wobei es sich bei dem westlichen Stern des Trios um den Doppelstern Σ 742 handelt. Dieser kann sehr gut als Fokussierhilfe für den nur knapp 0,5° westlich liegenden Krebsnebel dienen, der im

- [1] Julius, K.-P.: Drei Wintersterne und ihre Umgebung, interstellarum 56, 48 (2008)
- [2] Archinal, B. A., Hynes, S. J.: Star Clusters, Willmann-Bell, Richmond, Virginia (2003)
- [3] Stoyan, R.: Deep Sky Reiseführer, Oculum-Verlag, Erlangen (2004)
- [4] Stoyan, R.: Atlas der Messier-Objekte, Oculum-Verlag, Erlangen (2006)
- [5] Steinicke, W.: Nebel und Sternhaufen, Geschichte ihrer Entdeckung, Beobachtung und Katalogisierung, Books on Demand, Norderstedt (2009)
- [6] Crossen, C., Rhemann, G.: Sky Vistas, Springer, Wien (2004)
- [7] Spix, L.: Feldstechertipp. M 1: Sterntod im Stier, Astronomie Heute 1–2/2008, 84 (2008)
- [8] Schmidt, N.: Astronomie mit dem Fernglas, Messiers Nummer 1, interstellarum 55, 30 (2008)
- [9] Scagell, R., Frydman, D.: Stargazing with binoculars, Philip's, London (2007)

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

Wie beobachtet man den Hesiodus-Strahl auf dem Mond?

Der Mond ist faszinierend. Wann immer wir unseren Trabanten im Teleskop sehen, bietet er einen anderen Anblick: Keine zwei Mondansichten sind identisch. Die Veränderung von Licht und Schatten ist an der Beleuchtungsgrenze besonders deutlich zu sehen. Diese Lichtgrenze bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 15 Kilometern pro Stunde über den Mond. Der schräge Lichteinfall wirft lange Schatten, die sehr viel rasanter über die Mondoberfläche eilen. Da sie stets andere, aber charakteristische Formen annehmen, ist ihre Veränderung schon nach einigen Minuten wahrnehmbar.

Seltener sind rasch veränderliche Lichtfiguren. Sie entstehen, wenn die Sonne durch eine schmale Lücke eines Kraterands fällt und eine Stelle beleuchtet, deren Umgebung noch völlig in Dunkel gehüllt ist. Solche Erscheinungen erfordern einen flachen Beleuchtungswinkel, der bei Sonnenauf- oder -untergang in der interessierenden Region gegeben ist.

Das Paradeobjekt hierfür ist der Hesiodus-Strahl. Seit 1996 ein Artikel über dieses Phänomen in »Sky & Telescope« [1] erschien, wurde diese Erscheinung oft beobachtet – auch interstellarum-Leser berichteten mehrfach darüber [3–5]. Die Sichtung des nicht allzu hellen Lichtstrahles gelingt mit einem Linsenteleskop ab etwa 80mm Öffnung oder einem Spiegelteleskop ab etwa 100mm Öffnung. Die Vergrößerung sollte zwischen 100× und 200× liegen.

Die beteiligten Krater Pitatus und Hesiodus liegen am Südrand des Wolkenmeers (Mare Nubium), nahe der langen Wand (Rupes Recta). Die Region ist im Rühl-Mondatlas [2] auf Karte 54 dargestellt. Kurz bevor die Sonne über Hesiodus aufgeht, scheint das Licht der aufgehenden Sonne durch einen Spalt der Kraterwand, die Hesiodus und Pitatus trennt. Hierdurch wird der Kraterboden von Hesiodus in zwei Hälften geteilt, ein sehenswerter Anblick.

Das erste Anzeichen des Strahles ist eine kleine beleuchtete Stelle auf Hesiodus' westlicher Innenseite. Der Kraterboden liegt zu diesem Zeitpunkt noch völlig im Dunkeln. In kleinen Instrumenten ist dieser kleine Lichtschein nur schwierig zu sehen. Der eigentliche Strahl breitet sich zuerst in der Westhälfte des Kraterbodens aus und wächst recht schnell nach Osten. Dabei wird er zunächst auch etwas breiter, was durch die Form des Spalts in der Kraterwand verursacht wird. Schließlich entsteht eine schmale dreieckige Lichtfigur, welche den gesamten Boden des Kraters Hesiodus überstreicht. Auch einige Zeit später, wenn Hesiodus' Westhälfte schon erleuchtet ist, kann der Strahl noch erkannt werden. Der gesamte Verlauf zieht sich über mehr als drei Stunden hin.

Jeder Strahlenverlauf ist etwas anders: Der Mond steht einmal nördlicher und einmal südlicher der Ekliptik, wodurch die Sonne bei ihrem Aufgang auf dem Mond aus leicht unterschiedlicher Richtung scheint.

Es ist damit zu rechnen, dass die vorhergesagten Zeitpunkte nicht auf die Minute genau sind, weil die Berechnung lediglich auf Vergleichen mit früheren Beobachtungen beruht. Es ist zweckmäßig, eine halbe Stunde vor dem angekündigten Termin mit der Beobachtung zu beginnen.

Die Sonne geht zu jeder Lunation über Hesiodus auf. Dennoch sind gut beobachtbare Ereignisse nicht allzu häufig. Oft steht der Mond unter dem Horizont oder das Geschehen vollzieht sich am Tage. Die Tabelle gibt eine Vorhersage für die nächste Zeit.

- [1] MacRobert, A.: The Sunrise Ray in Hesiodus, *Sky & Telescope* 92 Nr. 1, 74 (1996)
- [2] Rühl, A.: *Mondatlas*, Verlag Werner Dausien, Hahnau (1999)
- [3] Viertel, A.: Lichtstrahl im Mondkrater Hesiodus am 8.3.2005, *interstellarum* 44, 7 (2006)
- [4] Spix, L.: Lichtstrahl im Hesiodus, *interstellarum* 52, 65 (2007)
- [5] Vollmann, W.: Lichtstrahl im Mondkrater Hesiodus am 25. Mai, *interstellarum* 53, 68 (2007)

Surftipps

Digital Lunar Dome Archive:

luna.uai.it/Duomi/html/body_download.htm

The Robinson Lunar Observatory:

www.lunar-occultations.com/rlo/rays/rays.htm

Sichtbarkeit des Hesiodus-Strahls von 2009 bis 2012*

Datum	Zeit	Mondhöhe für Nürnberg	Libration in Länge	Libration in Breite	Colongitude
22.2.2010	23:30 MEZ	33°	-7,05°	-3,78°	18,61°
23.4.2010	03:06 MESZ	3°	-1,89°	+3,76°	18,84°
21.6.2010	00:44 MESZ	6°	+4,76°	+6,71°	18,21°
16.10.2010	21:03 MESZ	26°	+3,86°	-4,10°	17,17°
15.12.2010	01:12 MEZ	4°	-2,15°	-6,80°	17,84°
13.1.2011	16:45 MEZ	48°	-5,03°	-5,67°	18,31°
13.3.2011	22:10 MEZ	45°	-8,04°	+0,57°	18,87°
11.5.2011	23:27 MESZ	30°	-4,89°	+6,34°	18,51°
4.11.2011	18:42 MEZ	34°	+5,91°	-6,65°	17,52°
3.1.2012	01:04 MEZ	13°	+0,69°	-4,62°	18,43°
22.11.2012	18:08 MEZ	38°	+7,11°	-5,91°	18,09°

*berechnet mit Lunar Observer's Toolkit



Die Skizze des Autors illustriert das Phänomen: In den Krater Hesiodus am Südrand des Mare Nubium fällt ein Lichtstrahl, wenn die geometrischen Bedingungen stimmen.

Astrofotografie automatisiert

Der LVI-Smartguider im Praxistest

VON SIGHARD SCHRÄBLER UND STEFFEN BEHNKE

Separate CCD-Kameras, die die Nachführkontrolle für den Astrofotografen übernehmen, so genannte Autoguider, haben die Astrofotografie revolutioniert und lange Belichtungszeiten sehr erleichtert. Als die ST-4 von SBIG 1991 auf den Markt kam, war die CCD-Technik noch in den Anfängen. Tiefe Deep-Sky-Aufnahmen entstanden auf chemischem Film und Belichtungszeiten von 45 Minuten waren der Normalfall. Gründe für nicht perfekte Nachführung gab und gibt es viele: ungenaue Teleskop-Aufstellung, periodischer Fehler der Schneckenräder, nicht exakt senkrechte Achsensysteme, Umkehrspiel im Getriebe, atmosphärische Refraktion und Windlast.



Abb. 1: Astrofotografie mit parallel montiertem Aufnahme- (links) und Leit-Fernrohr (rechts) ist heute Standard. Setzt man einen Autoguider ein, entfällt die mühsame manuelle Nachführkontrolle. Der LVI-Smartguider kann im Unterschied zu anderen Autoguidern im »Stand alone«-Betrieb ohne PC verwendet werden.

Jeder, der die manuelle Nachführkorrektur einmal selbst angewandt hat, weiß wie anstrengend sie ist. So spaltete die ST-4 seinerzeit die Gemeinde der Astrofotografen: Für die einen war es ein unfaires Hilfsmittel im Wettbewerb um die besten Bilder, für die anderen eine weitere Methode, noch bessere Aufnahmen zu machen.

Man tauschte das Fadenkreuzokular am parallel angebrachten Nachführteleskop gegen das Sensorauge und verband das Steuergerät mit der Nachführkontrolle. Der Regelkreis war fortan geschlossen, ohne den Menschen als schwächstes Kettenglied zu enthalten. Heute gehören Autoguider längst zum Stand der Technik, viele Astrofotografen setzen sie ein.

Die italienische Firma LVI hat sich auf den Weg begeben, die Nachfolge jenes legendären Autoguiders ST-4 anzutreten – mit neuer Technik und vereinfachtem Bedienkonzept. Der »Smartguider« ist im Prinzip eine digitale Kamera, die jedoch keine Bilder liefert, sondern lediglich die Verschiebung gegenüber der ersten Aufnahme erkennt. Mit dieser Information wird fortlaufend die Nachführung korrigiert. Ein Bilddetail muss im Rohbild zumindest sichtbar sein, um es verarbeiten zu können; in der Praxis macht es deshalb einen deutlichen Unterschied, ob 10×2 Minuten oder 2×10 Minuten belichtet werden.

Testarrangement

Der LVI-Smartguider wurde in fünf Nächten mit dem Ziel getestet, die Grenzen der erreichbaren Ganggenauigkeit und der nachführbaren Brennweite auszuloten. Dazu wurde die Nachführgenauigkeit und das Steuerverhalten beobachtet, während an einer zweiten Optik auf der gleichen Montierung fünfminütige Serienaufnahmen gut bekannter Messier-Ob-

jekte entstanden. Zur Verfügung standen neben dem Smartguider eine Kamera EOS 450D, ein fotografischer Refraktor mit 3" Öffnung und 500mm Brennweite, ein Nachführrefraktor mit 3,5" Öffnung und 600mm Brennweite, ein Nachführrefraktor mit 3,5" Öffnung und 1200mm Brennweite, eine veränderbare Barlowlinse zur Brennweitenverlängerung und eine Sphinx SXD-Montierung. Außerdem wurde ein »Trockentest« mit einer optischen Bank mit 360mm-Objektiv und künstlichem Stern vorgenommen.

Inbetriebnahme

Die Verkabelung ist denkbar einfach: Es gibt drei Kabel zu verbinden: Kamerakopf, Stromversorgung und Guider-Port. Ferner sind nur wenige Tasten zu bedienen: Links, OK und Rechts. Die Anzeige besteht aus einem grafikfähigen LC-Display, die Farben sind in nachtsichtfreundlichem Rot auf Schwarz gehalten. Nach Anlegen von 12V-Betriebsspannung aus einem extra zu beschaffenden Netzteil erwacht das Gerät zum Leben. Nachführung und Fokussierung können mit dem mitgelieferten, konfokalen Okular überprüft werden. Der Stern wird dadurch schon annähernd scharf und mittig auf dem Chip abgebildet. Ein Druck auf die OK-Taste führt zur Meldung »star found«, allerdings auch dann, wenn noch die Schutzkappe auf dem Kamerakopf aufgesetzt ist; »star found« bedeutet also so viel wie »Die Verbindung zur Kamera konnte hergestellt werden – bitte warten«.

Probe am künstlichen Stern

Der Test auf der Optischen Bank mit einem 360mm-Objektiv $f/5,6$ und einer 10m entfernten roten Leuchtdiode im nächtlichen Garten führt nach Minuten des Wartens immer wieder zur Meldung »star lost«. Der gleiche Aufbau, ein 5m entfernter Monitor und das Programm Artistar, das einen mit Tasten bewegbaren, künstlichen Stern auf dem Monitor darstellt, führt erneut zur Meldung »star lost«. Das ist ein unübliches Verhalten, andere Autoguider lassen sich auf diese Weise testen. Mit einem echten Stern kommt der Smartguider jedoch besser klar, wie die Tests am Refraktorduo zeigen.

Initialisierung

Nachdem die elektrischen Verbindungen über die Guider-Schnittstelle am Starbook der Sphinx-Montierung herge-

Der LVI-Smartguider in der Praxis

- + Verlängerung der nutzbaren Belichtungszeit
- + Verbesserung der Bildqualität
- + Zunahme der erreichbaren Grenzgröße
- + PC oder Laptop werden nicht benötigt
- + Drei-Tasten-Bedienung
- + Einstellbare »Aggressivness«
- + Konfokal-Okular zur Erleichterung von Fokussieren und Zentrieren
- keine Rechnerschnittstelle vorhanden, um Bilder auszulesen
- Schwierigkeiten mit langen Brennweiten und hellen Sternen
- die Montierungs-Ansteuerung kann nicht einzeln getestet werden
- Geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit
- Kaum Einfluss auf die Wahl des Leitsterns und die Belichtungszeit
- Leitstern geht leicht verloren
- Test nur am Nachthimmel möglich
- 1/4"-Okularstutzen lässt sich nicht abschrauben

Technische Daten des LVI-Smartguiders

- ungekühlter 1/3"-CMOS-Sensor Aptina MT9V032 mit elektronischem Shutter
- Handsteuergerät mit rot-schwarzem, grafikfähigem LC-Display
- Versorgung mit 12V DC (nicht mitgeliefert)
- Ansteuerung der Montierung über masseseitige Schalter (»Guider Port«)
- 0,2Hz-Vollbildfrequenz beim Fokussieren (1 Bild alle 5s)
- automatischer Helligkeitsabgleich mindestens 45s
- Probeansteuerung der Montierung mindestens zwei Minuten
- konfokales 9mm-Okular zum Fokussieren (mitgeliefert)
- unterstützte Montierungen u.a. Vixen Sphinx, Synta HEQ5 + EQ6, Celestron CGE und Losmandy Gemini
- Zusätzlich benötigt wird ein Off-Axis-Guider oder ein Nachführteleskop auf der gleichen Montierung
- Listenpreis 428€

interstellarum-Tests

Wirklich neutrale Aussagen über Teleskope und Zubehör – das wünschen sich viele Sternfreunde. Die vielfach veröffentlichten, fälschlicherweise als »Test« ausgegebenen Erfahrungsberichte in Zeitschriften und dem Internet sind nicht dazu geeignet. Oft hat man den Eindruck, dass Händlerinteressen die Artikel prägen.

interstellarum geht einen anderen Weg: In Zusammenarbeit mit den Herstellern und Händlern entstehen Tests, die eine Relativierung der Aussagen erlauben. Bewusst wird auf subjektive Wertungen verzichtet und dem Leser selbst die Möglichkeit gegeben, anhand der geschilderten Eigenschaften sich für eines der Produkte zu entscheiden.

