

fokussiert



Ronald Stoyan, Chefredakteur



Titelbild: **Kometen sind die Prototypen** der von Amateuren entdeckten astronomischen Objekte. Das Bild zeigt den Schweifstern Hyakutake im April 1997 während seines Perihels. Die Schmidtkamera-Aufnahme entstand mit 5 Minuten Belichtungszeit auf Kodak Pro Gold 160 ASA auf der Ebenwaldhöhe in Niederösterreich.
Gerald Rhemann

Liebe Leserinnen und Leser,

jeder Amateurastronom träumt davon: Selbst etwas am Himmel zu entdecken; der Erste zu sein, dem eine besondere Sichtung gelingt; seinen Namen am Himmel verewigt zu wissen. Zu allen Zeiten waren die Ehren und Anerkennung einer astronomischen Entdeckung eine wichtige Motivationsquelle für Hobby-Sterngucker, wissenschaftlich tätig zu werden. Wesentliche Entdeckungen, die die Astronomie geprägt haben, sind diesem Trieb zu verdanken.

Dem geschichtlichen Bezug widmet sich die Rubrik Hintergrund. Daniel Fischer zeigt in seinem Artikel, welche Voraussetzungen in der Vergangenheit zu astronomischen Entdeckungen führten, und was daraus für die Zukunft zu lernen ist (Seite 8). Nico Schmidt wendet sich in seinem Beitrag einem besonderen Meilenstein der modernen Astronomie zu: Vor 150 Jahren wurde von Kirchhoff und Bunsen die Spektralanalyse geboren (Seite 12). Lutz Clausnitzer zeichnet das Leben des erfolgreichsten deutschen Kometenentdeckers Wilhelm Tempel nach und zeigt, wie im 19. Jahrhundert astronomische Entdeckungen stattfanden (Seite 18).

Nicht nur auch, sondern gerade heute ist es Amateuren in einer großen Breite von Teildisziplinen möglich, selbst zum Entdecker zu werden. Sie reicht von Weltraumschrott (Seite 26), Impakten auf dem Mond (Seite 52), Kleinplaneten (Seite 30, 68), Kometen (Seite 36, 56, 64) bis zu Veränderlichen Sternen (Seite 76), Planetarischen Nebeln (Seite 39), Sternströme in Galaxien (Seite 46) und Supernovae (Seite 79). Für viele dieser Entdeckungen ist dabei gar kein Teleskop mehr möglich – stattdessen betreiben Hobby-Entdecker »Data-Mining« in Internet-Datenbanken vom warmen Wohnzimmer aus (Seite 56, 76).

Die Beiträge in diesem Themenheft sind wie sonst auch in zwei Rubriken eingeordnet: Im Praxis-Teil wird über Objekte und Ergebnisse berichtet, während sich der Theorie-Teil dem How-to und der Darstellung der speziellen Such- und Aufnahmetechniken widmet. Insgesamt ergibt sich ein lebendiges Bild der Amateurastronomie als echte Bereicherung für die Wissenschaft, an der sich jeder je nach seinen Möglichkeiten beteiligen kann.

Anregende Lektüre wünscht,

Ihr

Ronald Stoyan



Die Entzifferung des Sternlichts

12



Kleinplaneten beobachten und entdecken

30



Geisterhafte Schalen

39



Kometen entdecken

64

Hintergrund

- 8 Entdeckungen in der Astronomie**
Zufall, Technik und die rechte Gabe
- 12 Die Entzifferung des Sternlichts**
150 Jahre Spektralanalyse
- 18 Tempels Vermächtnis**
Die Entdeckungen des erfolgreichsten deutschen Kometenjähgers

Praxis

- 26 Der Schweizer Schrott-Sucher**
ZimSMART – Ein robotisches Teleskop für die Weltraumschrottsuche
- 34 Die Kohoutek-Kometen**
Meine fünf Hamburger Entdeckungen
- 30 Kleinplaneten beobachten und entdecken**
Vom Stationscode bis zur Benennung eines Asteroiden
- 34 Praxis-Wissen: Wie kann man Kleinplaneten fotografisch entdecken?**
- 39 Geisterhafte Schalen**
Entdeckungen Planetarischer Nebel durch Amateurastronomen
- 46 Gespenstische Sternströme**
Beobachten wie Galaxien wachsen

Technik

- 52 Lichtblitze vom Mond**
Beobachtung von Lunar Impact Flashes
- 56 Der Sonne gefährlich nahe**
Per Internet Kometen entdecken mit SOHO
- 64 Kometen entdecken**
Sind die Zeiten für Amateure vorbei?
- 68 Die Nadel im Heuhaufen finden**
Die Technik der Entdeckung von Kleinplaneten
- 74 Technik-Wissen: Wie macht die Digitalfotografie Neuentdeckungen möglich?**
- 76 Einer unter Vielen**
Entdeckung Veränderlicher Sterne in Online-Datenbanken
- 79 Ein Mann, drei Teleskope, 138 Supernovae**
Ein Interview mit dem Supernova-Entdecker Tom Boles

interstellarum STERNSTUNDE

»interstellarum Sternstunde« ist die erste regelmäßige astronomische Fernsehsendung im Internet. Sie können sie kostenlos auf www.interstellarum.de ansehen.
Ausgabe Nr. 2 (11.3.2011)

Themen

- **Solar Dynamics Observer:** Die Sonne in Bewegung, Interview mit Oliver Dreißigacker
- **Astronomietag:** Astronomie zum Anfassen am 9. April

außerdem

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

Die interstellarum Einsteigerseiten:

astroeinstieg.de
by interstellarum Zeitschrift für praktische Astronomie

teleskop1x1.de

Das große Teleskop-Portal von interstellarum:

Fernrohrfinder.de

Datenbank aus fast 1500 Produkten:

- 493 Komplettgeräte
- 298 Tuben mit Optik
- 97 Montierungen
- 529 Okulare

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

Entdeckungen in der Astronomie

Zufall, Technik und die rechte Gabe



Beobachtung

- 84 **Zwei Amateuraufnahmen, die Geschichte schrieben**
23.1.2004, Jay McNeil, M 78
19.7.2009, Anthony Wesley, Jupiter

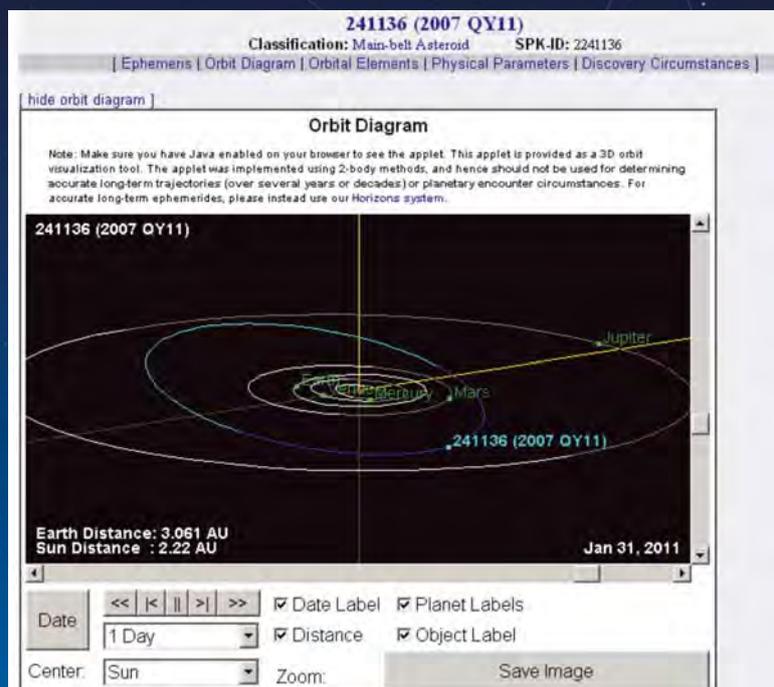
Service

- **Astromarkt**
- 86 Kleinanzeige

- 1 fokussiert
- 2 Inhaltsverzeichnis
- 88 Vorschau, Impressum

Die Nadel im Heuhaufen finden

Die Technik der Entdeckung von Kleinplaneten



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

Hintergrund

Entdeckungen in der Astronomie

Zufall, Technik und die rechte Gabe

VON DANIEL FISCHER

»Entdeckung« kann in der Astronomie manches bedeuten: einen Kleinplaneten finden, auf einen unbekanntem Typ von Himmelsobjekt stoßen oder eine fundamentale Einsicht in wesentliche Eigenschaften des Weltraums gewinnen. Die erste Art Entdeckung hat vor allem mit Fleiß und Beherrschung der Technik zu tun, kann aber unverhofft zur zweiten führen, wenn der Astronom Erstaunliches erkennt und ihm nachgeht. Neue technische Instrumente mit deutlich verbesserter Empfindlichkeit sind dabei oft der Schlüssel. Und zuweilen – wenn auch noch das rechte theoretische Werkzeug bereit ist – kann eine Entdeckung der dritten Art die Folge sein, die ein ganzes Weltbild verändert.