Mehr über unsere Test-Grundsätze und bereits erschienene Berichte können Sie auf www.interstellarum.de nachlesen.

stellt sind, wird Wega eingestellt und das mitgelieferte 9mm-Okular im 600mm-Nachführrefraktor fokussiert. Am fotografischen Refraktor ist bereits die Kamera EOS 450D von Canon angebracht. Das Ziel sind mehrere fünfminütige Aufnahmen vom Hantelnebel M 27 im Füschen. Ganz in der Nähe von M 27 findet sich ein geeigneter Nachführstern, der visuell

zentriert wird. Schnell ist das Okular gegen den Kamera-Kopf des Smartguiders getauscht.

Mit einem Druck auf die OK-Taste startet der Smartguider die Sternsuche. Nach 45 Sekunden werden Position und Durchmesser grafisch und als Zahlenwert angezeigt. Alle fünf Sekunden folgt ein weiterer Messwert, was als langsam empfunden



Abb. 2: Die für den Test verwendete Konfiguration: Vixen Sphinx SXD-Montierung mit fotografischem 3"-Refraktor mit 500mm Brennweite und 3,5"-Nachführrefraktor mit 600mm Brennweite.



wird, die Einstellungen sind jedoch schon nach ein paar Korrekturen gut genug.

Ein Druck auf OK startet den Kalibriervorgang, wobei sich die Montierung in beiden Achsen und beiden Richtungen bewegt. Allerdings verliert der Smartguider den Stern wieder, wenn in der Deklinationssachse etwas Getriebespiel auftritt. Mit modifizierten Korrekturgeschwindigkeiten der Montierung (diese Einstellung ist jedoch nicht bei allen Montierungen möglich), nämlich halber siderischer Rate in Rektaszension und 0,6facher Rate in Deklination startet ein weiterer Durchgang. Leider muss man dabei wieder ganz am Anfang mit der Leitsternzentrierung beginnen. Diesmal wird die Kalibrierung erfolgreich abgeschlossen.

Fehlerquellen

Ein weiterer Druck auf die OK-Taste startet die Nachführung. Es erscheinen zwei Graphen für die zu korrigierenden Achsen Rektaszension und Deklination, die im Vergleich zur bisherigen Anzeigefrequenz relativ schnell aufgebaut werden. Das ist einer der Vorteile von CMOS-Bildsensoren: Wenn man genau weiß, dass nur ein kleiner Bildausschnitt benötigt wird, dann muss nicht das gesamte Bild heruntergeladen werden. Der Preis für diese Optimierung ist die Tatsache, dass mit dem winzigen ausgelesenen Bildfeld ein kleiner Stoß an die Montierung genügt, um den Smartguider aus dem Konzept zu bringen. Die Nachführung läuft auch ohne mutwillige Störung noch unruhig und muss große Korrekturen wieder gekorrigieren.

Um derartiges Verhalten abzustellen, kann die Nachführkorrektur mit der OK-Taste ausgesetzt werden, um die »Aggressiveness« des LVI zu variieren; sie ist ein Maß für die Pixelabweichung, die ein Eingriff zeitigt. Sie lässt sich in mehreren Stufen von »Low« über »Medium« bis »High« einstellen. Das Ziel dabei ist eine agile, aber immer noch stabile Nachführregelung. In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine dauerhafte Abweichung von mehr als zwei Einheiten im Nachführgraphen bereits zu Strichspuren in der Aufnahme führen, wenn Kamera und Guider mit annähernd derselben Brennweite arbeiten.

Läuft die Montierung zwar ruhig, aber bei großen tolerierten Ausschlägen, dann sind die Aufnahmen demnach auch verdorben. Neben der Variation der »Aggres-

siveness« kann man noch versuchen, die Korrekturgeschwindigkeiten an der Montierung auf Werte kleiner $0,5\times$ siderisch zu reduzieren. Dabei kommt jedoch das Umkehrspiel in der Deklinationssachse zum Tragen, woraufhin der Smartguider die Ansteuerung in dieser Achse verweigert. Die Rektaszensionsachse ist bezüglich des Umkehrspiels unkritisch, weil sie ständig in die gleiche Richtung bewegt wird und damit vorgespannt ist. Einstellmöglichkeiten für Umkehrspiel, Nachführbrennweite und Seeing wie beim Vorbild, dem ST-4-Autoguiding, sucht man im Smartguider leider vergeblich.

Im nächtlichen Einsatz

Im Betrieb mit optimalen Einstellungen, die man durch umfangreiches Ausprobieren findet, gelingen im Schnitt etwa 30 von 35 Aufnahmen. Hin und wieder werden Strichspuren durch Überkorrektur erzeugt. Das ist der Guider-Schnittstelle geschuldet, die Korrekturen nur über die Dauer des Eingriffs steuern kann. Weil das Umkehrspiel der Montierung nicht eingestellt oder ausgemessen wird, muss mit geringen Korrekturgeschwindigkeiten und folglich auch mit langen Eingriffszeiten gearbeitet werden. Während jedoch eingegriffen wird, kann nicht gleichzeitig gemessen werden. Dadurch entstehen prinzipbedingt Totzeiten, die einer stabilen Regelung abträglich sind. RS232-basierte Autoguiding (LX200- & ASCOM-Protokoll) sind hier klar im Vorteil, denn sie können ohne Zeitverzug bereits in einem kurzen Befehl angeben, um wie viele Bogensekunden die Montierung bewegt werden soll [2, 3].

Ohne Smartguider, also unkorrigiert nachgeführt, sind an der Sphinx-SXD-Montierung bei 500mm Brennweite auf der Deklination von M 27 60s-Aufnahmen gerade noch frei von Strichspuren. Mit Smartguider sind die Bilder gemäß Kamera-Histogramm für eine Empfindlichkeit von ISO 800 nach 5 Minuten ausbelichtet. Wir beobachten also eine Verlängerung der nutzbaren Belichtungszeit um das Fünffache und damit eine Verbesserung der Bildqualität bezüglich des Störabstandes zwischen Bildsignal und Rauschen um etwa das Doppelte. Der Gewinn an Sternengrenzgröße im Vergleich zur unkontrolliert nachgeführten Montierung liegt bei 1^m75 . Einen größeren Nutzen entfaltet die Technik im Rhein-Main-Gebiet nicht,

Abb. 3: Die Fokussierungs-Anzeige des Smartguiders. Eine Aktualisierung erfolgt alle fünf Sekunden.

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

dafür ist der Himmel nicht dunkel genug. In Namibia wird das Ergebnis natürlich noch deutlicher ausfallen.

Mit einem 3,5"-Nachführrefraktor mit 1200mm Brennweite wird der Nachführstern zwar immer noch gefunden, aber schon die Kalibrierung der Montierung ist schwierig. Kurze Zeit nach Einsetzen der Nachführkorrektur verliert der Smartguider den Stern. Daran können auch andere Einstellungen nichts ändern. Vergrößert man die Brennweite mittels einer Barlow-Linse weiter auf 1500mm, gelingt selbst die Kalibrierung kaum noch. Große Brennweiten lassen sich mit dem Smartguider auf der Sphinx-SXD nicht korrigiert nachführen! Wie Versuche mit anderen Autoguidern belegen, liegt das nicht an der Montierung. Das ist schade, denn gerade lichtschwache Cassegrains mit Brennweiten größer als 2000mm könnten am meisten von einer Nachführkorrektur profitieren.

Fazit

Der Smartguider kann die Nachführungsgenauigkeit der vom Hersteller angegebenen Montierungen verbessern, wenn für Aufnahme und Nachführung lichtstarke Optiken mit Brennweiten deutlich kleiner als 1500mm zum Einsatz kommen. An größeren Brennweiten macht die Luftunruhe der Sternerkennung deutlich zu schaffen. Das Umkehrspiel der Montierung, die Brennweite der Optik, die herrschende Luftunruhe und die notwendige Belichtungszeit werden nicht eingegeben, sondern völlig eigenständig modelliert. Die einzigen für den Benutzer zugänglichen »Stellschrauben« sind die »Aggressiveness« des Smartguiders und – sofern einstellbar – die Korrekturgeschwindigkeit der Montierung.

Die Anzeigefrequenz während der Fokussierung mit einem Messwert alle fünf Sekunden wird als deutlich zu langsam empfunden. Dabei wird das vom Kamerakopf gesehene Bildfeld nicht zur Anzeige gebracht. Die wesentlich schnellere Anzeigefrequenz während der eigentlichen Nachführung ist dagegen durch eine enorme Einschränkung des ausgewerteten Bildareals erkauft und macht den Smartguider dadurch anfällig gegen Windlast und Erschütterungen. In den Versuchen mit dem kurzbrennweitigen Refraktorduo gelangen im Schnitt etwa 86% der Aufnahmen.

Für die gebotene Leistung und gemessen am Stand der verbauten Technik ist der Smartguider teuer. Das mag entschuldbar

Wie nützlich ist ein Autoguider?

- Für Aufnahmen mit Weitwinkel- oder leichten Teleobjektiven braucht man keinen Autoguider, denn auch ohne diesen reicht die Ganggenauigkeit der meisten Montierungen aus, um kontrastreiche Rohbilder bei mittlerer Kameraempfindlichkeit und abgeblendeter Optik zu erhalten.
- An kurzbrennweitigen, lichtstarken Refraktoren und meist noch lichtstärkeren Newton-Reflektoren bringt der Autoguider eine sichtbare Verbesserung, denn die Belichtungszeiten der Einzelaufnahmen lassen sich in etwa verzehnfachen, dadurch kann die hohe Kameraempfindlichkeit auf einen mittleren Wert zurückgenommen werden, wodurch das überproportional hohe Rauschen von hoch empfindlich eingestellten DSLR-Kameras vermieden wird. Zugleich steigt der Dynamikumfang und das sieht man den Rohbildern sowie dem Endergebnis an.
- Eine Offenbarung ist die automatische Nachführkorrektur an großen, aber meist lichtschwachen Cassegrains. Diese Geräte haben aufgrund ihrer meist beachtlichen Öffnung ein nur durch Luftunruhe begrenztes Auflösungsvermögen und das Potenzial, auch hundert Millionen Lichtjahre entfernte Galaxien noch mit zahlreichen Details abzubilden – allerdings nur mit langen Einzelbelichtungszeiten. Unkorrigiert sind die fotografisch meist überforderten Gabelmontierungen oftmals nur in der Lage, 10s lang punktgenau und ohne Strichspuren nachzuführen. Durch das geringe Öffnungsverhältnis ($f/10$) bringt jede Verdopplung der Belichtungszeit – bei sonst gleichen Einstellungen – Objekte von fast einer weiteren Größenklasse scheinbarer Helligkeit über die Sichtbarkeitsschwelle. Eine starke Verringerung der effektiven Brennweite im Cassegrain-Fokus durch so genannte »Reducer-Linsen« ist keine passable Lösung, weil große Bildaufnehmer wie z.B. in einer DSLR-Kamera dann nicht mehr bildfüllend ausgeleuchtet werden. Der Tunnelblick einer stark vignettierenden Optik wäre die Folge. Cassegrains sind bauartbedingt langbrennweitig ausgelegt und daher besonders anfällig für Nachführfehler.
- Es ist auf jeden Fall eine hohe Kunst, lange Brennweiten nachzuführen, denn durch die Luftunruhe tanzt der Stern – korrigiert werden sollte jedoch nur die mittlere Drift! Will man auch das Seeing, also die schnelle Änderung korrigieren, kann man nicht an der Montierung ansetzen, denn die ist dafür viel zu träge und hat Umkehrspiel. Man benötigt dafür eine Adaptive Optik. Separate Autoguiders haben aber heute noch keine Möglichkeit, ja nicht einmal eine definierte Schnittstelle, um auf eine Adaptive Optik zuzugreifen.
- Der Autoguider weiß von all dem nichts. Er versucht das, was nahe liegt, nämlich jegliches Abweichen sofort zu korrigieren. In der Regelungstechnik gibt es eine einfache Regel, ein Stabilitätskriterium, das besagt, dass die Ansteuerung nicht schneller wechseln darf, als der Aktuator folgen kann. Genau das gilt auch hier. Es ist eine vitale Eigenschaft des Autoguiders, die Reaktionsgeschwindigkeit so einstellen zu können, dass die Montierung, nicht überfordert wird. Ist das nicht möglich, dann bekommt man insbesondere bei langen Brennweiten eine instabile Regelung.
- Eine grandiose Innovation wäre daher die Kombination von Guider und Adaptiver Optik in einem Gerät. Dadurch würde die Trägheit der Montierung für alle denkbaren Kameras überwunden. Schnelle, aber kleine Sternbewegungen könnte die Adaptive Optik direkt übernehmen, langsame, aber große Bewegungen würden an die Montierung weitergegeben. So ließen sich lange Brennweiten sicher nachführen, die Luftunruhe reduzieren und das Auflösungsvermögen großer Teleskope auch im Amateurbereich gut nutzen. Im Rahmen des technisch Machbaren ist das schon lange, es wurde nur noch nie in dieser Konfiguration angeboten.

Das Gerät wurde zur Verfügung gestellt von Tele-Optic Tecnica, Frankfurt/Main.



Abb. 4: Beispielaufnahmen mit Verwendung des LVI-Smartguiders, jeweils aufgenommen mit 3"-Refraktor, 500mm Brennweite, Kamera Canon EOS 450D bei 800 ISO, Nachverarbeitung in Fitswork. Nachführung mit LVI-Smartguider am 3,5"-Refraktor, 600mm Brennweite.

- a) M 13, 9x5min (Ausschnitt)
- b) M 27, 20x5min (Ausschnitt)
- c) M 81, M 82, 17x5min (Ausschnitt)
- d) M 31, 25x5min (Vollformat)

sein und daran liegen, dass der Markt für solche Geräte nicht besonders groß ist. Die beworbenen Qualitäten konnten im Versuch nachvollzogen werden. Die Erwartungen, dass auch große Brennweiten von mehreren Metern ordentlich nachgeführt werden, wurden jedoch nicht erfüllt.