Der 2. Februar 2011 könnte so ein Tag gewesen sein, als die Wissenschaftler hinter dem Kepler-Satelliten den ersten Gesamtkatalog ihrer Funde extrasolarer Planeten-Kandidaten präsentierten. Fleißig waren sie gewesen: Über 1200 mutmaßliche Planeten – der Anteil der Fehldetektionen wird auf höchstens 10% bis 20% geschätzt – von knapp 1000 Sternen in der Milchstraße sind

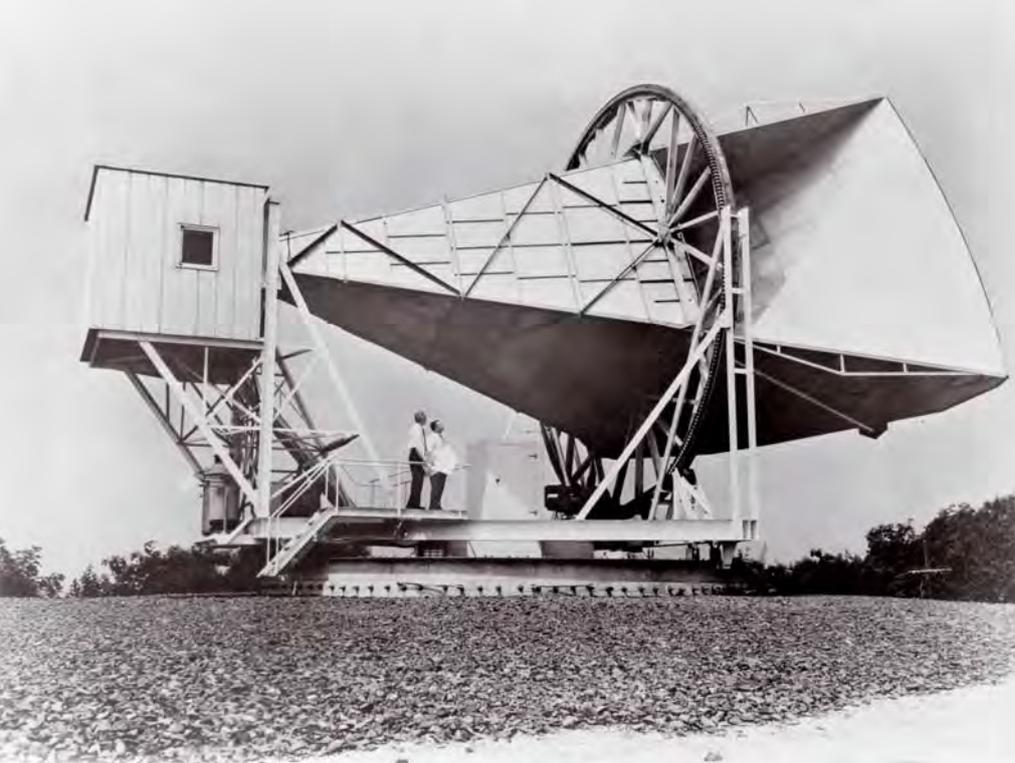
nun bekannt. Sie verdreifachen nicht nur die Gesamtzahl der bekannten Exoplaneten: Der Katalog stellt, mit weit weniger Auswahleffekten als bisher, eine qualitativ neue Bestandsaufnahme der Größenverteilung von Planeten dar, inklusive etlicher Kandidaten von nur einem Erddurchmesser oder sogar noch weniger, darunter auch dem ersten »Exo-Mars«, womit das Sonnensystem immer mehr als der

Normalfall erscheint. Dieser Erkenntnisprung kommt nicht von ungefähr, sondern passt genau in ein Bild, das Theoretiker der astronomischen Forschung in den letzten Jahrzehnten gezeichnet haben: Wesentliche Entdeckungen gibt es oft dann, wenn ein neues Messinstrument mit deutlich verbesserter Präzision in einer bestimmten »Dimension« zum Einsatz kam. Auf den Kepler-Satelliten mit

Abb. 1: Immer größere Teleskope werden gebaut, um Entdeckungen in der Astronomie zu machen. Im Bild die vier Haupt- und Hilfsteleskope des Very Large Telescope (VLT) auf dem Paranal.

ESO/H.H. HEYER





NASA

seiner extrem genauen Sternphotometrie und langen, ununterbrochenen Zeitreihen trifft dies gleich mehrfach zu. Und wer weiß, vielleicht wird sein systematischer Zensus der Planeten zehntausender Sterne – die Mission hat erst begonnen – am Ende zu einem fundamentalen Verständnis der Planetenbildung insgesamt führen, das nach den ersten Entdeckungen fremder Systeme eher ferner denn näher gerückt schien.

Die rechte Gabe

Verglichen mit der typischen großen Entdeckung in der Astronomie sind Keplers Funde indes allzu sehr mit System zustande gekommen: Nach jahrzehntelangen Vorbe-

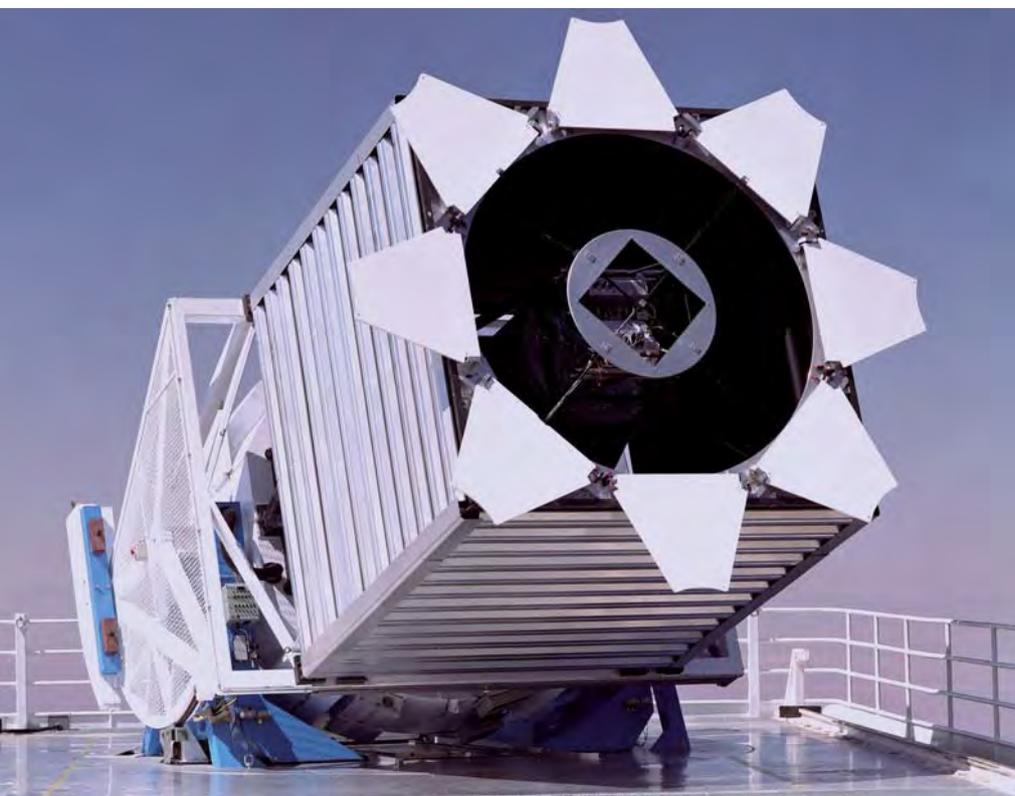
reitungen war der Satellit speziell für den Nachweis kleiner Planeten bei ihren Durchgängen vor fernen Sternscheibchen konstruiert, die Suchstrategie in einem Himmelsfeld in Cygnus optimiert und die Datenanalyse genau auf das Aufspüren planetentypischer Einbrüche der Sternhelligkeiten zugeschnitten worden. Meist stammen wichtige Entdeckungen aber von astronomischen – oder sogar nicht-astronomischen – Instrumenten, die für etwas ganz anderes konstruiert worden waren. Von der »wissenschaftlichen Methode«, die nach landläufiger Vorstellung durch systematische Experimente (bzw. Beobachtungen) zum Testen konkreter Hypothesen bestimmt wird, ist manchmal wenig zu spüren. Man schätzt vielmehr, dass ein Drittel bis die Hälfte aller wissenschaftlichen

Abb. 2: Die Antenne der Bell Labs in Holmdel, New Jersey, mit der Penzias und Wilson durch puren Zufall auf die kosmische Hintergrundstrahlung, das »Echo des Urknalls« sozusagen, gestoßen sind – eigentlich diente sie Messungen zur Kommunikation mit Satelliten.

Entdeckungen durch glückliche Zufälle zustande kommen, wofür es sogar einen Fachausdruck gibt: Dessen deutsche Form »Serendipität« wird kaum verwendet, während das englische Original »serendipity« in der Diskussion um die Geschichte der Astronomie allgegenwärtig ist. Das Wort erfand 1754 der englische Schriftsteller Horace Walpole, der Bezug auf ein orientalisches Märchen aus dem Mittelalter nahm, »die drei Prinzen von Serendip« (einem alten arabischen Namen für das heutige Sri Lanka). Die entdeckten durch Zufall am Straßenrand allerlei Spuren, anhand derer sie ein entlaufenes Kamel so präzise beschreiben konnten, dass man sie gleich dessen Diebstahls verdächtigte. Als das Tier wieder auftauchte, feierte man sie umso stürmischer: Sie hatten genau jene Gabe bewiesen, aus unverhofft gefundenen Indizien Schlüsse zu ziehen.