- [1] Covington, M. A.: How to Use a Computerized Telescope, Cambridge University Press, Cambridge (2002)
- [2] Jäger, T.: Autoguiding für Jedermann, Guidemaster im Praxistest, interstellarum 57, 60 (2008)
- [3] Martin, A.; Koch, B.: Digitale Astrofotografie, Oculum-Verlag, Erlangen (2009)

Surftipps

- LVI-Simulation:**
www.lvi-cameras.com/cameras.asp
- Artistar, K3CCD, künstlicher Stern:**
www.pk3.org/Astro/index.htm?software.htm
- OAG9 Off-Axis-Adapter:**
www.apm-telescopes.de/info.php?id=37397
- Guidemaster:**
www.guidemaster.de

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Die Weiterverbreitung ist ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers.

Notoperation Nachführung

Modifizierungen an einer EQ3-Montierung

VON ANDREAS BERGER

Die EQ3-Montierung wird gerne in Verbindung mit kleinen und mittelgroßen Fernrohren von 2" bis 8" Öffnung verkauft. Das preiswert unter verschiedenen Markennamen in China produzierte Instrument weist jedoch einige Schwächen auf, insbesondere Astrofotografie wird durch den Totgang im Getriebe nahezu unmöglich gemacht. Mit begrenzten Mitteln kann dieses Problem in Eigenregie behoben werden.

Die EQ3-Montierung ist klassisch aufgebaut, das heißt, alle Lagerungen bestehen aus Gleitlagern. Der Polsucher ist in der Rektaszensionsachse integriert und die Polhöhenwiege besitzt eine Wasserwaage (Libelle). Die Gegengewichtsstange dreht sich nicht mit, was nicht schlimm ist, da es bezüglich der Tragfähigkeit ohnehin keinen Sinn ergibt, dort zusätzliche Kameras anzubringen. Insofern gleicht sie konstruktiv den größeren Brüdern wie z.B. der GP-Montierung von Vixen. Sie ist aber deutlich kleiner und längst nicht so stabil. Auch das Schneckengetriebe ist erheblich kleiner. Sie eignet sich daher am besten als Reisemontierung, schon wegen des Gewichts von nur knapp sieben Kilogramm.

Problemfall Schnecke

Bei näherer Begutachtung fällt schnell auf, dass die Lagerung der Schnecke alles andere als diesen Namen verdient. Lediglich axial lässt sich hier das Spiel einstellen, die Lagerung jedoch ist in der Bohrung viel zu groß, die Welle bewegt sich seitlich stark hin und her. Doch hier kann man sich selbst behelfen, vorausgesetzt man hat Zugang zu einer Tischbohrmaschine (keine Handbohrmaschine!) und eventuell einer Drehbank. Nach der Demontage der vier Schrauben, zwei (bzw. drei inklusive des Gewindestifts) für die Spieleinstellung, die anderen zwei zur Befestigung, kann der Schneckenlagerbock entnommen werden. Durch Lösen der Kontermutter und nach dem Herausdrehen der Gewinde-

buchse kann die Welle herausgezogen werden. Alle Teile sollte man gut vom Fett befreien und auf eventuelle Schäden oder Unzulänglichkeiten untersuchen.

Die Lagerung bzw. der Spielausgleich besteht aus einer Messingscheibe, die auch einen Gummiring aufnimmt und einer Kunststoffscheibe, die vermutlich die Reibkräfte vermindern soll. Der Verdacht liegt nahe, dass die Gummiringe die Aufgabe haben, Ungenauigkeiten der Fertigung zu kaschieren. Nachteilig ist, dass hier die Seitenkräfte des Schneckentriebs erst in den Gummis aufgenommen werden, was zu Anlaufverzögerungen führt.

Diagnose

Die Lagerbohrungen haben einen Durchmesser von 7mm, die Welle von 6mm: Dies bedeutet ein Spiel von 1mm! Dies kann man korrigieren, indem man an diesen Stellen handelsübliche Wälzlager einsetzt (2× MR106 ZZ). Diese passen problemlos auf die Welle, kosten etwa 1€ zuzüglich Versandkosten. Lediglich die Bohrungen müssen erweitert werden. Hierzu werden jeweils an der

Außenseite (!) die Bohrungen auf 10mm mit einer Tiefe von ca. 3mm–4mm aufgebohrt. Die Bohrung wird, technisch bedingt, dabei in der Regel etwas größer als das Lager, was nicht schlimm ist, da es mit Klebstoff (Zweikomponentenkleber sind hier vorzuziehen) eingesetzt wird. Wer jedoch die Möglichkeit hat, genauer zu ar-

Abb. 1: Die EQ-3-Montierung aus China

– auch als Sky-Scan bekannt – wird gerne transportabel verwendet, leidet jedoch unter einer ungenügenden Lagerung der Schnecke. Diese kann mit einfachen Mitteln verbessert werden.



Abb. 2: Der Nonius der Deklinationsachse. Oberhalb erkennt man die Befestigung des Lagerbocks für die Schnecke.

beiten, sollte dies auch tun! Während des Aushärtvorgangs sollte die Welle in beiden Lagern eingesteckt sein. Vorsicht: sparsam mit dem Kleber umgehen, so dass der Außenring des Lagers nicht mit dem Innenring und mit der Welle verklebt!

Beim Zusammenbau zuerst die Messingscheiben verkehrt herum auf die Wellenenden aufschieben, dann die Kunststoffscheiben. In dieser Anordnung funktioniert es besser und es kann sich nichts verkleben. Die Gewindebuchse so weit hineindrehen, dass sich die Welle noch leicht drehen lässt, aber kein axiales Spiel spürbar ist. Anschließend die Kontermutter aufdrehen und leicht festziehen.

Rettungsversuch

Sollte die Gewindebuchse, beim Versuch sie aufzubohren, zerstört worden sein, ist es noch möglich, mit Hilfe eines Drehteils anstelle der Gewindebuchse die Sache zu retten. Dazu wird das Gewinde (M12×1mm) vorzugsweise mit einer 12-H7-Reibahle (mit 11,8mm vorbohren!) oder einem 12mm Bohrer ausgebohrt. Das Drehteil sollte außen so bemessen sein, dass es sich leicht in dieser Bohrung mit den Fingern verschieben lässt. Zusätzlich wird eine Gewindebohrung für einen Gewindestift in das Lagergehäuse eingebracht. Der Gewindestift soll später die neu gedrehte Buchse in ihrer Position sichern. Ein M3- oder M4-Gewinde passt hier problemlos. Auch hier soll im montierten Zustand das Lager außen sitzen! Das Spiel wird genauso eingerichtet, wie mit Gewindebuchse, nur dass hier anstatt der Kontermutter der neu eingebrachte Gewindestift angezogen wird. Da die Konstruktion beider Achsen identisch ist, kann an beiden Antrieben gleich verfahren werden.

Durch das Weglassen der Gummiringe wird deren Federwirkung eliminiert. Da nun die Lagerung der Schneckenwelle kein merkliches Spiel mehr aufweist, ist jetzt ein präziseres und vor allem schnelleres Korrigieren beim Nachführen möglich.

Surftipp

Homepage des Autors: www.astronomieberger.de



Abb. 3: Die ausgebaute Schneckenwelle mit »Rettungshülse« (rechts).

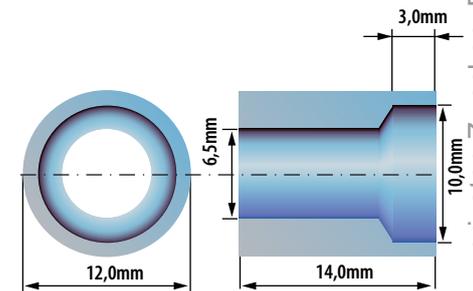


Abb. 4: Konstruktionszeichnung für die Hülse des Schneckenlagers.

Fazit

Mit geringem Aufwand und ein paar Euro kann die EQ3-Montierung verbessert werden, so dass die Nachführung ihren Namen auch verdient. In Verbindung mit z.B. einem Nachführsystem wie dem Webcam-Guiding sind mit dieser Modifikation problemlos schöne Fotografien machbar. Mit 600mm Brennweite (400mm nachgeführt über Webcam-guiding) und einer halben Stunde Belichtungszeit sind punktförmige Sternabbildungen nun möglich.

Perfekte PIXEL

Die mathematischen Grundlagen hochauflöster Planetenbilder

VON MARKUS LANGLOTZ

Immer mehr und vor allem immer bessere Amateuraufnahmen von Mond und Planeten tauchen derzeit in den einschlägigen Printmedien und Internetforen auf. Derart faszinierende fotografische Ergebnisse sind keine Hexerei! Beachtet man einige grundlegende Zusammenhänge, so kann man mit der eigenen Ausrüstung ebenfalls gezielt an die Auflösungsgrenze gehen und durchaus selbst in den Bereich der hochauflösenden Fotografie der Objekte des Sonnensystems vorstoßen.

Wer den Mond schon einmal mit einem normalen Fotoobjektiv abgelichtet hat, beispielsweise auf einer Landschaftsaufnahme, ist meist enttäuscht, wie klein und unauffällig unser Trabant auf Fotos wirkt. Naturgemäß ist bei einer derart kleinen Mondabbildung der Detailreichtum äußerst gering. Wenn, dann sind bestenfalls die Mondmeere als Dunkelstrukturen zu erkennen. Das andere Extrem, mit immer längeren Äquivalentbrennweiten Strukturen immer höher zu vergrößern, resultiert meist ebenfalls in unbefriedigenden, verschwommenen und stark verrauschten Bildern. Auch hier kann man nicht gerade von scharfen, hoch aufgelösten Bildern sprechen. Irgendwo zwischen diesen beiden Extremen jedoch muss sich ein Bereich optimal aufgelöster Abbildung befinden. Das gesuchte Optimum ist naturgemäß abhängig von der verwendeten Teleskopöffnung und der eingesetzten Kamera.

Das Teleskop

Der zunächst augenscheinlichste Anteil an diesem Optimum wird im Teleskop zu suchen sein. Dessen Abbildungsleistung wird über die so genannte Modulationsübertragungsfunktion (engl.: modulation transfer function, MTF) beschrieben. Diese ist in ihrer typischen Form in Abb. 2 gezeigt. Aus dem Diagramm wird klar, dass sehr große Strukturen demzufolge mit 100% Bildkontrast nahezu verlustfrei wiedergegeben werden können, wohingegen der Bildkontrast für Strukturen an der Auflösungsgrenze der Optik langsam gegen Null geht.

Abb. 1: Wie kann man das Zusammenspiel von Kamera und Teleskop optimieren, um auch mit kleineren Teleskopen hochauflösende Planetenfotos zu erreichen? Das Bild zeigt Jupiter mit Großen Roten Fleck bei einer Äquivalentbrennweite von 6,4m, 6"-Refraktor, ALccd5, RGB.

Dies tritt bei einer maximalen Ortsfrequenz von $S_{\max} = D/\lambda$ [1] ein, wobei D der Durchmesser der Optik und λ die Wellenlänge ist. Dieser Wert ist um den Faktor 1,22 größer als der Kehrwert der Auflösung nach Rayleigh ($=1,22\lambda/D$ in rad), die in Abb. 2 bei einer normierten Ortsfrequenz von $1/1,22 = 0,82$ eingezeichnet ist. Da bei der digitalen Bildverarbeitung durch Schärfungsalgorithmen (Hochpassfilterung) eine Verstärkung insbesondere der hohen Ortsfrequenzen erfolgt, was letztendlich einer Kompensation der stetig fallenden MTF gleichkommt, ist es wichtig, mit der Kamera alle Strukturen zu erfassen, deren Kontrast mit einem Wert größer als Null übertragen werden. Dann und nur dann können auch kleinste Strukturen als Information im geschärften Summenbild zu Tage treten! Wenn es um höchstauflösende Planeten- und Mondfotografie geht, hat ein Teleskop somit ein nutzbares Auflösungsvermögen, das 22% über dem Rayleigh-Kriterium ($=138''/D$ bei einer Wellenlänge von 550nm und D in mm) und damit auch noch besser als die Auflösung nach Dawes ist! Dies ergibt eine fotografisch wirksame Auflösung von $113''/D$; im Folgenden wird die fotografisch wirksame Auflösung mit $110''/D$ angenommen. Indem man die Teleskopauflösung als tendenziell besser annimmt als sie in der Realität ist, hat man die Gewähr, wirklich alle Strukturen zu erfassen, die das Teleskop abbilden kann.

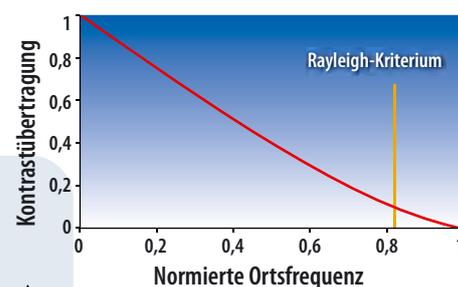


Abb. 2: Typischer Verlauf der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) eines Teleskops. Auf der Abszisse ist die so genannte normierte Ortsfrequenz S/S_{\max} aufgetragen. Dies ist nichts anderes als das Verhältnis des Auflösungsvermögens des Teleskops zur Strukturgröße. Links befinden sich also sehr große Strukturen, wohingegen rechts Strukturen in der Nähe des Auflösungsvermögens der Optik aufgetragen sind. Auf der Ordinate wird aufgezeichnet, zu welchem Prozentsatz der Objektkontrast für die jeweilige Strukturgröße in Bildkontrast umgewandelt werden kann.