Nicht nur Zufall

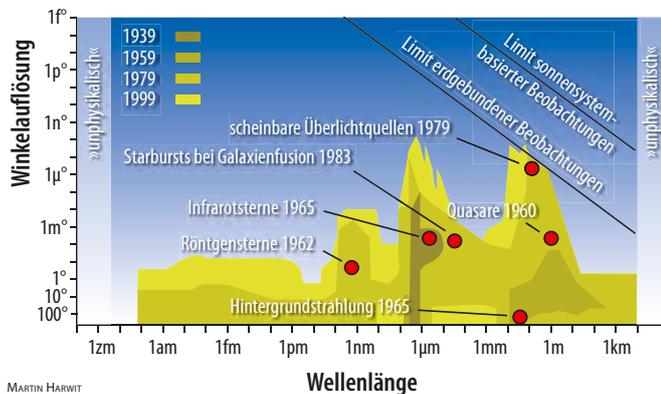
Einfach auf den Zufall zu warten, reicht aber in den seltensten Fällen: Der Forscher muss bereits mit dem Üblichen vertraut sein, um das Ungewöhnliche zu erkennen, und zugleich willens sein, Abweichungen nachzugehen anstatt sie als Messfehler zu verwerfen. Das berühmteste Beispiel ist wohl die britische Doktorandin Jocelyn Bell, die in den 1960er Jahren eigentlich mit einem Radioteleskop per interplanetarer Szintillation die Winkeldurchmesser von Quasaren messen sollte. Dazu wurde deren Strahlungsfluss mit hoher Zeitauflösung – eine neue »Dimension« der Daten! – auf endlose Papierrollen geschrieben, die Bell auszuwerten hatte. Dabei stieß sie im Sommer 1967 auf ein seltenes, aber wiederkehrendes abweichendes Zackenmuster, das sie hätte ignorieren können, das ihr aber keine Ruhe ließ und dem sie nachging. Das war das Signal eines Radiopulsars, ein damals völlig neuartiges Phänomen im Kosmos, das zwar nur Bells Doktorvater den Nobelpreis einbrachte (so war das damals), sie aber zur wahren Berühmtheit machte. Kollegen verrieten ihr



FERMI LAB VISUAL MEDIA SERVICE

Abb. 3: Das Teleskop des Sloan Digital Sky Survey auf dem Apache Point in New Mexico: Seine Himmelsdurchmusterung hat es zur Entdeckungsmaschine schlechthin gemacht.

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



MARTIN HARWIT

▲ **Abb. 4: Die Geschichte der Astronomie** im 20. Jahrhundert: Gegen die Wellenlänge und die Winkelauflösung aufgetragen sind die erreichbaren Bereiche bis 1939, 1959, 1979 und 1999 sowie einige Schlüsselentdeckungen. Vor allem bei kleinen Wellenlängen und hoher Auflösung könnte noch einiges verborgen sein, aber bei großen Wellenlängen hat die Radioastronomie zumindest diesen Teil des »Entdeckungsraums« schon zu einem guten Teil abgedeckt.

im Lauf der Jahre, dass sich Pulsare durchaus schon früher bemerkbar gemacht hatten, aber eben niemand der Sache auf den Grund gegangen war, zum Beispiel im Sommer 1957, bei einer öffentlichen Sternbeobachtung mit dem 82-Zöller des McDonald Observatory in Texas: Da sah eine junge Frau einen der Sterne im Krebsnebel rasant flackern, die anderen aber nicht – es war der 30 Mal pro Sekunde auch im sichtbaren Licht aufblitzende Pulsar. Ihre jungen Augen konnten die Blitze gerade noch trennen, die des diensthabenden Astronomen aber nicht: Die Entdeckung fiel aus – genau so wie 1965, als eine Astronomin denselben Stern flackern sah, ihr Chef aber nicht. Und auch Radioastronomen waren vor 1967 mehrfach auf Pulsare gestoßen; bei einem schlug die Nadel des Schreibers eines Morgens rhythmisch aus. Ein Tritt dagegen beendete das seltsame Treiben – weil der (heute bekannte) Pulsar just in diesem Moment aus der Keule des Radioteleskops gelaufen war.

Gut Ding braucht Weile

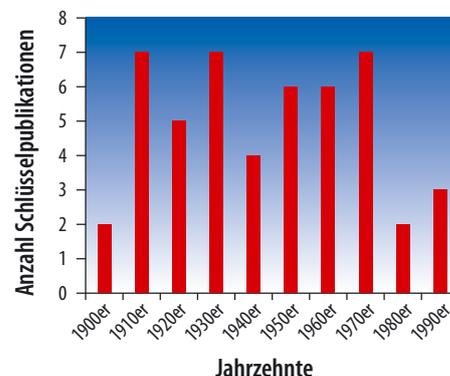
Im Nachhinein ist klar, warum erst Bell die Entdeckung gelang: Sie hatte ihr eigenes Teleskop (eigenhändig aufgebaut als Teil der Dissertation), das sie im Detail verstand, sie schaute sich – als Studentin hatte sie die Muße dazu – alle Daten ohne Ausnahme an und (da war Unwissenheit ein Segen) konnte sich wenig mit irdischen Störquellen aus, so dass sie die seltsamen Zacken nicht gleich verwarf. Hätte eine automatische Auswertung der endlosen Messreihen per Computer – damals technisch noch gar nicht machbar – ihre Entdeckung gemacht, wäre er so programmiert worden, dass er das unerwartete Signal gemeldet hätte? Das neue Design des Radioteleskops mit seiner hohen Zeitauflösung war sicherlich entscheidend gewesen, und die Astronomen wussten, dass

ihnen eine mögliche Entdeckung erst einmal niemand wegschnappen konnte: Das gab ihnen die Ruhe für sorgfältige Nachbeobachtungen, während der gute Ruf ihres Instituts am Schluss die rasche Veröffentlichung der völlig unerwarteten Funde garantierte. Der Radioastronomie »gehörte« das 20. Jahrhundert ohnehin, was sich sogar an der Zahl der Physik-Nobelpreise (die in der Himmelforschung fast alle an Radioastronomen gingen) ablesen lässt. Der Grund ist offensichtlich, wurde doch mit den drastisch längeren Wellen ein völlig neues Fenster in den Kosmos aufgestoßen, in dem sich viele Phänomene überhaupt erst bemerkbar machen. Erst wenige Jahre vor Bell waren – auch dies ein klassisches Beispiel für Serendipität – zwei Funktechniker auf ein einfach nicht zu beseitigendes Rauschen in ihrer Antenne gestoßen, das sich schließlich als das »Echo des Urknalls«, die kosmische Hintergrundstrahlung, entpuppen sollte (und beiden ebenfalls den Nobelpreis einbrachte). Und auch die Entdeckung, dass es überhaupt Radiostrahlung aus dem Kosmos gibt, war dreißig Jahre zuvor bei Funkmessungen zufällig zustande gekommen.

Himmelsdurchmusterungen als Fundgrube

Auch das andere Ende der Energieskala hat seine großen Entdeckungen gehabt, wieder in der Regel ungeplant: Kosmische Röntgenquellen förderte ein Raketenflug 1962 zutage, bei dem es eigentlich um den Mond gegangen war – und Gamma-Ray Bursts, die gewaltigsten Explosionen im All, entdeckten Ende der 1960er Jahre Militärsatelliten, die geheime Nukleartests aufspüren sollten. Generell ein großer Generator von Entdeckungen waren – und sind – großflächige Himmelsdurchmusterungen in den verschiedensten Wellenlängen, also das

Abb. 5: Die Anzahl ▶ **bahnbrechender astronomischer Forschungsarbeiten** pro Jahrzehnt im 20. Jahrhundert: Es gab mehrere Spitzen, aber die letzten Jahrzehnte waren vergleichsweise arm.



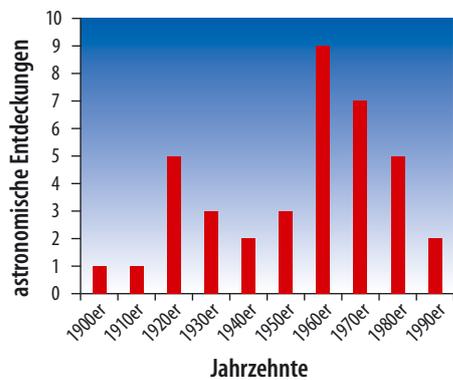
JOHN HEARNshaw

systematische Absuchen großer Areale am Himmel. Dafür gibt es sogar einen mathematischen Grund: Das erfasste kosmische Volumen wächst pro Zeiteinheit schneller, wenn man größere Flächen absucht, als wenn man in die Tiefe geht, also länger belichtet. Die Erfolgsgeschichte der jüngsten Zeit war und ist dabei der Sloan Digital Sky Survey von einem Drittel des Himmels in fünf Farben, der eine wahre Entdeckungsfut produziert hat. Nachdem die meisten Wellenlängenbereiche bereits ihre Durchmusterungen hatten (die gelegentlich mit höherer Empfindlichkeit oder besserer Winkelauflösung wiederholt werden, wie zuletzt im Infraroten mit dem Satelliten WISE), richtet sich das Interesse zunehmend auf andere »Dimensionen«, die noch wenig ausgereizt sind: Insbesondere sind das Veränderungen am Himmel bei den verschiedensten Zeitskalen. Hypothetische Himmelsobjekte zum Beispiel, die nur kurz aufblitzen und dann spurlos verschwinden, konnten sich bislang gut der Entdeckung entziehen. Viel Neues versprechen auch kosmische Informationsträger jenseits elektromagnetischer Photonen (die übrigens neben Energie und Polarisation auch über einen orbitalen Drehimpuls verfügen, der noch gar nicht astronomisch genutzt wird). Doch Neutrinos von jenseits des Sonnensystems und Gravitationswellen sind bislang noch nicht direkt nachgewiesen, und wie viel man über diesen Kanal lernen können wird, bleibt unklar.