Die Kamera

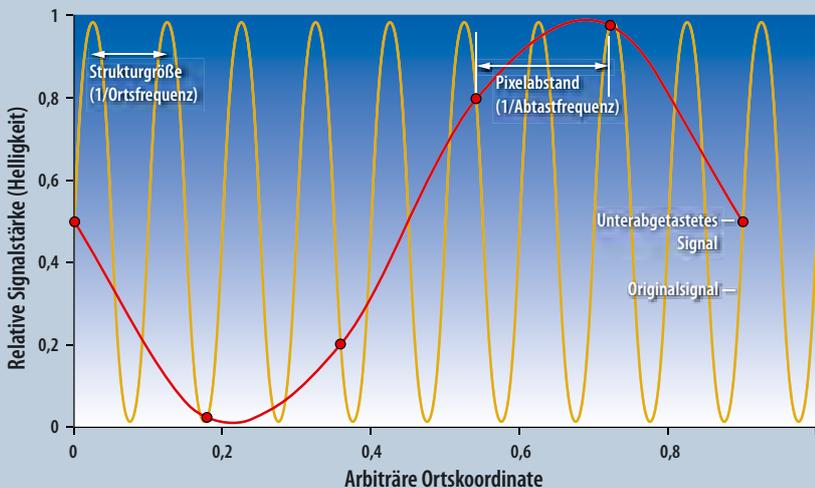
Nachdem bekannt ist, welche Informationen die Optik zu liefern imstande ist, muss betrachtet werden, wie diese Information von der Kamera erfasst wird. Hierzu ist die Beantwortung einer Frage essentiell: Wie groß wird eine Struktur in der Brennebene der Kamera abgebildet? Typischerweise ist die Primärbrennweite eines Teleskops für

Das Abtasttheorem von Shannon

Tastet man eine Bildfunktion mit einer Ortsfrequenz von S_{Bild} (Kehrwert der im Bild vorhandenen Strukturgröße) digital mit einer Abtastortsfrequenz von S_{Pixel} (1/Pixelgröße) ab, so enthält das resultierende, digitalisierte Bild neben der ursprünglichen, im Originalbild vorhandenen Spektralanteile auch sämtliche Spektralanteile der Ortsfrequenzen $nS_{\text{Pixel}} \pm S_{\text{Bild}}$ mit $n = 1 \dots \infty$. Wenn nun $S_{\text{Bild, max}}$ die maximale, von einer Optik übertragene Ortsfrequenz ist, so beinhaltet das Spektrum des abgetasteten Bildes auch die kritischen Spektralanteile der Frequenzen $nS_{\text{Pixel}} - S_{\text{Bild, max}}$. Die niederfrequenteste dieser durch die Digitalisierung entstandenen parasitären Oberwellen ist $S_{\text{Pixel}} - S_{\text{Bild, max}}$. Um sicher zu stellen, dass diese Spektralkomponente nicht das tatsächliche Bildspektrum stört, muss sie eine höhere Ortsfrequenz haben, als die höchste im Bild ursprünglich vorhandene Ortsfrequenz, nämlich $S_{\text{Bild, max}}$. Es muss also gelten:

$$S_{\text{Pixel}} - S_{\text{Bild, max}} > S_{\text{Bild, max}} \quad \text{oder} \\ S_{\text{Pixel}} > 2 S_{\text{Bild, max}}$$

In der digitalen Signalverarbeitung beschränkt man das Nutzsignal daher durch sehr steilflankige, so genannte Anti-Aliasing-Filter, um diese Bedingung einzuhalten. Beispielsweise werden Audio-CDs mit 44kHz abgetastet, wobei vorher das Nutzsignal hart auf 20kHz begrenzt wurde. Es wird also trotzdem 10% Abtastreserve hinzu gegeben. Da eine übliche Teleskop/Kamera-Kombination nicht über ein derartiges Anti-Aliasing-Element verfügt, und die MTF, eine sehr geringe Flankensteilheit aufweist, ist ein Samplingabstand von 25%, wie im Text erläutert, durchaus angebracht. Anhand nachfolgender Grafik soll veranschaulicht werden, was passiert, wenn zwischen Signal- und Abtastfrequenz ein zu geringer Abstand ist. Die gelbe Kurve zeigt ein fiktives Bildsignal, wohingegen die rote Kurve ein durch Unterabtastung generiertes Artefakt signal beschreibt, welches im digitalisierten Bild vorhanden wäre, obwohl es in realitas nicht existiert!



Durch Abtastung einer Struktur mit einem zu großen Pixelabstand entsteht eine Bildfunktion, die nichts mehr mit der ursprünglichen Bildinformation zu tun hat. Derartige Artefaktbildung täuscht im Bild Strukturen vor, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind.

Pixelgrößen gängiger Kameras für Mond- und Planetenfotografie

Kameratyp	Pixelgröße
DMK21	5,6µm × 5,6µm
DMK31/DMK41	4,65µm × 4,65µm
ALccd5	5,2µm × 5,2µm
Skynyx-2	7,4µm × 7,4µm
ToUCam PRO	5,6µm × 5,6µm, RGGB-Bayer-Matrix
SPC9000	5,6µm × 5,6µm, RGGB-Bayer-Matrix

die hochauflösende Fotografie deutlich zu klein, folglich muss die Brennweite durch Einsatz eines sogenannten Projektivs (Barlowlinse, Okular) verlängert werden. Die auf diese Weise generierte fotografisch wirksame Brennweite wird als Äquivalentbrennweite ($f_{\text{äqu}}$) bezeichnet. Das Abbild einer Struktur, die eine Winkelausdehnung von α hat, erreicht eine Größe d , die linear mit der Äquivalentbrennweite steigt. Es gilt:

$$d = 2f_{\text{äqu}} \tan(\alpha/2)$$

Für die hier betrachteten kleinen Winkel kann man näherungsweise annehmen, dass der Wert des Tangens gleich dem seines Winkels ist, womit sich obige Gleichung erheblich vereinfacht:

$$d = \alpha f_{\text{äqu}}$$

Hierbei ist zu beachten, dass α im Bogenmaß einzusetzen ist. Eine Optik mit 1m Äquivalentbrennweite würde also eine Struktur von 1" Durchmesser 4,8µm groß abbilden, bei Verzehnfachung der Äquivalentbrennweite wäre das Abbild dieser Struktur bereits 48µm groß und würde auf dementsprechend mehr Pixel abgebildet werden. Jede Vergrößerung birgt aber auch einen gewaltigen Nachteil: Wird eine Struktur n -fach vergrößert, wird sie nicht nur auf n^2 Pixel, sondern damit auch auf die n^2 -fache Fläche projiziert, wodurch sich ihre Helligkeit um den Faktor $1/n^2$ reduziert. In obigem Beispiel hätte also das 48µm große Abbild nur ein hundertstel der Helligkeit des 4,8µm großen Abbilds! Dieser Verlust an Helligkeit muss entweder durch die Belichtungszeit der Kamera oder die kamerainterne Signalverstärkung kompensiert werden, wobei die Bildqualität durch ersteres aufgrund des atmosphärischen Seesings, durch zweiteres aufgrund des Verstärkerrauschens massiv beeinträchtigt wird.

Wie gezeigt, ergeben alle Teleskop/Kamerakombinationen vergleichbare Belichtungszeiten. In der Praxis liegen diese im zweistelligen Millisekundenbereich, wodurch das Seeing sehr gut eingefroren werden kann. Grundvoraussetzung für hoch auflösende Fotografie ist natürlich sehr gutes Seeing.

Dem Optimum auf der Spur

Die ideale Kombination aus Äquivalentbrennweite und Pixelgröße liegt somit bei der kleinstmöglichen Äquivalentbrennweite, die noch eine vollständige Erfassung aller durch das Teleskop abbildbaren Strukturen erlaubt. Hierzu ist die Kenntnis der Pixelgröße unerlässlich. Tab. 1 zeigt diesen Wert für einige in der Planeten- und Mondfotografie übliche Standardkameras. Wie viele Pixel sind nötig, um eine Struktur mit

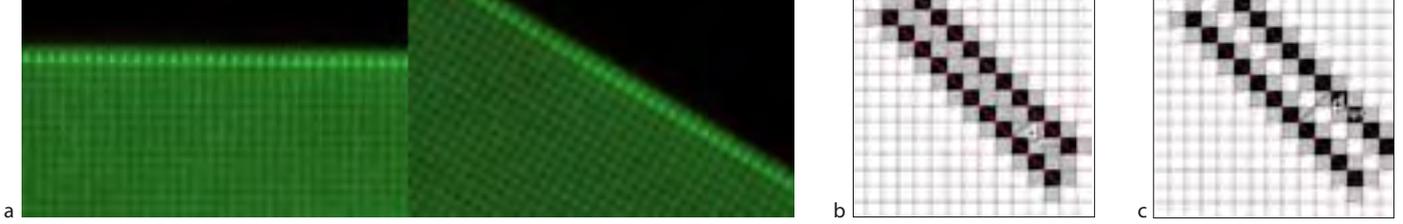


Abb. 3: Abbildung eines Gitters bei paralleler und gedrehter Sensorausrichtung (a). Die geometrischen Verhältnisse sind rechts dargestellt (b,c). Liegt eine Struktur 45° zur Sensormatrix geneigt, wird diese durch die Abtastung in der Breite verschmiert. Um zwei derartige geneigte Parallelen noch ansatzweise trennen zu können, ist ein Abstand von d_{\min} nötig, der sich aus $\sqrt{(1,5^2+1,5^2)}$ Pixeldurchmesser zu 2,12 Pixeldurchmesser berechnet. Der optimale Abstand, bei dem zwischen den verbreiterten Linienbildern noch komplett unangesteuerte Pixel verbleiben, womit eine maximale Kontrastübertragung gewährleistet ist, errechnet sich analog zu 2,82 Pixeldurchmessern. Bezogen auf den senkrecht oder waagrecht abbildbaren Linienabstand von 2 Pixeln, ergibt dies eine um den Faktor 1,06 bzw. 1,41 verringerte Auflösung, die durch entsprechende Brennweitenverlängerung kompensiert werden muss.

einem bestimmten Durchmesser sicher zu erfassen? Hier liefert das so genannte Shannonsche Abtasttheorem (vgl. Kasten) die Lösung: Um eine bestimmte Struktur ohne Informationsverlust abzutasten, muss sie mindestens auf zwei Pixel abgebildet werden. Da es im Fall einer Abbildung auf genau zwei Pixel zu Informationsverlusten oder (was weitaus schlimmer ist) zu Pseudoinformation in Form von Artefakten kommen kann, sollte hier ein gewisser Sicherheitsabstand aufgeschlagen werden. Im Weiteren wird von einer robusten Abtastung ausgegangen, wenn eine Struktur auf zweieinhalb Pixeln abgebildet wird. Dieser zusätzliche Abstand begründet sich darin, dass ein abbildendes Teleskopsystem keine steilflankigen Tiefpasselemente enthält, die wie ein Antialiasing-Filter (vgl. Kasten) wirken würden. Die MTF selbst weist ja eine sehr geringe Flankensteilheit auf, wodurch davon ausgegangen werden muss, dass Strukturen bis mindestens hinab zur Auflösungsgrenze des Teleskops auch wirklich im Bild vorhanden sein werden und damit fehlerfrei abgetastet werden müssen. Bei handelsüblichen CCD- und CMOS-Chips sind die Pixel in einer rechteckigen Dotmatrix angeordnet. Im Gegensatz zu einer wabenförmigen Anordnung, wie beispielsweise der Super-CCD-Technologie von Fuji, zeigt diese orthogonale Pixelanordnung eine starke angulare Anisotropie: Die Sensorauflösung, auf die es letztendlich ankommt, ist stark richtungsabhängig. In Abb. 3a wurde zur Verdeutlichung dieses Effekts eine monochromatisch grün beleuchtete Gitterstruktur an der Sensorauflösungsgrenze fotografisch erfasst. In der linken Bildhälfte erkennt man, dass die senkrechten Strukturen am oberen Gitterrand pixelgenau mit maximaler Helligkeit und damit hohem Kontrast scharf abgebildet werden. In der rechten Bildhälfte wurde lediglich der Bildsensor nach links geneigt, wodurch sich der Bildinhalt im Uhrzeigersinn dreht, wenn das Bild wieder waagrecht dargestellt wird. Aufnahmeabstand, Öffnungsverhältnis,

Aufnahmebrennweite, Fokus- und Belichtungseinstellungen wurden unverändert belassen. Deutlich erkennt man die nun reduzierte Sensorauflösung: Zum einen ist die maximale Helligkeit der feinen Linien geringer (reduzierter Objektkontrast), zum anderen werden die Linien in die Breite verschmiert (höhere effektive Pixeldurchmesser). Um diesen Effekt zu kompensieren, müsste die Aufnahmebrennweite und somit der Abbildungsmaßstab entsprechend erhöht werden. Aus einfachen geometrischen Überlegungen (Abb. 3b/c) ergibt sich, dass für Strukturen mit einem Richtungsvektor mit 45° Neigung zur Pixel-Matrix die resultierende Auflösung am geringsten ist. Optimalerweise müsste die Äquivalentbrennweite um den Faktor $\sqrt{2} = 141\%$ erhöht werden, um derartig orientierte Strukturen ohne Kontrastverlust zu erfassen. Um entsprechende Strukturen überhaupt detektieren zu können, ist eine Brennweitenverlängerung um zumindest den Faktor $\sqrt{1,125}=106\%$ vonnöten.

Kleine Rechnerei

Nun liegen alle notwendigen Informationen vor, um die optimale Kombination aus Kamera, Teleskop und Äquivalentbrennweite zu berechnen. Den ersten Hinweis liefert die Teleskopauflösung, die weiter oben zu $110''/D$ angegeben wurde. Um mit dieser zugeschnittenen Größengleichung weiter arbeiten zu können, muss diese erst in Bogenmaß umgerechnet werden, indem man mit π multipliziert und durch 3600° und 180° dividiert. Außerdem sollte D in Metern anstatt Millimetern eingesetzt werden, wodurch noch durch 1000 geteilt werden muss. Multipliziert mit der (gesuchten) Äquivalentbrennweite ergibt sich der lineare Durchmesser einer Struktur an der Auflösungsgrenze des Teleskops in der Brennebene des Bildsensors:

$$d = f_{\text{äqu}} [\text{m}] \cdot 0,110'' \cdot \pi / (D [\text{m}] \cdot 3600'' \cdot 180^\circ)$$

Um eine robuste Abtastung zu gewährleisten, muss die Struktur auf 2,5 Pixel projiziert werden. Aufgrund der anisotro-

pen Sensorauflösung sollte die Pixelzahl nochmals erhöht werden auf $1,41 \cdot 2,5 \text{ Pixel} = 3,5 \text{ Pixel}$. Somit muss gelten, dass der lineare Durchmesser einer Struktur in der Brennebene des Teleskops mindestens 3,5 Mal so groß wie die Pixelgröße ist. Durch Umstellen obiger Gleichung und Ausmultiplizieren der Konstanten ergibt sich folgender Zusammenhang für das optimale Öffnungsverhältnis zur hochauflösenden Fotografie:

$$\text{Öffnungsverhältnis } f_{\text{äqu}}/D = 6,6 \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{Pixelgröße}$$

Wird in dieser Gleichung der Pixeldurchmesser der Kamera in μm eingesetzt, ergibt sich direkt das optimale Öffnungsverhältnis.

Interessanterweise hängt also das optimale fotografische Öffnungsverhältnis nur von der Pixelgröße der verwendeten Kamera ab: Eine größere Öffnung hat zwar eine höhere Auflösung zur Folge, dieser wird aber bereits durch die über das Öffnungsverhältnis definierte höhere Äquivalentbrennweite Rechnung getragen. Am Beispiel einer Kamera DMK21 mit $5,6 \mu\text{m}$ Pixelgröße kann dies veranschaulicht werden: Das optimale Öffnungsverhältnis beträgt bei einer Pixelgröße von $5,6 \mu\text{m}$ ziemlich genau $f/37$. Bei einem Teleskop mit 3" Öffnung (76mm) ergäbe sich somit eine ideale Äquivalentbrennweite von $37 \times 76 \text{mm} = 2,8 \text{m}$. Bei

Abb. 4: Der Krater Copernicus bei einer Äquivalentbrennweite von 5m, 6"-Refraktor, ToUCam PRO, G-Kanal.



echtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ **Abb. 6: Jupiter bei zwei verschiedenen Äquivalentbrennweiten** von 3,5m und 6,9m, 6"-Refraktor, ALccd5, LRGB. Gegenüber der ToUCam PRO in Abb. 5 bietet die ALccd5 eine konstante Auflösung in allen Farbkanälen.

▲ **Abb. 7: Saturn bei einer Äquivalentbrennweite von 6,9m**, 6"-Refraktor, ALCCD5, LRGB.

einem Sechszöller hingegen wäre die optimale Brennweite bereits doppelt so groß, nämlich 5,6m. Das doppelt so hohe Auflösungsvermögen des in diesem Beispiel genannten Sechszöllers gegenüber dem Dreizöller kann durch die sich ergebende doppelte Äquivalentbrennweite auch eine doppelt so hohe Bildauflösung bewirken. Interessanterweise ist die für eine derart angepasste Aufnahmebrennweite nötige Belichtungszeit im Wesentlichen teleskop- und kameraunabhängig! Da alle siliziumbasierten Bildsensoren in etwa grob vergleichbare spektrale Quantenwirkungsgrade besitzen, hängt die erzielbare Signalstärke der Bildinformation weitestgehend von der Pixelfläche ab, also dem Quadrat der Pixelgröße. Kleinere Pixel bedingen ein geringeres Öffnungsverhältnis und damit eine in dem Maße höhere Leuchtdichte des Abbilds auf dem Chip,

Surftipp

Homepage des Autors:
astronomie.n-t-l.de

◀ **Abb. 5: Jupiter mit Europas Schatten** bei zwei verschiedenen Äquivalentbrennweiten von 2,4m und 5,5m, 6"-Refraktor, ToUCam PRO.

indem die Pixelfläche kleiner geworden ist! Durch kleinere Äquivalentbrennweiten bei kleineren Öffnungen wird auch der Effekt des geringeren Lichtsammelvermögens kleinerer Optiken kompensiert.

Vorteile bei der Bildverarbeitung

Wie bereits besprochen, zeigt jedes abbildende System ein über die MTF abgebildetes Tiefpassverhalten. Dies bedeutet, dass zu immer kleiner werdenden Strukturen die Kontraste immer weniger stark ins Bild übertragen werden. Um diesen Tiefpasseffekt zu kompensieren, muss die Bildinformation mit einem Hochpassfilter überlagert werden, was nichts anderes ist als Bildschärfung. Die Schärfung überlagerter Bilder hat also nichts mit der Korrektur von vermeintlichen Fehlern der Optik zu tun, sondern ist integraler Bestandteil der Signalverarbeitungskette, findet in diesem Schritt doch die abschließende Frequenzgangkorrektur statt. Die in diesem Artikel hergeleiteten, für eine optimale Bilderfassung nötigen Abbildungsmaßstäbe machen sich nun genau bei diesen Bildschärfungsprozessen positiv bemerkbar. Wie bereits erwähnt, ist jedes Bild von einem gewissen Rauschteppich überlagert. Dieser stochastische Signalanteil ist naturgemäß für jeden Bildpixel leicht unterschiedlich, mithin liegt also der größte Ortsfrequenzanteil des Rauschens sehr nahe bei S_{Pixel} . Nun wird durch den optimalen Abbildungsmaßstab die kleinste, abbildbare Struktur auf 3,5 Pixel dispergiert. Dies bedeutet, dass man das Bild vor oder bei der Schärfung (»mexican hat-Filter«) mit einem Radius von 2 bis 3 Pixeln rauschfiltern kann, ohne Bildinformationen zu verlieren. Zusätzlich zum Stacking kann also das Rauschen nochmals reduziert werden, wodurch die Neigung zur Artefaktbildung bei der Bildschärfung deutlich vermindert wird.

Die Praxis nach der Theorie

Abb. 4 zeigt den Mondkrater Copernicus mit einer Äquivalentbrennweite von ziemlich exakt 5m. Die Aufnahme entstand an einem 6"-Refraktor und einer Philips ToUCam Pro mit einer Pixelgröße von $5,6\mu\text{m}$, das Öffnungsverhältnis von $f/33$ liegt also bereits sehr nahe am errechneten Optimum. Bei dieser Aufnahme ist die Detailfülle noch nicht optimal, da aufgrund der

Bayermatrix des CCD-Chips (Farbfilter) die Linienauflösung reduziert und rein theoretisch eine dementsprechend nochmals höhere Äquivalentbrennweite nötig gewesen wäre. In der Praxis sollte aber auch für eine Bayermatrix-Kamera nicht höher vergrößert werden als in obiger Formel angegeben, da durch die Transmissionsverluste der Farbfilter und das nochmals höhere Rauschen kein Informationsgewinn mehr erzielbar ist: Bei Farbkameras muss man das etwas geringere Auflösungsvermögen als gegeben hinnehmen. Um diesen Effekt etwas zu kompensieren, wurde in Abb. 4 lediglich der Grünanteil des Bildes verwendet, da die Bayermatrix im Grünkanal zumindest jeden zweiten Pixel der Dotmatrix zur Verfügung hat.

Abbildung 5 zeigt einen Vergleich von Jupiter mit Europas Schatten, aufgenommen am 24.8.2008 am 6"-Refraktor, einmal mit 2,4m Brennweite ($f/16$) und einmal mit 5,5m Brennweite ($f/36$). Man erkennt deutlich den Zugewinn an Bilddetails. Anhand zweier LRGB-Aufnahmen mit einer ALccd5-Kamera, die eine konstante Sensorauflösung über alle Farbkanäle gewährleistet, wird dieser Effekt noch deutlicher (Abb. 6). Auch hier entstanden beide Aufnahmen unmittelbar hintereinander am 28.7.2009 am 6"-Refraktor, die eine mit 3,5m Äquivalentbrennweite, die andere mit 6,9m.

Diskussion der Ergebnisse

Anhand der gezeigten Bildbeispiele kann sehr gut illustriert werden, dass ein optimaler Abbildungsmaßstab zur hochauflösenden Sonnensystemfotografie mitunter deutlich längere Äquivalentbrennweiten bedingt, als gemeinhin in manchen Praxisempfehlungen zu lesen ist. Durch die dargelegten theoretischen Überlegungen lässt sich dies auch in einer Berechnungsvorschrift abbilden. Neben einem Maximum an in den Bildern enthaltener Information lässt sich diese aufgrund der Abbildungsgröße auch sehr gut aus dem prinzipiell vorhandenen Rauschteppich extrahieren. Es lohnt also durchaus, für die hochauflösende Fotografie sehr lange Äquivalentbrennweiten heranzuziehen. Verschwiegen werden darf aber nicht, dass bei derartiger Anpassung an den Sensor die Optik perfekt justiert und das Projektiv von sehr hoher Güte sein muss: Mit einer 20€-Billigbarlowlinse werden die hier gezeigten Ergebnisse nicht zu bewerkstelligen sein.

[1] Suiter, H. R.: Star Testing Astronomical Telescopes, Willmann-Bell Inc., Richmond (2009)

Was geschieht beim »Stacken«?

Möglicherweise kennen Sie bei lang belichteten Astrofotos die Angabe der Belichtungszeit in der Form »8 x 10 Minuten«. Damit ist gemeint, dass acht Einzelfotos mit einer Belichtungszeit von je zehn Minuten zu dem Endresultat miteinander kombiniert wurden. Die Gesamtbelichtungszeit beträgt also achtzig Minuten. Die Überlagerung und Mittelwertbildung ist in der digitalen Astrofotografie ein gängiges Verfahren und wird auch als »Stacking« bezeichnet. »Stack« kommt aus dem Englischen und bedeutet »Stapel«. Neben der Rauschreduzierung ergeben sich durch Anwendung dieses Verfahrens weitere Vorteile:

- Viele kürzer belichtete Einzelaufnahmen verringern gegenüber einer sehr lang belichteten die Gefahr, dass eine Aufnahme durch einen Fehler oder eine Störung verdorben wird. Stoßen Sie zum Beispiel aus Versehen an ein Stativbein und verursachen dadurch eine mächtige Verwacklung, ist nur eine einzelne Aufnahme der Serie davon betroffen. Andernfalls wäre die gesamte Langzeitbelichtung beeinträchtigt oder gar ruiniert.
- Extrem lange Belichtungszeiten bergen bei Digitalkameras die Gefahr, dass immer größere Teile des Bildes in die Vollsättigung laufen, also überbelichtet werden.
- Die Erstellung von separaten Dunkelbildern ist schneller bewerkstelligt, wenn die verwendete Belichtungszeit der Einzelaufnahmen kürzer ist.

Für statische Motive, zu denen die allermeisten der astronomischen Fotomotive gehören, bietet sich das Stacken als eine besonders effektive Methode zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses an. Der Rauschanteil nimmt ab, wenn mehrere Aufnahmen passgenau ausgerichtet werden und danach »gemittelt« werden. Das heißt, es wird das arithmetische Mittel der Helligkeitswerte für jeden einzelnen Pixel des Bildes bestimmt. Jene Rauschanteile, denen statistische, also zufällige Prozesse zugrunde liegen, können mit dieser Methode effektiv reduziert werden. Es versteht sich von selbst, dass es sich bei den zu mitteln den Aufnahmen um unterschiedliche Fotos ein und desselben Motivs handeln muss.

Das Signal-Rausch-Verhältnis gestackter Fotos verbessert sich mit der Quadratwurzelfunktion. Die Mittelwertbildung aus vier Einzelaufnahmen halbiert also das Rauschen, bei neun Aufnahmen bleibt nur noch ein Drittel des Rauschens übrig, bei 16 Aufnahmen ein Viertel usw. Um, ausgehend von diesem Niveau, eine nochmalige Halbierung des Rauschens auf ein Achtel zu erreichen, wären zusätzlich zu den 16 Einzelaufnahmen weitere 48 Bilder erforderlich, so dass die Gesamtzahl auf 64 steigen würde.

Zum Kombinieren von Astroatufnahmen, die mit einer digitalen Spiegelreflexkamera erstellt wurden, ist die Software »DeepSkyStacker« zu empfehlen. Sie erlaubt die passgenaue Ausrichtung und Mittelwertbildung mehrerer Einzelaufnahmen ein und desselben

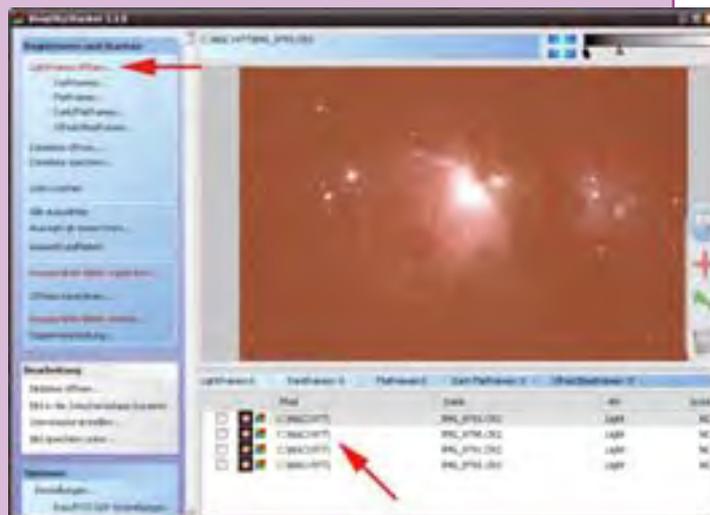


Abb. 1: Die Software »DeepSkyStacker« nach dem Öffnen von vier Einzelaufnahmen.

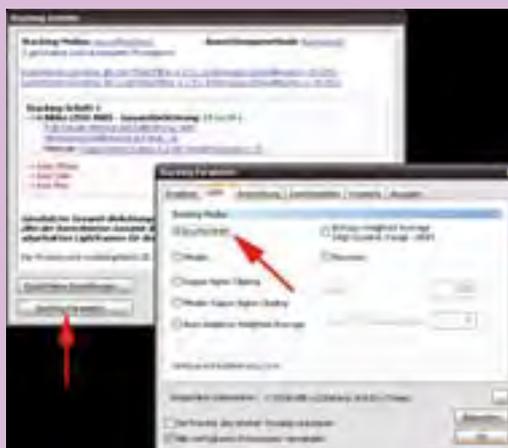


Abb. 3: Was bereits das Stacken von vier Einzelaufnahmen bringt, zeigt die Gegenüberstellung einer Einzelaufnahme (links) und dem Stacking-Ergebnis (rechts).

Abb. 2: Nach Wahl des Befehls »Ausgewählte Bilder stacken...« gibt es die Möglichkeit, mit dem Knopf »Stacking Parameter...« (Pfeil) in der Registerkarte »Light« verschiedene Methoden auszuwählen. Leiden die Einzelaufnahmen vorwiegend unter statistischem Rauschen, liefert die Methode »Durchschnitt« ein gutes Ergebnis (Pfeil).

Motivs auf sehr komfortablem Weg und liefert exzellente Resultate. Müheless verarbeitet sie auch solche Bilder, die aufgrund einer nicht optimal eingordneten Montierung etwas gegeneinander verdreht sind.

Nach dem Start des Programms klickt man in der linken Menüspalte auf den Befehl »Lightframes öffnen...« und wählt im darauf folgenden Dialogfeld die Rohbilder aus. Optional kann man danach Dunkel- und Hellfeldbilder (Dark- und Flatframes) zur Kalibrierung addieren. Danach wird der Befehl »Ausgewählte Bilder stacken...« ausgewählt, worauf ein weiteres

Dialogfeld erscheint. Darin findet man einen Knopf »Stacking Parameter...«, der zahlreiche Einstellungen erlaubt. Für die ersten Versuche kann man mit den Grundeinstellungen gut leben.