»Data Mining«

Große Erwartungen ruhen abseits der Anwendung immer neuer Detektoren – wobei die Astronomie häufig von militärischen Entwicklungen profitieren durfte, etwa bei Infrarotkameras – zunehmend auf der Zusammenführung von astronomischen Datenbanken aller Art im »Virtuellen Observatorium«: In 20 Jahren wird der Himmel derart gut abgedeckt sein, dass Astronomen eher in den Archiven als mit neuen Messungen am echten Himmel forschen dürften. »Data Mining« ist dann das zentrale Werkzeug, Himmelsobjekte mit ungewöhnlichen

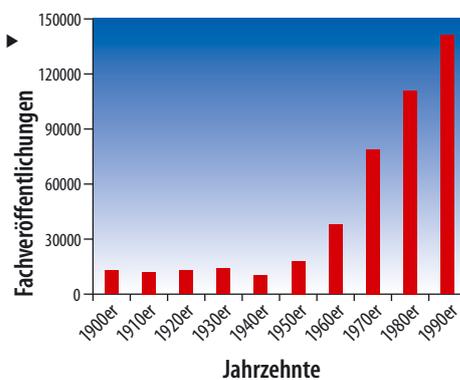
Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



JOHN HEARNshaw

◀ **Abb. 6: Auch die etwas weniger bedeutenden** aber immer noch wichtigen astronomischen Entdeckungen waren im 20. Jahrhundert nicht gleichmäßig verteilt und vor allem in dessen zweiter Hälfte zu finden – aber auch hier ging es in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich bergab.

Abb. 7: Die Gesamtzahl der astronomischen Fachveröffentlichungen ist hingegen das gesamte 20. Jahrhundert hindurch immer weiter angestiegen.



JOHN HEARNshaw

Farbverhältnissen, neue Klassen und seltene Exoten werden gefunden, jedenfalls wenn die Software zum Durchforsten der vieldimensionalen Datenwürfel kreativ genug ist und gewissermaßen Serendipität auf Bestellung leistet. Dieser Aspekt sollte nach Meinung mancher Astronomen schon jetzt am Beginn neuer Beobachtungsprojekte stehen: Wozu große wissenschaftliche Rechtfertigungen (»science cases«) auf Glanzpapier veröffentlichen, wenn die wahren Entdeckungen eh' meist ganz andere sind? Reines »Schmetterlingssammeln« am Himmel, oft verpönt, kann am Ende den größten Erfolg bringen. Bewährt hat sich auch das freie zur Verfügung-Stellen astronomischer Daten für »Bürgerforscher«, die sich zu Hunderttausenden – oft nur mit dem eigenen Auge am Computerschirm – darüber hermachen. Selbst 50 vielversprechende Exoplaneten-Kandidaten, die die Kepler-Forscher selbst übersahen, sind auf diese Weise von den »Planethunters« schon in der Originalphotometrie des Satelliten aufgespürt worden. Immer mehr wird in Zukunft von dieser Citizen Science Gebrauch gemacht werden, aber auch die akademische Astronomie wird sich verändern müssen. Nicht nur die Arbeitsweise – mehr Daten- und weniger realer Himmel – sondern auch die Kriterien für die Anerkennung der eigenen Beiträge müssen sich verändern, der Input ins Virtuelle Observatorium wird ebenso viel im Lebenslauf zählen wie die individuelle Beobachtungsarbeit.

Das »Ende der Astronomie«...

Der stetige Fortschritt der Astronomie seit dem großen Aufbruch mit Galilei, Tycho, Kepler und Co. vor 400 Jahren mag zu dem Schluss verleiten, es würde immer so weiter gehen, und jedem großen Wort vom nahen Ende einer Naturwissenschaft folgten meist fundamental neue Erkenntnisse auf dem Fuße (etwa in der Physik vor 100 Jahren). Doch da der Raum des Beobachtbaren in allen Dimensionen – von den verschiedenen Wellenlängen über die Zeit bis zu den Teilchen – tatsächlich be-

grenzt ist, muss es ein Ende geben: 2003 rechnete der Astronom Martin Harwit aus, dass 30% bis 40% aller überhaupt möglichen Entdeckungen astrophysikalischer Phänomene schon stattgefunden haben dürften! Die Phänomene sind allerdings nur die eine Seite der Medaille: Wirklich fundamentale Entdeckungen kann es nur geben, wenn die – oft zunächst völlig verwirrenden – Beobachtungen im Rahmen einer größeren Theorie einen tieferen Sinn bekommen, die Erkenntnis voranbringen. Dazu bedarf es der richtigen theoretischen Werkzeuge zur richtigen Zeit: Newton konnte aus Keplers Planeten- und Galileis Fallgesetzen das viel grundlegendere Gravitationsgesetz nur ableiten, weil er zuvor die nötige Mathematik gefunden hatte, Hooke erahnte es schon vorher, konnte es aber nicht in die generelle Formel fassen. Verblüffende Entdeckungen neuer kosmischer Phänomene und ihr Verständnis als Teil des kosmischen Ganzen sind mithin beide die Meilensteine der Astronomiegeschichte – und wieder gibt es eine Analyse, die ein baldiges »Ende der Astronomie« verkündet, trotz der Flut von Einzelsensationen (und bunten Bildern) gerade der vergangenen Jahrzehnte!

...oder doch nicht?

Der neuseeländische Astronom John Hearnshaw hatte anlässlich des Internationalen Jahres der Astronomie 2009 die seiner Meinung nach »25 größten Entdeckungen in Astronomie und Astrophysik des 20. Jahrhunderts« aufgelistet, von Einzelfunden (Quasare, Pulsare, Exoplaneten) bis hin zum Verständnis der Energieerzeugung von Sternen: Vor allem die Jahre 1911 bis 1920 und 1962 bis 1972 waren demnach die ertragreichsten, eine Ära vor der großen Zeit der CCD-Chips, Satellitenobservatorien und Supercomputer. Seit 1981 sind die großen Entdeckungen dagegen selten geworden, mit nur 4 der 42 wichtigsten Veröffentlichungen des Jahrhunderts, obwohl seither gut die Hälfte aller astronomischen Arbeiten des 20. Jahrhunderts erschienen ist (deren Pu-

blikationsrate sich im Lauf der 100 Jahre glatt verzehnfacht hat). Dauert es einfach ein paar Jahrzehnte, bis die »Größe« einer Entdeckung offenbar wird? Oder sind Hearnshaws Auswahlkriterien fragwürdig? Er kann sich das Ergebnis selbst nicht erklären und vermutet, dass all die tollen neuen Geräte, die in den letzten Jahrzehnten gebaut wurden, im Wesentlichen nur noch Details zu schon bekannten Objekttypen hinzu gefügt haben: Vielleicht gehen der Astronomie wirklich die bahnbrechenden neuen Phänomene aus? Andere Autoren sind da gelassen: Allein die Erkenntnis (der Jahre seit 1998 übrigens), dass die bekannte Materie nur 4% der Ingredienzien des Kosmos ausmacht, mache doch eindringlich klar, dass es gerade auf fundamentaler Ebene noch sehr viel zu entdecken gibt. Allerdings fehlt derzeit ein neues theoretisches Konstrukt für den großen Durchbruch in der Kosmologie, wie es einst Newton gelang: Die Theoretiker haben noch mindestens so viele Entdeckungen vor sich wie die Beobachter.

- [1] Bell Burnell, J.: Reflections on the Discovery of Pulsars, Proceedings der 27th IAU GA »Accelerating the Rate of Astronomical Discovery«, pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=99 (2009)
- [2] Fabian, A.: Serendipity in Astronomy, arxiv.org/abs/0908.2784 (2009)
- [3] Harwit, M.: The Growth of Astrophysical Understanding, *Physics Today* 56 No. 11, 38 (2003)
- [4] Hearnshaw, J.: A new crisis for astronomical research, *Cosmic Diary*, cosmicdiary.org/blogs/john_hearnshaw/?p=570 (2009)
- [5] Kellermann, K. et al.: The exploration of the unknown, *Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey*, Science White Papers 154, arxiv.org/abs/0912.4441 (2009)
- [6] Lang, K.: Serendipitous Astronomy, *Science* 327, 39 (2010)
- [7] Lawrence, A.: Wide Field Surveys and Astronomical Discovery Space, *Astronomy & Geophysics* 48 3.27 (2007)
- [8] Norris, R., Next-generation astronomy, Proceedings der 27th IAU GA »Accelerating the Rate of Astronomical Discovery«, arxiv.org/abs/1009.6027 (2010)

Die Entzifferung des Sternlichts

150 Jahre Spektralanalyse und ihre Folgen für die Astronomie

VON NICO SCHMIDT

Abb. 1: Die Sterne üben eine große Faszination auf die Menschen aus, doch erst seit 150 Jahren wissen wir über ihre wahre Natur.



»Ich habe es einem entfernten Bekannten von mir nicht verdacht, dass er mir bei einem Spaziergange neulich erzählte, ein verrückter Kerl wolle auf der Sonne Natrium entdeckt haben.« Dieser Satz, geschrieben im Mai 1860, beschreibt die erste große Entdeckung des Physikers Gustav Kirchhoff (von dem der Satz stammt) und des Chemikers Robert Bunsen. Mit ihren Arbeiten begründeten die beiden Heidelberger Professoren vor genau 150 Jahren die Spektralanalyse und legten den Grundstein für die Erforschung der Gestirne sowie des ganzen Universums. Mit dieser bahnbrechenden Methode – einem Instrument, nur aus einem kleinen Glaskörper bestehend – wandelte sich die Astronomie zur Astrophysik und auf einmal war die faszinierende Welt der Sterne zum Greifen nah.