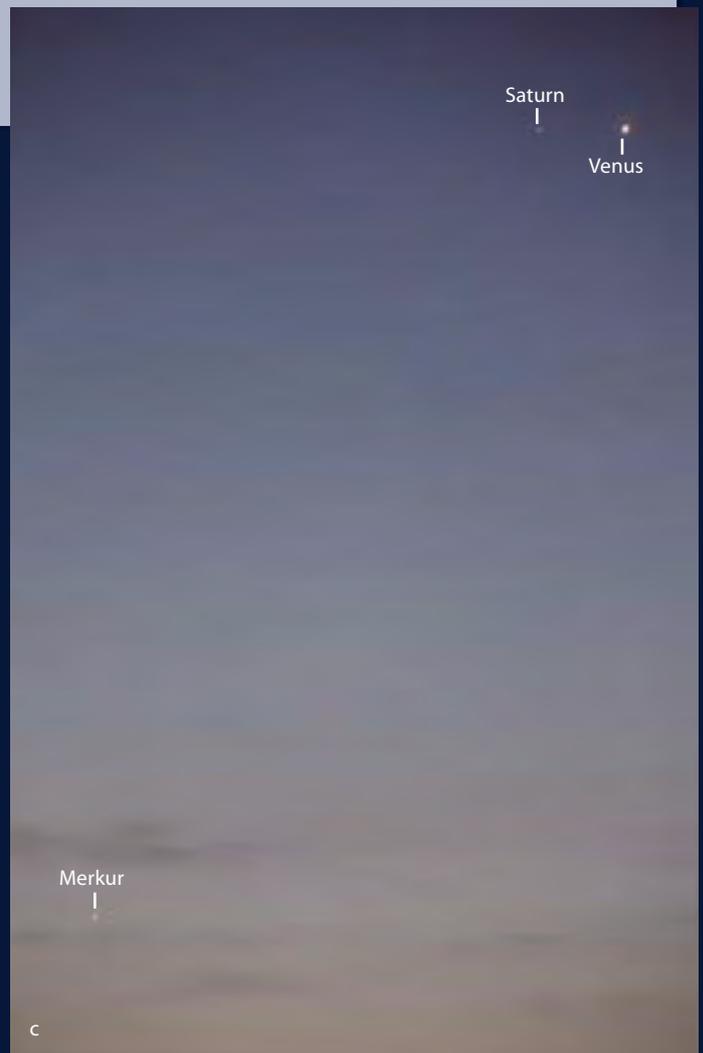
Surftipps

DeepSkyStacker: deepskystacker.free.fr/german/index.html

Drei Planeten am Morgenhimmel



Im Oktober begegneten sich Saturn, Venus und Merkur am Morgenhimmel. Die drei Fotos zeigen die raschen gegenseitigen Positionsänderungen am 5. (a), 9. (b) und 13. (c). 115mm-Teleobjektiv bei f/6,3, Canon EOS 450D, ISO 200, 3s. *Stefan Simon*



First Light

Mehr Dynamik für den Kugelsternhaufen

VON STEFAN SEIP

Abb. 1: Die eingesandte Aufnahme von M 13 zeigt aufgrund einer zu geringen Gesamtbelichtungszeit nur den hellen Innenbereich des Kugelsternhaufens.

Stefan Kolb schickte uns ein Foto von M 13, dem Herkules-Kugelsternhaufen (Abb. 1). Er verwendete für die Aufnahme eine digitale Spiegelreflexkamera vom Typ Canon EOS 1000D, die an ein Teleskop mit rund zwei Meter Brennweite bei einem Öffnungsverhältnis von f/8 angeschlossen wurde. Bei einer Einstellung von ISO 800 und einem IDAS-LPS-Filter wurde eine Serie mit unterschiedlich lang belichteten Fotos angefertigt: 4×30s, 4×1min und 3×2min. Nach eigenen Aussagen handelt es sich bei dem Foto um »den absolut ersten Versuch, durch ein Teleskop zu fotografieren«. Dafür, das muss an dieser Stelle gesagt werden, ist das Foto sehr gut gelungen!

Doch meine Aufgabe als Autor der »First Light«-Rubrik ist es, nach Potenzial für Verbesserungen Ausschau zu halten. Zunächst möchte ich den Einsatz des IDAS-Light Pollution Suppression-Filters hinterfragen. Sinn und Zweck dieses Filters ist die Reduktion der Hintergrundhelligkeit des Himmels, die durch künstliche Lichtquellen entsteht. Während die Wellenlängen bei der Kunstlichtquellen leuchten vom Filter gesperrt werden, wird das übrige Licht weitgehend durchgelassen. Für Aufnahmen auf chemischen Film von lichtschwachen Gasnebeln, die ohnehin nur bei ganz bestimmten Wellenlängen Strahlung emittieren, die den Filter passieren kann, mag ein solches Filter unverzichtbar gewesen sein. Die M 13-Aufnahme entstand laut Autor »zwischen Klein- und Großstadt«, also unter schwierigen, aber nicht schwersten Bedingungen. Ich hätte die Aufnahme ohne Filter gemacht, zumal es sich um einen hellen Sternhaufen handelt. Jede Wegnahme von



Abb. 2: »Vergrößerung« des Kugelsternhaufens durch nicht-lineare Anpassung der Gradationskurve (links vorher, rechts nachher) in Adobe Photoshop.

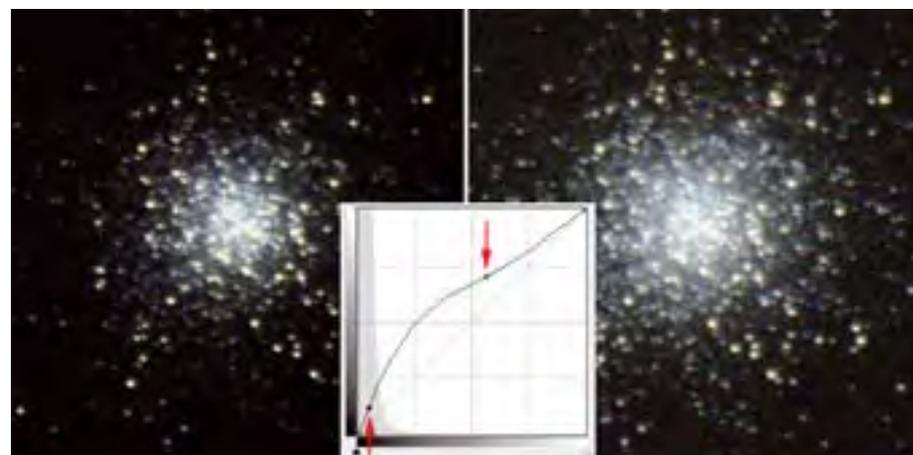
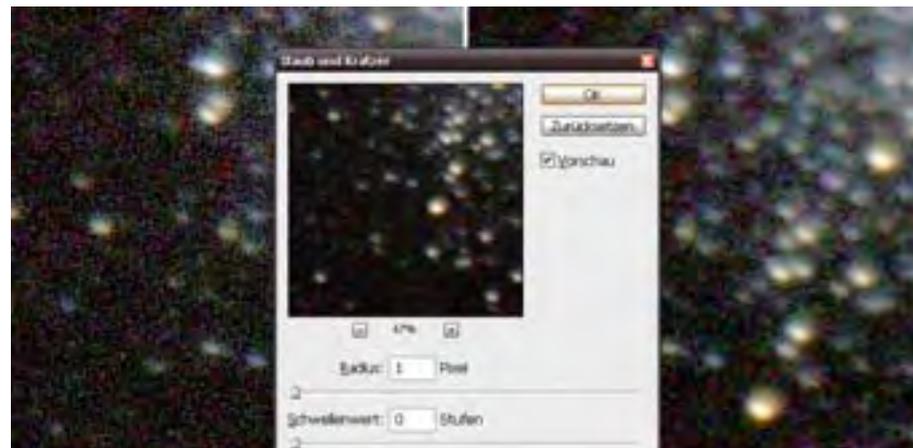


Abb. 3: Die Entfernung des »Bildrauschens« (links vorher, rechts nachher) gelingt mit der Funktion »Filter/Rauschfilter/Staub und Kratzer«.



STEFAN KOLB

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



Abb. 4: Die fertig bearbeitete Aufnahme zeigt trotz der kurzen Belichtungszeiten das Potenzial der Bilddaten gegenüber Abb. 1.

Als scheinbarer Durchmesser von M 13 werden 21' angegeben. Ein Objekt dieser Dimension würde bei der verwendeten Kamera und Brennweite gerade so eben in das Bildfeld passen. Warum erscheint der Sternhaufen kleiner? Einerseits, weil bei dieser Angabe auch weit verstreute Einzelsterne berücksichtigt werden. Andererseits, weil das Foto nicht ausbelichtet ist. Eine nicht-lineare Tonwertanhebung in Photoshop durch den Befehl »Bild/Anpassungen/Gradationskurven...« (Abb. 2) zeigt, dass der Durchmesser des Haufens wächst, wenn man auch lichtschwächere Sterne sichtbar macht.

Das bei voller Größe sichtbare »Grieseln«, vermutlich Artefakte der angewandten Bildverarbeitung, lassen sich in diesem Fall gut durch den Photoshop-Befehl »Filter/Rauschfilter/Staub und Kratzer...« beseitigen (Abb. 3), weil die Sterne mit einem ziemlich großen Durchmesser dargestellt werden (schlechtes Seeing, suboptimale Fokussierung oder Nachführung?). Bei Aufnahmen mit klein dargestellten Sternen ist bei diesem Befehl äußerste Vorsicht angebracht. Besser ist allemal das Anfertigen und Anwenden von Dunkelbildern (vgl. interstellarum 61) zur Vermeidung dieses Bildfehlers.

Zum Abschluss (Abb. 4) brachte ich noch eine moderate Anpassung der Farbbalance (Photoshop: »Bild/Anpassungen/Farbbalance...«), eine Histogrammkorrektur zur dunkleren Himmelsdarstellung (Photoshop: »Bild/Anpassungen/Tonwertkorrektur...«) sowie eine Korrektur der minimal strichförmigen Sterne an, wie sie in, interstellarum 67 beschrieben wurde.

Signal, wie sie durch solch ein Filter insbesondere bei Objekten, die ein Kontinuum aussenden, zwangsläufig verursacht wird, muss kritisch hinterfragt werden. Selbst in der Beschreibung des Filters steht, dass die Filterwirkung erst dann zur vollen Entfaltung käme, wenn die Belichtungszeit um den Faktor 2 verlängert würde. Das bedeutet, die Filterwirkung wird mit längeren Belichtungszeiten erkaufte. Die hier verwendeten Belichtungszeiten jedoch sprechen eher eine andere Sprache: Selbst ohne Filter könnte man deutlich mehr Einzelaufnahmen gebrauchen, um eine längere Gesamtbelichtungszeit zu erreichen. Ohne Filter – das wird jetzt der Einwand sein – erzeugt der künstlich aufgehellte Himmel aber ein farbstichiges Foto. Das ist korrekt, aber dieser Farbstich würde sich bei einem Digitalfoto mühelos durch entsprechende Bearbeitungsschritte eliminieren lassen. Wichtig ist nur, dass die Aufhellung auf keinem der Einzelbilder zu einer Überbelichtung, also Pixelsättigung, führen darf, auch nicht in Teilbereichen des Bildes. Zur Not ist die Belichtungszeit der Einzelfotos nach unten zu korrigieren. Begreift man den Prozess der Belichtung eines Digitalfotos nicht als das Aufzeichnen von Eindrücken, sondern als das Sammeln von Daten, gilt die Devise: je mehr Daten,

desto besser. Und daraus die Konsequenz: möglichst nicht schon bei der Aufnahme auf einen Teil der Daten zu verzichten.

Eine Belichtungsreihe aus Einzelbildern mit unterschiedlich langer Belichtungszeit wird eigentlich nur dann eingesetzt, wenn die Helligkeitsunterschiede des aufzunehmenden Objekts die Dynamik der Kamera überfordern. Das wohl bekannteste Beispiel dafür dürfte der Orionnebel sein: Sein Zentrum ist so hell im Vergleich zu den schwachen Ausläufern des Nebels, dass man mit handelsüblichen Kameras entscheiden muss: Entweder wird durch eine relativ kurze Belichtungszeit das Zentrum dargestellt, während die schwachen Außenbereiche im Bildrauschen untergehen, oder durch eine lange Belichtungszeit erscheinen zwar die Außenbereiche, aber das Zentrum brennt durch Überbelichtung und Sättigung völlig aus. Das ist bei Kugelsternhaufen nicht notwendig. Sie bestehen aus einzelnen Sternen, die zum Rand hin weniger dicht stehen. Die hohe Sterndichte in der Mitte des Haufens kann zwar zu einer nennenswerten Helligkeit führen, doch kann die Belichtungszeit der Einzelaufnahmen gerade so gewählt werden, dass jener Bereich nicht überbelichtet wird und so eine Auflösung des Haufens bis ins Zentrum gelingt.

Objekte der Saison

Die Objekte der Saison: Leser beobachten. Ziel dieses interaktiven Projekts ist es, Beschreibungen, Zeichnungen, Fotos und CCD-Bilder von Deep-Sky-Objekten zusammenzuführen. In jeder Ausgabe werden im Abschnitt »Himmel« zwei Objekte vorgestellt, zu denen jeweils ein Jahr später die Beobachtungen veröffentlicht werden. Senden Sie uns Ihre Ergebnisse – wir drucken eine Auswahl der Bildresultate und Beschreibungen ab. Weitere Informationen und Daten zu den Objekten der Saison finden Sie im Internet unter www.interstellarum.de/ods.asp, ebenso eine Möglichkeit, Resultate direkt online einzusenden.

Die Objekte der Saison der nächsten 6 Ausgaben

Ausgabe	Name	Sternbild	R.A.	Dekl.	Einsendeschluss
Nr. 69, Apr./Mai 2010	M 87	Vir	12 ^h 30,8 ^{min}	+12° 23'	20.1.2010
	NGC 4435/8	Vir	12 ^h 27,8 ^{min}	+13° 01'	
Nr. 70, Jun./Jul. 2010	M 16	Ser	18 ^h 18,8 ^{min}	-13° 47'	20.3.2010
	M 17	Sgr	18 ^h 20,8 ^{min}	-16° 11'	
Nr. 71, Aug./Sep. 2010	NGC 6940	Vul	20 ^h 34,6 ^{min}	+28° 18'	20.5.2010
	NGC 6992-5	Cyg	20 ^h 57,0 ^{min}	+31° 30'	
Nr. 72, Okt./Nov. 2010	NGC 869	Per	02 ^h 19,0 ^{min}	+57° 09'	20.7.2010
	NGC 884	Per	02 ^h 22,4 ^{min}	+57° 07'	
Nr. 73, Dez./Jan. 2011	IC 2118	Eri	05 ^h 06,4 ^{min}	-07° 16'	20.9.2010
	M 78	Ori	05 ^h 46,7 ^{min}	+00° 05'	
Nr. 74, Feb./Mär. 2011	M 93	Pup	07 ^h 44,6 ^{min}	-23° 52'	20.11.2010
	NGC 2440	Pup	07 ^h 41,8 ^{min}	-18° 13'	

NGC 3628

CCD-Aufnahme, 16"-Hypergraph bei 3200mm, STL-6303, 6x20min (L), 4x7,5min (R), 4x7,5min (G), 4x15min (B), Astronomik IIc-Filter. Bernd Flach-Wilken



CCD-Aufnahme, 5,5"-Refraktor bei 980mm, SBIG STL-11000M, 14×8min (L), 4×8min (je RGB), Baader LRGB-Filter. *Dirk Bautzmann*



Digitalfoto, 8"-Newton bei 920mm, Canon 40D (modifiziert), ISO 800, 47×5min. *Siegfried Kohlert* ▲



CCD-Aufnahme, 8"-SCT bei 1260mm, ST-7, 4×10min. *Heino Niebel* ▲



CCD-Aufnahme, 8"-Cassegrain bei 1260mm, SBIG ST-2000XM, 16×10min (L), 14×5min (R), 8×5min (G), 11×5min (B), Astronomik-Filter. *Jürgen Stein*

NGC 3628

10x50-Fernglas: Bortle 3–4; nur indirekt sichtbar, länglich. Die Galaxie ist erheblich schwieriger zu sehen als die anderen beiden Mitglieder des Trios. *Uwe Pilz*

16x70-Fernglas: fst 6^m1; ist zu sehen, allerdings nicht auffallend sondern schwach. Deutliche Spindelform Ost-West, etwa 5' x 1' groß, elegant! *Wolfgang Vollmann*

16x70-Fernglas: fst 6^m0; an der Wahrnehmungsgrenze, Galaxie erst nach einiger Zeit als feinen lang gestreckten Nebelhauch indirekt gesehen! Wird nördlich und südlich von je einem schwachen Stern flankiert. Skizze zur Bestätigung angefertigt. *Michael Zschech*

25x100-Fernglas: fst 6^m0; es war schon ein »leichtes indirektes Sehen« nötig und damit kein leichtes Objekt. *Jörg Meyer*

110/660-Refraktor: fst 5^m5; das Objekt erscheint als sehr lichtschwacher etwas länglich gezogener Nebel. Ich hatte Mühe die Galaxie zu erkennen. Kaum Helligkeitskonzentration im Kernbereich. 45x. *Stefan Westphal*

200/1200-Newton: fst 5^m5; während meines Beobachtungsaufenthaltes Anfang April 2008 auf der Sternwarte Kirchheim habe ich auch das Triplett im Löwen im Okular gehabt. M 65 und M 66 waren ohne Probleme zu sehen, bei NGC 3628 bin ich mir nicht sicher. Nur bei indirektem Sehen tauchte die Galaxie manchmal auf, konnte aber nicht sicher gehalten werden. Oder war es nur Einbildung? 57x. *Manfred Holl*

200/1200-Newton: fst 6^m8; die drei Galaxien des Leo-Triplets sind sehr einfach im selben Gesichtsfeld zu erkennen. Bei der sehr lang gestreckten, 1:5 elongierten und schwächsten Galaxie des Triplets, NGC 3628, erkennt man auch schon im 8-Zöller andeutungsweise das Staubband. Ein helles Zentrum ist nicht zu erkennen. 48x. *Andreas Schnabel*

250/1250-Newton: fst 6^m0; mit 42x kein Problem, leichtes Objekt. 42x. *Jörg Meyer*

320/1440-Newton: Bortle 3–4; mit 10' extrem lang und schmal. Der helle Zentralbereich ist etwa 4' ausgedehnt. Das Dunkelband im Süden ist nur dadurch sichtbar, dass die Galaxie dort abrupt begrenzt ist. 72x. *Uwe Pilz*

330/1530-Newton: fst 6^m1; bei 50-facher Vergrößerung ist NGC 3628 als diffuser, leicht länglicher Lichtfleck zu sehen. Bei 120x erscheint sie recht groß mit einer eher geringen Flächenhelligkeit. Mit indirektem Sehen ist das Staubband zu sehen, das den Galaxienkörper durchzieht. Die Enden der Galaxie laufen sanft nach außen aus und haben keinen fest definierten Rand. 120x. *Christian Busch*



NGC 3184

110/660-Refraktor: fst 5^m5; die Galaxie ist schwierig zu sehen. Das Objekt erscheint rund. Es ist keine Verdichtung im Kernbereich zu erkennen. Man muss geduldig beobachten, um das schwache Leuchten wahrnehmen zu können. 53x. *Stefan Westphal*

200/1200-Newton: fst 6^m0; Galaxie als kreisrunde Nebelscheibe mit Helligkeitszunahme zum Zentrum sichtbar. Indirekt sind leichte Unregelmäßigkeiten in der Flächenhelligkeit zu erahnen. Am Rand ein heller Stern. 120x. *Michael Zschech*

250/1250-Newton: fst 5^m0; mit 31x nur indirekt gesehen. Mit 139x ein leichtes Objekt. *Jörg Meyer*

250/1250-Newton: fst 5^m0; leicht zu finden, liegt unmittelbar neben einem 11^m-Stern. Direkt sichtbar, sehr schwach, groß und rund. Am besten mit 3mm bis 4mm AP. Zoom-Okular 52x – 156x. *Frank Lange*

254/1140-Newton: fst 6^m6; großer, blasser Fleck, bei 50x gut auszumachen. Bei 235x schwach, mit einem helleren Zentrum als einzigem erkennbaren Detail. 235x. *Matthias Kronberger*

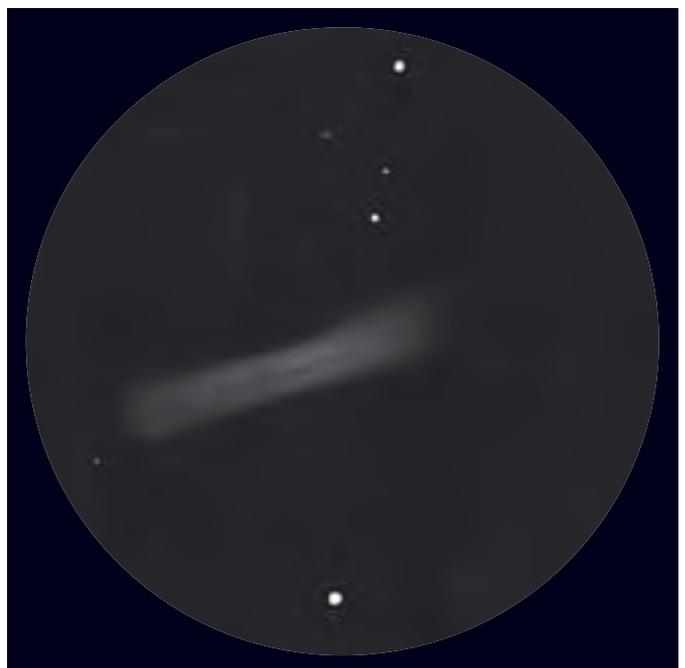
304/1540-Newton: Bortle 3; SQM 21^m48; mit 113x bis 205x Vergrößerung sah ich ein helles Zentrum, von dem ich den unteren Spiralarm ausmachen konnte. Den oberen Spiralarm konnte ich nur indirekt sichten. 113x. *Hans-Jürgen Merk*

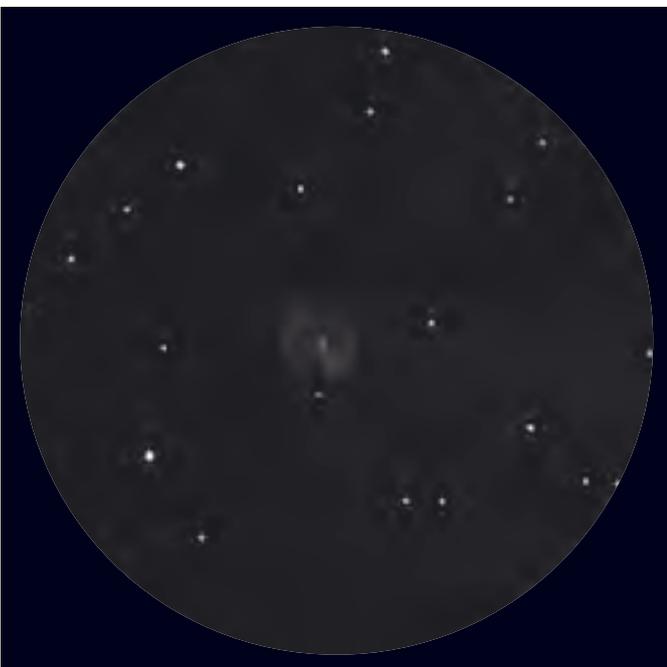
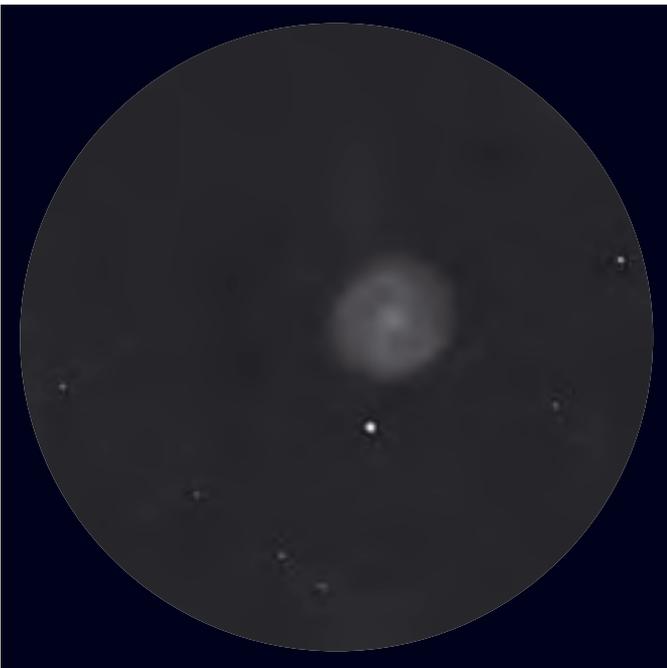
320/1440-Newton: Bortle 3–4; auf den ersten Blick rund, die Spiralstruktur ist ansatzweise sichtbar: Dies wird durch das dunkle Gebiet im Südsüdwesten und durch den heller leuchtenden Bereich im Südsüdosten belegt. Durchmesser 5'. 72x. *Uwe Pilz*

330/1530-Newton: fst 6^m1; bei 50x ist die Galaxie schon sehr leicht zu sehen. Die Spiralarme schälen sich erst bei 130x aus dem diffusen Hintergrund heraus. Sie sind nicht besonders auffällig und nur mit indirektem Sehen zu erkennen. 130x. *Christian Busch*

Zeichnung, 13,5"-Newton, 188x, SQM 21^m3, fst 6^m1. *Hubert Schupke* ▲

Zeichnung, 13"-Newton, 120x, fst 6^m1. *Christian Busch* ▼





▲ **CCD-Aufnahme**, 16"-Newton bei 1800mm, Artemis 4021.
Burkhard Kowatsch

◀ **Zeichnung**, 13"-Newton, 130×, fst 6^m/1. *Christian Busch*

▶ **Zeichnung**, 12"-Newton, 113×, Bortle 3, SQM 21^m/48. *Hans-Jürgen Merk*

CCD-Aufnahme, 12"-Newton bei 1380mm, ST-10XME, 20×5min (L), 6×5min (R), 6×5min (G), 6×7,5min (B), Astronomik-Filter.
Andreas Rörig ▼



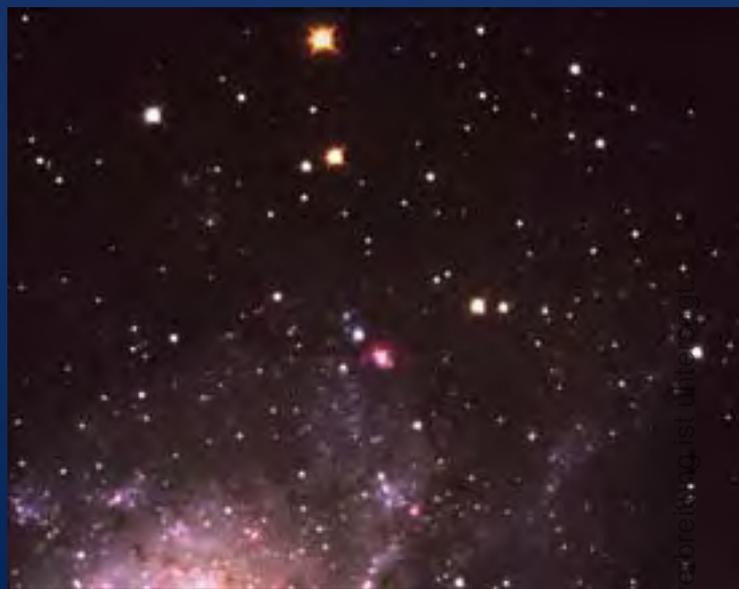
Astrofotos unserer Leser



NGC 6888, der Crescentnebel. CCD-Aufnahme, 9"-Refraktor bei 2100mm, SBIG STL-11000, 34×37min (Ha), 21×15min (L), 26×37min (R), 18×37min (G), 25×37min (B), Astronomik-Filter. *Immo Gerber, Dietmar Hager*



Der Planetarische Nebel NGC 40. CCD-Aufnahme, 12"-SCT bei 3000mm, SBIG ST-2000XM, 10×4min (H α), 36×4min (L), 10×4min (je RGB), SBIG LRGB-Filter, Astronomik-H α 13nm. *Michael Deger*



Der nördliche Bereich von M 33 mit NGC 604. Digitalfoto, 12"-Newton bei 1620mm, Canon 1000Da, ISO 800, 7×8,5min. *Ralf Thiele*



Selten fotografiert: Die Galaxie NGC 925. CCD-Aufnahme, 10"-Newton bei 1260mm, Atik 16HR, 16×10min (L), 6×5min (je RGB), RGB im 2×2 binning. *Carsten Reese*



Stephans Quintett. CCD-Aufnahme, 12"-SCT bei 3000mm, SBIG ST-2000XM, 70×4min (L), 10×4min (je RGB), SBIG LRGB-Filter. *Michael Deger*

Schluss-Spurt

Das Jahr der Astronomie ist zu Ende

VON DANIEL FISCHER



Abb. 1: Astronomiegeschichte im Jahr der Astronomie: Eines der letzten noch existierenden Heliometer zur hochgenauen Astrometrie bildet das Herz einer Ausstellung im Deutschen Museum Bonn.

In seinen letzten Monaten nahm das Internationale Jahr der Astronomie (IYA) noch einmal richtig Fahrt auf, und gerade jetzt sprießten vielerorts die originellsten Ideen: So mancher hatte erst spät vom IYA erfahren und etwas auf die Beine stellen können. Zahlreiche Ausstellungen gehen auch im neuen Jahr noch weiter, so etwa astronomische Bücherschauen in Heidelberg und Bonn und die »Entwicklung des Universums«, die der Exzellenzcluster Universum im Deutschen Museum in München inszeniert hat und die erst im Dezember ihre Pforten öffnete. Auch so manche Vortragsreihe ist noch nicht zu Ende – und zur Erhaltung und Förderung der beim IYA entstandenen Netzwerke ist die deutsche Homepage des Astronomiejahres in das neue Portal www.astronomie-in-deutschland.de umgewandelt worden, in dem sich die vielfältigen astronomischen Aktivitäten des Landes wieder spiegeln werden. Auch auf lokaler Ebene dürften viele für das IYA geschaffene Informationsportale weiter geführt werden, waren doch »Wann kommen Sie wieder?« und »Wo erfährt man davon?« die am häufigsten gehörten Fragen am Rande der mehreren tausend Veranstaltungen, die die Idee des Astronomiejahres in Deutschland umgesetzt hatten. Die meisten waren eher punktuell gewesen, aber mitunter ging es auch flächendeckend zu: So war die zum siebten Mal veranstaltete Kölner »Kunst im Carrée« 2009 unter das Thema »Firma-



Abb. 2: Aus der Kunstaktion in Köln-Sülz: Sigrid van Sierenbergs »Schwarze Sonnen« gewannen den Jury-Preis. Links Brigitte Hellwig, die Organisatorin der »Kunst im Carrée«.

nente + Gestirne« gestellt worden. Mit Carrée ist der gesamte Stadtteil Sülz gemeint: An nicht weniger als 34 Schauplätzen, meist Geschäften, konnten 40 moderne Künstler ihre astronomisch motivierten Werke präsentieren, denen so jeder Bewohner des Viertels im Laufe einer Woche geradezu zwangsläufig begegnen musste. Kosmische Gemälde fanden sich da in Accessoire-Läden oder zwischen Herrenmode wieder – oder aber bei einem Zahnarzt, wo Polarlichter in einer schwarzlichterhellten Dunkelkammer strahlten.