Herschels Sternspektren

»Das Prisma, allgemein bekannt als ein Instrument, welches in den Morgenländern so hoch geachtet wird, dass sich der chinesische Kaiser den ausschließenden Besitz desselben gleichsam als ein Majestätsrecht vorbehält« – so beschreibt der Dichter Johann Wolfgang von Goethe das kostbare Stück Glas. Dass es einmal das wichtigste Werkzeug der Spektralanalyse werden würde, sollte er nicht mehr erleben. Es war der Universalgelehrte Leonardo da Vinci, der wohl als Erster systematische Experimente zur Zerlegung des Sonnenlichts in seine Spektralfarben mittels eines Prismas durchführte und sie in Skizzen festhielt. Von der reinen Beschreibung des Farbenspiels zur ersten qualitativen Aussage gelangte der Wissenschaftler und Gelehrte Georgius Agricola, der Vater der Mineralogie. Wie er 1556 schrieb, schloss er aus beim Schmelzprozess entstehendem »farbigem Qualm« auf die Qualität des Erzes. Hier scheint die Spektroskopie als Analyseverfahren ihren Anfang genommen zu haben – sogar ohne Prisma. Über ein Jahrhundert danach beschrieb Newton anhand der Teilchentheorie des Lichts, wie sich das weiße Sonnenlicht durch ein Prisma in sieben Spektralfarben aufspaltet; es wird sogar behauptet, er habe bei seinen Experimenten auch Prismen am Fernrohr benutzt. Ebenso soll auch der als Abbé Rochon bekannte französische Physiker und Astronom Mitte der 1770er Jahre Prismen aus Bergkristall am Fernrohrobjektiv befestigt haben, um damit Sterne zu beobachten.

Nahezu unbekannt ist, dass der berühmte, aus Hannover stammende, Wilhelm Herschel, der als Himmelforscher nach Nebelflecken in den Tiefen des Raumes suchte, sich daneben auch den Sternen zuwandte. Als er seine Riesenfernrohre auf die hellsten Gestirne schwenkte und hinter das Okular ein einfaches Glasprisma hielt, konnte er in seine Spektralfarben zerlegtes Fixsternlicht sehen. So beobachtete er 1798 die Sternspektren von Sirius, Beteigeuze (»rot ist intensiver«), Prokyon, Arktur (»mehr rot und orange«), Aldebaran (»sehr wenig gelb«) und Wega [1]. In seinen Beschreibungen von relativen Farbeindrücken lässt sich außerdem ein vager Schritt zur heutigen Einteilung nach Spektralklassen erkennen. Herschel gilt tatsächlich als erster Beobachter von Sternspektren.

Fraunhofers Linien

Kurz nachdem der 19-jährige Münchner Joseph von Fraunhofer seinen Gesellenbrief als »Glasmacher und Zieretenglasschleifer« erhalten hatte, machte er seine vermutlich bekannteste Entdeckung (Abb. 3). Zwar war es der in London arbeitende Arzt, Physiker und Chemiker William Hyde Wollaston, der die Spektrallinien als erster beobachtete; er hielt die sieben dunklen Linien jedoch nur für Lücken, die die Farbbereiche des Spektrums trennen sollten. In seiner 1802 erschienenen Arbeit schrieb er: »Es ist jedoch nutzlos, Erscheinungen genau zu beschreiben, welche [...] ich nicht erklären kann.« Dem begabten Glasschleifer Fraunhofer im säkularisierten Kloster Benediktbeuern mögen die Linien ebenfalls rätselhaft geblieben sein, allerdings untersuchte er systematisch und sehr präzise das Farbenspiel des Sonnenlichts. Dafür verwendete er ein Prisma an einem Theodoliten, womit er in den Spektralfarben insgesamt »ungefähr 574 Linien gezählt« hat. Die so von ihm 1814 unabhängig entdeckten Spektrallinien nutzte er außerdem als Messwerkzeug, um die Glasherstellung zu

Meilensteine der Sternspektroskopie					
Jahr	Stern	Helligkeit	Rektaszension	Deklination	Bemerkung
1798	Sirius	−1 ^m 5	6 ^h 45 ^{min} 8,9 ^s	−16° 42' 58,0"	Erste Geschwindigkeitsmessung eines Sterns
1888	Algol	2 ^m 1–3 ^m 4	3 ^h 8 ^{min} 10,1 ^s	+40° 57' 20,3"	Erster spektroskopischer Doppelstern
1946	78 Vir	5 ^m 0	13 ^h 34 ^{min} 7,9 ^s	+3° 39' 32,3"	Erste Messung eines stellaren Magnetfelds
1952	R Gem	7 ^m 0–13 ^m 5	7 ^h 7 ^{min} 21,3 ^s	+22° 42' 12,7"	Merrills Stern mit dem stärksten Technetium-Merkmal
1971	HDE 226868	8 ^m 9	19 ^h 58 ^{min} 21,7 ^s	+35° 12' 5,8"	Doppelstern mit Schwarzem Loch als Begleiter
1976	HZ Her	13 ^m 0–14 ^m 0	16 ^h 57 ^{min} 49,8 ^s	+35° 20' 32,4"	Doppelstern mit Pulsar als Begleiter
1987	ZZ Psc	12 ^m 8	23 ^h 28 ^{min} 47,6 ^s	+5° 14' 54,0"	Erster entdeckter Weißer Zwerg mit Staubscheibe
1999	XX Tri	8 ^m 4	2 ^h 3 ^{min} 47,1 ^s	+35° 35' 28,7"	Stern mit größtem Sternfleck
2003	γ Cep	3 ^m 2	23 ^h 39 ^{min} 20,8 ^s	+77° 37' 56,2"	Erster Kandidat mit einem Exoplanet durch den Doppler-Effekt
2006	Pollux	1 ^m 1	7 ^h 45 ^{min} 19,0 ^s	+28° 1' 34,3"	Hellster Stern mit einem Exoplanet
2007	α And	2 ^m 0	0 ^h 8 ^{min} 23,3 ^s	+29° 5' 25,6"	Stellares Wetter aus Quecksilberwolken
2008	HD 189733	7 ^m 7	20 ^h 0 ^{min} 43,7 ^s	+22° 42' 39,1"	Heimats Stern eines dunkelblauen Exo-Neptuns
2010	HD 209458	7 ^m 7	22 ^h 3 ^{min} 10,8 ^s	+18° 53' 3,7"	Heimats Stern eines Exoplaneten mit Superstürmen
2010	GD 40	15 ^m 5	3 ^h 2 ^{min} 53,1 ^s	−1° 8' 33,5"	Weißer Zwerg evtl. durch Zwergplanet »verschmutzt«
2010	GD 362	15 ^m 7	17 ^h 31 ^{min} 34,3 ^s	+37° 5' 20,9"	Weißer Zwerg evtl. durch wasserreichen Planet »verschmutzt«
2011	v Oph	3 ^m 3	17 ^h 59 ^{min} 1,6 ^s	−9° 46' 25,1"	Stern mit zwei Braunen Zwergen
2011	Corot-7	11 ^m 7	6 ^h 43 ^{min} 49,5 ^s	−1° 3' 46,9"	Heimats Stern eines extrasolaren Gesteinsplaneten



Abb. 2: Mit einem Prisma lässt sich das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegen, auf ähnliche Weise entstehen auch Regenbögen.

perfektionieren, was dem kleinen Klosterdorf im beschaulichen Alpenvorland in der Linsen- und Fernrohrherstellung zu Welt ruhm verhalf.

Direkt neben der Holzhütte mit den Schmelzöfen befand sich in dem ehemaligen Waschhaus des Klosters die »optische Glasschleiferey«; hier war auch Fraunhofers Wohnung eingerichtet. Ob er hier in einem verdunkelten Zimmer seine ersten Untersuchungen des Sonnenlichts durchführte und »mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien« entdeckte? Besonders markante Spektrallinien kennzeichnete er mit großen und kleinen Buchstaben, so schrieb er z.B.: »D besteht aus zwey starken Linien«. Bei weiteren Versuchen erkannte er sogar Ähnlichkeiten zu dieser dunklen Doppellinie im Sonnenspektrum und zwei hellen rötlich-gelben Linien im Lampenlicht. Seine erste große Abhandlung schließt er mit den zuversichtlichen Worten: »Da der hier mit physisch-optischen Versuchen eingeschlagene Weg zu interessanten Resultaten führen zu können scheint, so wäre sehr zu wünschen, dass ihm geübte Naturforscher Aufmerksamkeit schenken möchten« [2].

Aber Fraunhofer untersuchte das Sonnenlicht nicht nur mit Glasprismen, später erfand er sogar erste Beugungsgitter, etwa aus 260 parallelen Fäden, oder stellte sogar Glasgitter mit 3600 eingeritzten Linien her. Sie finden heute u.a. noch in der modernen Spektrografie Anwendung. Außerdem studierte er nicht nur die im Sonnenspek-

trum sichtbaren Linien, sein 30mm-Prisma-Theodolitfernrohr (Abb. 5) zeigte ihm sogar Spektrallinien im hellen Venuslicht, selbst im Licht des Sirius konnte er noch »drey breite Streifen« sehen. Um das viel schwächere Fixsternlicht besser analysieren zu können, so berichtet Fraunhofer in Briefen, baute er schließlich ein »blos zu diesem Zwecke bestimmtes grosses Instrument« von 4" Öffnung mit einem ebenso großen Flintglasprisma, zur genauen Winkelmessung diente ein Schraubenmikrometer. Dieser 1,6m lange Refraktor inkl. Objektivprisma ermöglichte es ihm im Frühjahr 1819, u.a. die vom Sonnenspektrum bekannte Linie D auch bei Pollux und Kapella zu sehen, bei Prokyon ließ sie sich nur vermuten.

Kirchhoff und Bunsen in Heidelberg

Heidelberg um 1860 – eine Kleinstadt am Neckar mit 16000 Einwohnern. Hier forschen und lehren zwei Freunde, die zu dieser Zeit die bisherige Astronomie revolutionieren sollten. Seitdem sie sich vor fast 10 Jahren kennenlernten, verband den Chemiker Robert Bunsen und den Physiker Gustav Kirchhoff eine enge Freundschaft. Zusammen mit Hermann von Helmholtz, einem der letzten Universalgenies, galten sie damals als »Glanzpunkte der Naturwissenschaften« in der Stadt am Neckar.