Das grundlegende Ziel des IYA, neue Zielgruppen mit Astronomischem zu überraschen, wurde hier gewiss erfüllt. Das könnte auch mit einem originellen Theaterstück – eigentlich einer szenischen Lesung – des Aachener Informatikprofessors Walter Oberschelp gelingen, das die Astronomie um das Jahr 1676 lebendig werden lässt: Bei einem Lokaltermin an der Pariser Sternwarte geraten sich Cassini und sein Teleskoplieferant Campani über die Priorität bei der Entdeckung der Teilung des Saturnrings in die Haare (wobei Campani nach den Recherchen von Oberschelp und seinem Bruder tatsächlich der erste war). Auch Huygens und diverse Figuren vom Hofe des Königs Ludwig XIV. spielen mit, und es werden – wie anhand von 57 Fußnoten des Skripts nachzuvollziehen – eine Fülle wissenschaftlicher und sozialer Aspekte der Zeit in Szene gesetzt. Mehrfach ist das Stück schon zur Aufführung gekommen, und auch andere



Abb. 3: Aufführung des IYA-Theaterstücks »Cassini – Der Ring« während der Jahrestagung der VdS-Fachgruppe Geschichte der Astronomie in Bonn: Cassini (links) und Campani streiten über die Entdeckung der Saturnringlücke; eine Kurtisane von Ludwig XIV. schaut zu.



Abb. 4: Teleskopkunde ist keine Frage des Alters: Gerade Dobsons begeisterten immer wieder am Rande von IYA-Veranstaltungen, wie hier in Sankt Augustin.



Abb. 5: Einblicke in Freud und Leid des Amateurastronomen konnte so mancher Besucher von öffentlichen Starpartys gewinnen – wie hier bei der Jupiterjagd per Dobson in Wolkenlücken.

astronomiegeschichtliche Theaterproduktionen waren »auf Tour« und warben für das IYA. Der prominenteste Fürsprecher auf dem Planeten war indes nicht zu überbieten: US-Präsident Barack Obama veranstaltete im Oktober aus diesem Anlass eine Starparty, betrachtete nach kurzer Ansprache ε Lyrae in einem Teleskop, besuchte weitere Instrumente und blieb länger in einem improvisierten Planetarium. Mit solcher Unterstützung durch die Politik hätte das IYA auch in Deutschland noch viel mehr bewegen können.

Termine für Sternfreunde Februar–März 2010



Fachtagung / Workshop

- 3** 5.–7.3.: **Deep-Sky-Treffen 2010**, Hotel Sonnenblick bei Bebra/Hessen
 Ⓛ VdS-Fachgruppe Visuelle Deep-Sky-Beobachtung, Jens Bohle, Frankenstr. 6, 32120 Hiddenhausen, astronomie@jens-bohle.de und VdS-Fachgruppe Astrofotografie, Peter Riepe, Lortzingstr. 5, D-44789 Bochum, fg-astrofotografie@vds-astro.de, www.fachgruppe-deepsky.de
- 5** 19.–21.3.: **2. Deep-Sky-Meeting auf der Schwäbischen Alb**, Landgasthof Hirsch, Hayingen-Indelhausen Ⓛ Hans-Jürgen Merk, Kleinstafflangen 13, D-88400 Stafflangen, 07351/74054, hajuem@web.de, www.deepskymeeting.astromerk.de
- 7** 26.–28.3.: **29. Seminar des Arbeitskreis Meteore**, Jugendherberge in Plothen Ⓛ Sirko Molau, Abenstalstr. 13b, D-84072 Seysdorf, 08752/869437, sirko@molau.de, www.meteoros.de/akm/seminar10.html

Messe

- 2** 20.2.: **10. Astronomie Treff Hückelhoven (ATH)**, Aula des Gymnasiums Hückelhoven
 Ⓛ Robert Lebek, Charles-Lindbergh-Str. 78, D-41849 Wassenberg, 02452/976144, astroag@freenet.de

Beobachtungstreffen

- 4** 13.3.: **Messier-Nacht an der Sternwarte Schneeberg** Ⓛ Sternwarte Schneeberg, Heinrich-Heine-Straße 13a, D-08289 Schneeberg, Herr Georgi, Kulturhaus Aue, 03771/23762, sternwarteschneeberg@t-online.de, www.planetarium-schneeberg.de
- 6** 19.–21.3.: **8. Winter-Teleskoptreffen (WTT)**, Berghotel »Langis«, Glaubenberg in Obwalden oberhalb Sarnen
 Ⓛ Niklaus J. Imfeld und Eduard von Bergen, +0041(0)41/6611234, verein@aoasky.ch, www.aoasky.ch/wtt

Sonstiges

- 1** 18.–20.2.: **3. Bergsträßer Weltraumtage**
 Ⓛ Schuldorf Bergstraße, Sandstraße, D-64342 Seeheim-Jugenheim, www.weltraumtage.de

Das Ende der Nacht

Das Phänomen der globalen Lichtverschmutzung ist Amateurastronomen sehr vertraut. Wer nicht das Glück hat, unter einem dunklen Land- oder Gebirgshimmel zu leben, muss für Deep-Sky-Beobachtungen oft lange Wege zu geeigneten Beobachtungsplätzen in Kauf nehmen. Seit zwei Jahrzehnten kann anhand von aufbereiteten Satellitenaufnahmen der Erde auch systematisch nach Orten mit dunklem Nachthimmel gesucht werden. Doch das Problem der Lichtverschmutzung reicht weit über die Astronomie hinaus. Wie stark der Mensch im letzten Jahrhundert den Nachthimmel verändert hat und welche Konsequenzen dies für uns und die Natur hat, sind die Themen dieses Buches.

Das erste der sieben Kapitel führt den Leser in das Phänomen der Lichtverschmutzung ein. Die Nutzung des Lichts im Wandel der Zeiten ist durch Zunahme der erzielten Lichtausbeute und Abnahme der Beleuchtungskosten geprägt. Das zweite Kapitel dokumentiert die Lichtverschmutzung in Mitteleuro-

Thomas Posch, Anja Freyhoff, Thomas Uhlmann (Hrsg.): Das Ende der Nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Wiley-VCH, Berlin 2009. ISBN 978-3-527-40946-4, 151 S., 29€

pa und erläutert dabei verschiedene Möglichkeiten, die Dunkelheit des Nachthimmels anhand von Satellitenbildern und eigenen Messungen abzuschätzen und zu dokumentieren. Eingehend befasst sich der Autor mit der Frage, wie die Lichtverschmutzung reduziert werden kann, z.B. durch Veränderungen an Leuchtkörpern und Leuchtmitteln. Die folgenden Kapitel erläutern die Auswirkungen künstlichen Lichts auf Insekten, Zugvögel und die Wanderungen von Meeresschildkröten, sowie die Rolle des Mondlichts als Zeitgeber für die Meeresfauna. Hierbei wird deutlich, wie stark der Mensch durch künstliche Teile der irdischen Natur beeinflusst und schädigt. Das abschließende Kapitel des Buches erläutert, wie und warum auch die Psyche des Menschen von natürlichem und künstlichem Licht beeinflusst wird.



Die Herausgeber haben für dieses Buch Kapitel jeweils unterschiedlicher Autoren zusammengestellt. Dieses Vorgehen ermöglichte es, die sehr verschiedenen Aspekte der Lichtverschmutzung umfassend und auf dem aktuellen Stand der Forschung darzustellen. Das Buch liest sich dennoch erfreulich homogen und vermeidet Wiederholungen durch eine gute Abstimmung der Kapitel aufeinander. Die grafische Gestaltung des Buches wirkt etwas aufdringlich. Inhaltlich ist dieses Buch für alle interessant und lesenswert, die sich mit dem Thema Lichtverschmutzung befassen oder als Amateurastronomen davon betroffen sind. Nicht gering zu schätzen ist zudem das Potenzial dieses Buches als Argumentationshilfe in der Diskussion mit Verursachern oder Kommunen.

■ Thomas Rattei

Das Weltgeheimnis

Historische Ereignisse lassen sich nur verstehen, wenn man die Zeit kennt, in der sie geschehen sind. Dies trifft nicht nur auf die Politik, sondern gerade auch auf die Geschichte der Wissenschaft zu. Einer der wichtigsten Meilensteine in der Astronomiegeschichte findet am Beginn des 17. Jahrhunderts statt: Galileo Galilei richtet in Venedig ein Fernrohr auf den gestirnten Himmel und Johannes Kepler entdeckt in Prag die Gesetzmäßigkeiten, mit denen sich die Planeten im Sonnensystem bewegen. Beide Forscher finden aus ganz verschiedenen Richtungen zur astronomischen Forschung. Galilei entstammt einer Künstlerfamilie

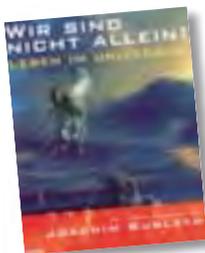


Thomas de Padova: Das Weltgeheimnis. Kepler, Galilei und die Vermessung des Himmels. Piper Verlag GmbH, München 2009, ISBN 978-3-492-05172-9, 352 S., 19,95€

und wird Mathematikprofessor, während Kepler studierter Theologe ist. Thomas de Padova stellt beide Persönlichkeiten in ihre Zeit und schildert in seinem Buch ihren Lebensweg, ihre Erkenntnisse, Zweifel und Rückschläge. Beide standen in brieflichem Kontakt zueinander und wesentliche Teile dieses Schriftwechsels sind erhalten geblieben. Durch die Nutzung dieser Quellen gelingt es dem Autor, die Zeit vor 400 Jahren und das Wirken von Galilei und Kepler anschaulich, detailreich und spannend darzustellen.

■ Thomas Rattei

Wir sind nicht allein!



Igor und Grichka Bogdanov: Wir sind nicht allein! Leben im Universum, Theiss-Verlag, Stuttgart 2009, ISBN 978-3806222494, 191 S., 34,90€

In einer Epoche, in der mehr und mehr extrasolare Planeten entdeckt werden, ist die Frage nach der Existenz anderer belebter Welten aktueller denn je.

Die beiden Wissenschaftler und Publizisten Igor und Grichka Bogdanov befassen sich in diesem Buch aus ihrer Sicht mit diesem Thema. Mit Hilfe knapper, auch mit wenig astronomischem und biologischem Vorwissen verständlicher Texte sowie zahlreicher

großformatiger Computergrafiken und Fotos verbinden die Autoren Wissenschaft mit Fiktion. Aufbauend auf den Prinzipien und der Anpassungsfähigkeit des bekannten Lebens und der Vielfalt der extrasolaren Planeten kommt das Buch letztlich zu dem Schluss, dass unser irdisches Leben nicht einzigartig ist.

■ Thomas Rattei

Demnächst in interstellarum

interstellarum 69

Astronomie fürs iPhone

»Smartphones« sind die Spitzenklasse der Mobiltelefone. Für das iPhone von Apple gibt es inzwischen zahlreiche Astronomie-Anwendungen. In einem zweiteiligen Beitrag stellt interstellarum interessante »Apps« vor.



ULLICH-DITTLER

QSI CCD-Kameras

Quantum Scientific Instruments nennt sich ein Anbieter von CCD-Kameras, die bisher im deutschsprachigen Raum wenig verbreitet sind. Dabei weisen die zahlreichen Modelle einige Innovationen auf, wie etwa einen eingebauten Off-Axis-Guider. Ein Praxistest.



ULLICH-DITTLER

Heft 69 ab 12.3.2010 im Zeitschriftenhandel erhältlich!

Aktuelle Berichte, Meldungen aus der Forschung und Neuigkeiten aus der Astroszene erhalten Sie alle 14 Tage im kostenlosen interstellarum-Newsletter.

Inserenten dieser Ausgabe

APM Telescopes	64	Beyersdörfer GmbH	U3	Optical Vision	33/35/63
ASA Astrosysteme GmbH	24	Farm Tivoli	77	Sahara Sky	77
AstroInfo	30	Fujinon Europe	4	Sattleggers Alpenhof	77
Astrocom	32	Hofheim Instruments	75	Teleskop-Service	64
Astrolumina	16	Intercon Spacetec	5	Teleskop & Sternwarten	
Astromann.de	77	Kiripotib Astrofarm	77	Zentrum	34
Astronomie.de	56	Kosmos-Verlag	24	Vixen Europe	80
Astro-Shop	U2	Meade Instruments	U4	Wissenschaft Online	11
Astrotreff	75	nimax GmbH	6/7	Wolfgang Lille	77
Berlebach Stativtechnik	39	Oculum-Verlag	62/79		

Impressum

www.interstellarum.de | ISSN: 0946-9915

Verlag: Oculum-Verlag GmbH, Westliche Stadtmauerstr. 30a, D-91054 Erlangen

WWW: www.oculum.de

E-Mail: info@oculum.de

Tel.: 09131/970694

Fax: 09131/978596

Abo-Service: Oculum-Verlag GmbH, Westliche Stadtmauerstr. 30a, D-91054 Erlangen

E-Mail: aboservice@interstellarum.de

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

Fax: 09131/978596

Bezug: Jahresbezugspreise 2010 inkl. Zustellung frei Haus: 54,90 € (D), 59,90 € (A, CH), 59,90 € (Ausland), erscheint zweimonatlich Anfang Feb., Apr., Jun., Aug., Okt., Dez., 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 Klängenweg 10, D-65396 Walluf

Grafik und Layout: Frank Haller, Diana Hoh

Redaktion: redaktion@interstellarum.de

Ronald Stoyan (Chefredaktion), Daniel Fischer, Susanne Friedrich, Frank Gasparini

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), Thomas Ratte (Rezensionen), 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, 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, Mario Weigand, Volker Wendel, Dieter Willasch, Peter Wienerroither, Thomas Winterer

Manuskriptannahme: Bitte beachten Sie unsere Hinweise unter www.interstellarum.de/texte.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 sinnenstehend 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. 11 vom 1.11.2009

Britta Friedsam, Anzeigenleitung, Fax: 09131/978596, E-Mail: werbung@interstellarum.de

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