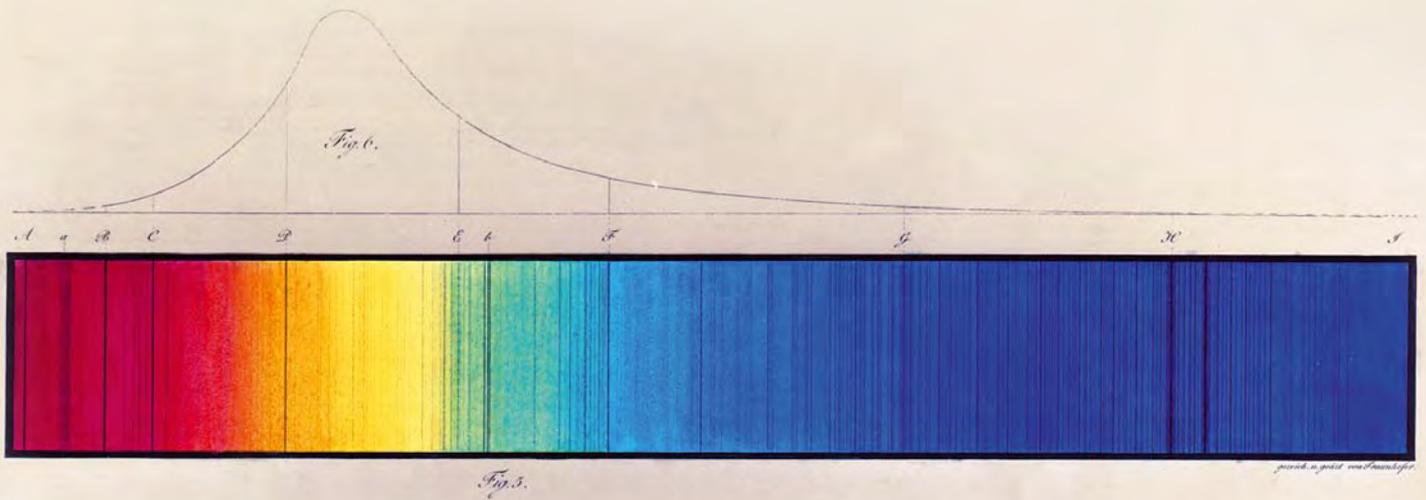
Für Robert Bunsen wurde an der heutigen Akademiestraße das seinerzeit größte und modernste Laboratorium Deutschlands inklusive Wohnhaus am Südende errichtet.

Hier lernte er nicht nur, sondern forschte mit dem nach ihm benannten Bunsenbrenner. Und in dem nur 100m vom Bunsenschen Institut entfernten Gebäude mit der heutigen Adresse Hauptstraße 52 arbeitete der Physiker Gustav Kirchhoff; es wird »Haus zum Riesen« oder einfach kurz »Riesengebäude« genannt. In das stattliche Palais wurde 1850 das physikalische Institut der Universität verlegt. Dabei war es mehr als Kirchhoffs Wohn- und Arbeitsstätte, denn wie man auf einer Gedenktafel an der Fassade rechts neben dem Eingang lesen kann, ist es der Entstehungsort der Spektralanalyse: »In diesem Hause hat KIRCHHOFF 1859 seine mit Bunsen begründete SPEKTRALANALYSE auf Sonne und Gestirne gewandt und damit die Chemie des Weltalls erschlossen«.

In diesem alten Haus in der Heidelberger Hauptstraße wurde nicht nur das Rätsel um Fraunhofers dunkle Linien gelöst, auch die Beziehung zwischen Absorptions- und Emissionslinien wurde von den genialen Forschern wissenschaftlich erklärt. Hier wurden die Grundlagen für unser heutiges Wissen über die Natur der Sterne erarbeitet und für das Prisma begann der Siegeszug als astronomisches Werkzeug.

Das Prisma in der Zigarrensachtel

Es heißt, dass Gustav Kirchhoff schon 1857 ein von Fraunhofer geschliffenes Prisma aus Flintglas erhielt. Zugleich sollen Bunsen und er sich an die Arbeit gemacht haben, das Geheimnis des nach seinem Entdecker



FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

als Fraunhoferlinien bekannten Phänomens zu lüften. Bald wurde das Prisma auch in Bunsens Labor eingesetzt. Bei seinen Experimenten, mit seinem Brenner erhitzte Substanzen anhand der Färbung der transparenten Gasflamme chemisch analysieren zu können, machte Kirchhoff den Vorschlag, das durch ein Prisma erzeugte Flammenspektrum mit einem Fernrohr zu beobachten. Das war die zündende Idee! Mit dieser wunderbaren Lösung wollten sie die Bestandteile der verbrannten Stoffe herausfinden. Ihr erstes Spektroskop, mit dem sie die farbigen Flammen beobachteten, soll aus »einem Prisma, einem Zigarrenkistchen und zwei Bruchstücken von sonst nicht mehr brauchbaren Fernrohren bestanden« haben (Abb. 6) [3].

Im Oktober 1859 wurden die ersten Ergebnisse aus Kirchhoffs Zusammenarbeit mit Bunsen der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin vorgelegt [4]. In dieser Arbeit beschrieb der Physiker den experimentellen Beweis für die Übereinstimmung von Fraunhofers dunkler Doppelinie D und zwei hellen Linien im Spektrum von Natrium: Das Linienpaar im Sonnenlicht und in einer mit dem Gasbrenner erzeugten Kochsalz-Flamme war exakt deckungsgleich. Demnach mussten sie einen gemeinsamen Ursprung haben und zur Lösung kam nur

eine Tatsache in Frage: Auf der Sonne muss es Natrium geben.

Die Wiege der Astrophysik

Obwohl viele andere Forscher dicht vor derselben Entdeckung standen, sollte erst Kirchhoffs und Bunsens theoretischer Unterbau eine abgeschlossene Erklärung des Sonnenspektrums liefern. Kirchhoff erkannte die Linien als Absorptions- und Emissionslinien, in dem nach ihm benannten Strahlungsgesetz formulierte er ihren physikalischen Zusammenhang. Er gelangte zu dem Schluss, dass die Spektrallinien allein dadurch entstehen, dass in der Sonne nur Licht bestimmter Wellenlängen absorbiert wird, je nachdem welche Elemente in der äußeren Gashülle – Photosphäre genannt – vorhanden sind. Die Fraunhoferlinien bilden ein ganz charakteristisches Merkmal, das jeweils nur durch ein bestimmtes Element entstehen kann. Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen hatten damit die »Hieroglyphenschrift der Sterne« enträtselt und konnten durch vergleichende Beobachtungen von Flammenspektren noch weitere Elemente wie Kalzium, Magnesium, Nickel, Kupfer, Zink und Eisen im Sonnenlicht nachweisen.

Abb. 3: Diese Zeichnung des Glasmachers Fraunhofer zeigt seine berühmteste Entdeckung: die nach ihm benannten Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum.

Mit der Begründung der Spektralanalyse öffneten die beiden Heidelberger Professoren schlagartig die Tür zu einem völlig neuen Zweig der Himmelskunde: der Astrophysik, gewissermaßen der Astronomie des Unsichtbaren. Denn nur die Zerlegung des Lichts sowie die Deutung der Spektrallinien zeigt, dass die Sterne mehr als nur bloße Lichtpunkte sind.

Was das Licht verrät

Als Mitbegründer der neuen Disziplin gilt der in Leipzig arbeitende Astronom Karl Friedrich Zöllner, er prägte auch den Ausdruck »Astrophysik« und beschrieb sie »als eine Vereinigung der Chemie und der Physik mit der Astronomie«. Noch während seiner Berliner Studienzeit hatte ihm der Physiker Dove in »einem Anfluge von preußischem Corporals-Ton« [5] zu verstehen gegeben: »Was die Sterne sind, wissen wir nicht und werden es nie wissen!« Allerdings erschienen noch im selben Jahr die ersten Arbeiten von Kirchhoff und Bunsen, und Zöllner tüftelte

Abb. 4: Mit einem Prisma in der Hand demonstriert Fraunhofer sein gebautes Prisma-Theodolitfernrohr, mit dem er hunderte dunkler Linien im Sonnenspektrum sah.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



Abb. 5: Mit diesem Instrument entdeckte Fraunhofer über 700 Spektrallinien im Sonnenlicht, außerdem richtete er es auch auf Mond, Planeten und die hellsten Sterne.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT



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

bereits an neuen Instrumenten zur Erforschung des Sternlichts; Testbeobachtungen führte er z.B. in seiner Privatsternwarte auf dem Dach der väterlichen Fabrik im damaligen 100-Seelen-Dorf Schönweide, zwischen Berlin und der Kleinstadt Köpenick gelegen, durch.

Er hatte sogar die Idee, dass sich die Bewegung der Sterne durch den Doppler-Effekt, also die Verschiebung von Spektrallinien, verraten könnte. Und tatsächlich fand man im März 1871 durch spektroskopische Messungen an der bei Kiel gelegenen Bothkamper Sternwarte die gesuchte Linienverschiebung in zwei Sternspektren. Das war der Beweis, dass die Sterne nicht ruhen, sondern sich von uns entfernen wie Sirius oder sich wie Prokyon uns nähern.

Danach war der Durchbruch der entstandenen Astrophysik nicht mehr aufzuhalten. Ohne Frage hat die Spektralanalyse die Astronomie revolutioniert, denn sie liefert Kenntnisse über Objekte – Sterne wie Galaxien –, die zu weit entfernt sind, um sie aus der Nähe zu untersuchen. Bis heute wurden und werden die Beobachtungstechnik und die Spektrografen weiter verbessert. So entwickelten sich vielfältige Anwendungsgebiete, weshalb hier nur ein paar wenige exemplarisch vorgestellt werden können.

Unsichtbare Sternbegleiter: spektroskopische Doppelsterne

Zöllners Suche nach dem Doppler-Effekt bei Sternen war vor 140 Jahren nur der erste Versuch, um ihre Bewegung im Raum – genauer: die Radialgeschwindigkeit – zu messen. Diese Methode ermöglichte schließlich auch die Entdeckung von spektroskopischen Doppelsternen: Zwei einander umkreisende Sonnen verraten sich durch periodische Verschiebung der Spektrallinien. Den ersten fand Hermann Carl Vogel, ein Freund Zöllners, der im Winter 1888/89 durch spektroskopische Analysen erkannte, dass um den Veränderlichen Algol ein zweiter Stern laufen muss [6]. Bereits die Freunde Edward Pigott und John Goodricke hielten einen zweiten Körper bei Algol für möglich, dabei dachten sie allerdings an einen Planeten.

Der durch die Umlaufbewegung hervorgerufene Doppler-Effekt im Sternlicht lässt also Rückschlüsse auf unsichtbare Begleiter zu. So wurde z.B. mit dieser Methode 1971 die erste Massenbestimmung eines Schwarzen Loches, das um den Stern HDE 226868 (Abb. 7) kreist, durchgeführt. Und kürzlich gelang bei ν Oph die Entdeckung zweier Brauner Zwerge mit jeweils über 20 Jupitermassen [7]. Aber den weitreichendsten Fortschritt brachte dieses Verfahren bei der Suche nach Planeten um andere Sterne. Denn

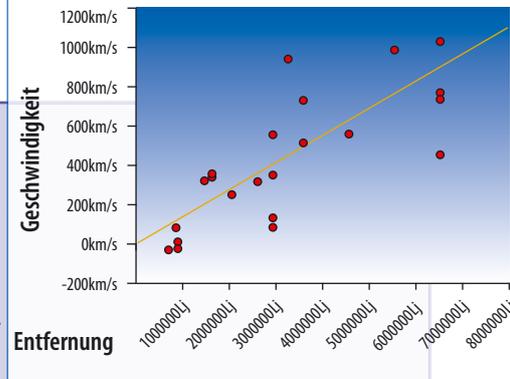
Das Hubble-Gesetz

Die Spektralanalyse wurde nicht nur auf Sterne, sondern auch auf »neblige Flecke« am Himmel angewendet. William Huggins verwendete in der zweiten Hälfte des 19. Jh. als einer der ersten die Spektralanalyse, um diese Nebel zu untersuchen. So entdeckte er 1864 die verbotene Sauerstofflinie bei 500nm in den Spektren von Objekten, die man heute als Planetarische Nebel kennt. Andere besaßen Spektren, die denen der Sterne ähnlich waren.

Anfang des 20. Jh. bewies Edwin Hubble durch die Messung der Entfernung zur Andromedagalaxie, dass sie nicht zur Galaxis gehörte, sondern so weit entfernt war, dass sie eine eigenständige Galaxie sein musste. Damit war die Debatte, ob alle »Nebel« zur Galaxis gehören oder nicht, beendet. Entfernungsmessungen zu anderen Galaxien folgten. Hubble untersuchte die Spektren dieser Galaxien und stellte fest, dass die Spektrallinien der meisten Galaxien gegenüber der Laborposition zu größeren Wellenlängen hin verschoben sind. Man spricht deshalb von Rotverschiebung. Als Hubble die Verschiebung der Spektrallinien bzw. die daraus abgeleitete Geschwindigkeit der Galaxien gegen ihre Entfernung auftrug, stellte er fest, dass sich die Galaxien mit einer umso größeren Geschwindigkeit von der Erde entfernen, je weiter sie weg sind. Das heute nach ihm benannte Hubble-Diagramm bzw. Hubble-Gesetz veröffentlichte er 1929 [1]. Dass seine Konstante mit 500km/s/Mpc um das 7-fache vom heutigen Wert von gut 70km/s/Mpc abweicht, schmälert nicht seine Leistung. Es muss allerdings gesagt werden, dass bereits zwei Jahre vorher, nämlich 1927, Georges Lemaître diesen Zusammenhang ebenfalls fand und richtig als Expansion des Universums deutete. Heute werden mit Hilfe des Hubble-Gesetzes Entfernungen zu Galaxien standardmäßig bestimmt.

■ Susanne Friedrich

[1] Hubble, E.: A Relation between Distance and radial velocity among extra-galactic nebular, Proceedings of the National Academy of Sciences 15, 168 (1929)



Das Hubble-Diagramm für nahe Galaxien, nach den Originaldaten von Hubble aus [1].

seit Ende 1980, also seit gut 30 Jahren, sucht man mit der Radialgeschwindigkeitsmethode nach extrasolaren Planeten. 1988 vermutete man, bei dem Stern γ Cep den ersten Kandidaten gefunden zu haben, allerdings konnte dies erst 15 Jahre später tatsächlich bestätigt werden.

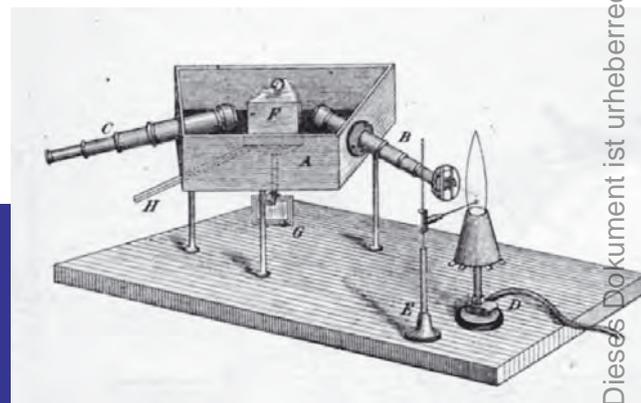
Heute sind durch diese und andere Suchmethoden mehr als 500 extrasolare Planeten bekannt, doch mit Abstand wurden die meisten mit der Doppler-Verschiebung der Spektrallinien entdeckt. Die bisher hellste Sonne mit einem extrasolaren Gasplaneten ist Polux in den Zwillingen.

Magnetfelder und Sternflecken

Bei den gründlichen Beobachtungen auf der Bothkamper Sternwarte fiel den Astronomen ein weiteres Phänomen im

spektralen Licht auf. Hermann Carl Vogel schrieb: »Die helle Wasserstofflinie H β erschien stark gekrümmt und gleichsam um die dunkle F-Linie im Sonnenspektrum geschlungen [...]«. Doch es dauerte noch 25 Jahre, bis im Sommer 1896 der niederländische Physiker Pieter Zeeman bei seinen Experimenten mit Magneten und dem »vortrefflichen Hilfsmittel der Spektroskopie« die Zerfaserung der Spektrallinien erklären konnte: Diese Aufspaltung – heute als Zeeman-Effekt bekannt – liefert Aufschlüsse über die Magnetfelder der Sonne und Sterne.

Abb. 6: Ist das Holzkistchen eine Zigarrenschaftel? Mit diesem Instrument begann die Begründung der Spektralanalyse.



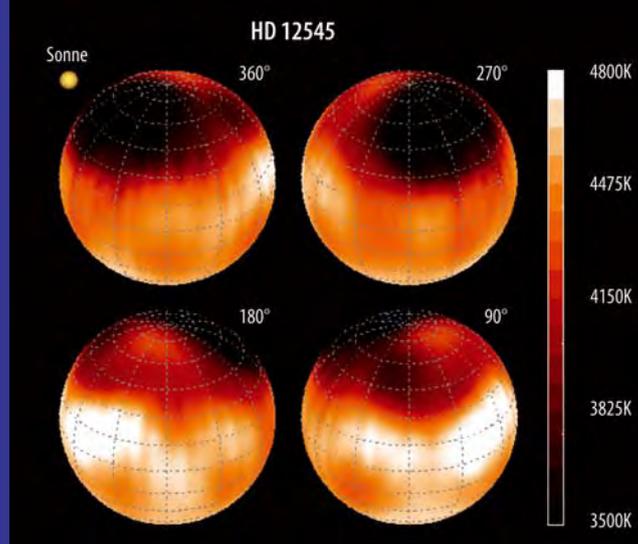
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK HEIDELBERG

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



NASA, ESA, MARTIN KORNMESSER

Abb. 7: Das Spektrum von HDE 226868 verrät, dass um den massereichen und leuchtkräftigen Überriesen ein Schwarzes Loch mit weniger als zehn Sonnenmassen kreist.



KLAUS STRASSMEIER

Abb. 8: Die Modelle der Doppler-Kartierung des Sterns XX Tri zeigen den bisher größten entdeckten Sternfleck im Vergleich zur Sonne.

Aufgrund der Winzigkeit des Phänomens dauerte es nach Zeemans Entdeckung allerdings noch genau 50 Jahre, bis mit geeigneten Instrumenten der sichere Nachweis von Magnetfeldern ferner Sterne gelang. Der Astronom Horace W. Babcock richtete 1946 das große 100"-Hooker-Teleskop auf den 5^m hellen Stern 78 Vir und konnte nach der Analyse auf ein Magnetfeld mit einer Stärke von mindestens 0,15 Tesla (das solare Magnetfeld besitzt nur ein 0,1 Millitesla) schließen. Und die aufgenommenen Spektren von CS Vir verrieten ihm durch periodische Variationen sogar ein bipolares Magnetfeld von bis zu 0,8T. Doch es geht noch extremer, denn als im Mai 1976 ein ballongetragenes Röntgeninstrument den Stern HZ Her spektroskopisch untersuchte, konnte anhand einer bestimmten Spektrallinie erstmals die Magnetfeldstärke eines Neutronensterns gemessen werden [8]. Für den um HZ Her kreisenden Pulsar bestimmten die Forscher eine Stärke von 500 Millionen Tesla!

Ein besonderes Verfahren, das sog. »Doppler Imaging« bzw. die Doppler-Tomografie, erlaubt es sogar, Sternflecken, die mit starken Magnetfeldern zusammenhängen, zu kartografieren. Auf diese Weise lassen sich, auch wenn sich Sterne selbst nicht auflösen lassen, ihre Oberflächen durch Änderungen von Linienprofilen im Spektrum charakterisieren. Mit dieser seit Anfang der 1980er Jahre eingesetzten Beobachtungstechnik der Doppler-Kartierung wurden gewaltig ausgedehnte Fleckengebiete nachgewiesen, die längst nicht nur die größten Flecken der Sonne übertreffen. Denn der Super-Sternfleck von XX Tri erreicht insgesamt eine Ausdehnung von 6×10 Sonnendurchmessern (Abb. 8) [9]!

Chemisch besondere Sterne

Zu den Sonderlingen des Sternzoos gehören die sog. chemisch pekulären (CP) Sterne, die durch ungewöhnliche Überhäufigkeiten bestimmter Elemente auffallen. So spricht

man beispielsweise von HgMn-Sternen, wenn ihre Spektren besonders viel Quecksilber und Mangan aufweisen. Für die Anreicherungen der obersten Sternschichten mit Schwermetallen spielen offenbar Diffusionsprozesse im Inneren der Sterne eine entscheidende Rolle. Durch die Verwendung der »Doppler Imaging«-Methode konnten im Fall von α And, des hellsten HgMn-Sterns, die chemischen Anomalien als sich über die Sternoberfläche bewegendes Quecksilberwolken identifiziert werden – ein Wetterphänomen auf einem anderen Stern [10].

Auch bei Weißen Zwergen werden heute immer mehr Exemplare mit erhöhten Metallhäufigkeiten gefunden; mit ZZ Psc wurde bereits 1987 der erste dieser Gruppe entdeckt. Zusätzlich zu der Häufigkeitsanomalie in der chemischen Zusammensetzung beobachtet man um die Sternleichen häufig auch Staubscheiben, was den Schluss zulässt, dass die Weißen Zwerge durch äußere Einwirkung regelrecht verschmutzt wurden. So weisen die Spektren des Sterns ZZ Psc darauf hin, dass die Scheibe aus Trümmern eines zerstörten Planetenkerns bestehen könnte. Untersuchungen der Weißen Zwerge GD 40 und GD 362 erlaubten es, sogar die Gesamtmasse des aufgesammelten Gesteinsmaterials zu berechnen, wobei bei ersterem ein großer Asteroid bzw. Zwergplanet [11] in Frage kommt. Und letzterer enthält außerdem in seiner von Helium dominierten Atmosphäre einen ungewöhnlich hohen Wasserstoffanteil, was auf einen wasserreichen Ursprungskörper von der Größe eines kleinen Planeten hindeuten könnte [12]. Da werden Astronomen zu Archäologen der Sterne.

Elementsynthese

Mit der vor über 60 Jahren veröffentlichten sog. Alpha-Beta-Gamma-Theorie [13], benannt nach den Physikern Ralph Alpher und George Gamow – Hans Bethe war an der Arbeit unbeteiligt –, erschien erstmals

eine Idee zur Elemententstehung in einem heißen Beginn des Universums. Daraus ging die heutige Urknalltheorie hervor, nach der im Big Bang einzig die leichtesten und häufigsten Elemente des Universums entstanden sind: Wasserstoff und Helium. Aber woher kommen die schwereren Elemente (in der Astronomie allgemein als Metalle bezeichnet)?

Es war der britische Astrophysiker Sir Arthur Eddington, der schon im Jahr 1920 richtig vermutete, dass die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium der Motor der Gestirne ist. So fand in den folgenden Jahrzehnten besonders die Kern- und Teilchenphysik Anwendung in der Astrophysik und schon bald wurde deutlich, dass die Elemente im nuklearen Feuer der Kernfusion erzeugt werden.

Diese Theorie fand ihre direkte Bestätigung, als 1951 der Astronom Paul W. Merrill eine Reihe von Riesensternen spektroskopierte. Dabei fand er u.a. im Licht der Sterne R And, R Gem und des Veränderlichen χ Cyg Spektrallinien des radioaktiven Elements Technetium [14]. Mit einer Halbwertszeit von nur ein paar Millionen Jahren ließ dies den Schluss zu, dass es nur in Kernfusionsprozessen im Zentrum der Sterne entstanden sein konnte und dann an die Oberfläche transportiert wurde. Die Gestirne des Nachthimmels sind somit die Elementküchen des Universums.

In Supernovae kommt es sogar zur explosiven Nukleosynthese, denn nur bei der Explosion eines Sterns entsteht die nötige Energie, um schwerere Elemente als Eisen zu erzeugen. Dabei spielt das instabile Nickel eine besondere Rolle, denn das sichtbare Leuchten einer Supernova entsteht durch den Zerfall von Nickel zu Kobalt.

Extrasolare Welten

Periodische Verschiebungen von Spektrallinien durch den Doppler-Effekt dienen nicht nur dem indirekten Nachweis von extraso-

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

laren Planeten, in den letzten Jahren gelang es immer genauer, Gasriesen um ferne Sonnen zu studieren. Dies ist vor allem bei Transitplaneten möglich, Planeten, die von der Erde aus betrachtet vor der Scheibe ihres Heimatsterns vorüberziehen: Während des Transits nimmt man das gemeinsame Spektrum von Stern und Planet auf und zieht von ihm das außerhalb des Transits gewonnene Sternspektrum ab, um das Planetenspektrum zu erhalten. Auf diese Weise lässt sich vor allem die Chemie von extrasolaren Planetenatmosphären untersuchen. Die Transitplaneten der Sterne HD 209458 und HD 189733 sind aufgrund der Helligkeit ihrer Heimatsonnen (beide sind 7^{te} hell) die heute am besten erforschten extrasolaren Welten.

Genau 140 Jahre nachdem die Heidelberger Naturwissenschaftler Kirchhoff und Bunsen die Spektralanalyse durch die Natriumlinie im Sonnenspektrum begründeten, fanden im Jahr 2000 Astronomen in der Atmosphäre eines Exoplaneten, dem kurz zuvor entdeckten Gasriesen HD 209458b, Natrium. Weitere Elemente wurden nachgewiesen; dank der sehr präzisen Vermessung von CO-Linien wurde kürzlich sogar die Geschwindigkeit des Kohlenmonoxids bestimmt [15]: Windgeschwindigkeiten von 5000km/h bis 10000km/h toben in der Atmosphäre des Transitplaneten. Ebenso gut lässt sich auch die chemische Zusammensetzung von HD 189733b untersuchen. Bei ihm gelang es außerdem, spektroskopisch Informationen

über die Farbe des Exoplaneten zu erhalten. Aufgrund seines geringen Rückstrahlungsvermögens würde er vermutlich dem bloßen Auge als dunkelblauer Gasriese – mit einem zum Stern gerichteten heißen Fleck – erscheinen (Abb. 9).

Neben extrasolaren Gasplaneten versucht man darüber hinaus auch Gesteinsplaneten zu analysieren. Im Falle von Corot-7b, einer sog. Supererde von doppeltem Erddurchmesser, sucht man im Spektrum nach Kalzium- und Natriumlinien, die auf eine Atmosphärenschicht aus Partikeln der verdampfenden Planetenoberfläche hindeuten könnten [16] – immerhin gilt Corot-7b mit einer Temperatur von 1500°C als regelrechter Vulkanplanet mit Magmaozeanen.

Physik am Nachthimmel

In den vergangenen 150 Jahren nach den bahnbrechenden Arbeiten Kirchhoffs und Bunsens hat sich die Erforschung der Sterne zu einem vielschichtigen Forschungszweig entwickelt; die genannten Punkte können daher nur einen kleinen Einblick über die Entwicklung der Sternphysik vermitteln. Auch wenn die Astrophysik die geheimnisvollen Lichtpunkte des Nachthimmels gewissermaßen entzauberte, bringt uns heute vielmehr das gesammelte Wissen über die Sterne zum Staunen. Dabei ist es mindestens genauso verblüffend, wie und mit welchen Beobachtungsmethoden heutzutage das schwache

Licht zerlegt und analysiert werden kann. So lassen sich mit immer neuen Spektrografen (an ständig größer werdenden Teleskopen), höher aufgelösten Spektren und besseren Simulationen sowie Modellspektren laufend neue physikalische Eigenschaften der Gestirne entschlüsseln. Denn allein das Studium des Lichts führt uns wie Star Trek dorthin »wo noch kein Mensch zuvor gewesen ist«, und der Blick nach oben nimmt uns auf eine gedankliche Reise zu den faszinierenden und zugleich unerreichbaren Sternwelten, wenn man sich die Physik der Lichtpunkte vergegenwärtigt.

- [1] Herschel, W.: *Astronomical Observations relating to the sidereal part of the Heavens*, Phil. Trans. 104, 248 (1814)
- [2] Fraunhofer, J.: *Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten*, Annalen der Physik 56, 264 (1817)
- [3] Curtius, T.: *Das Bunsen-Denkmal in Heidelberg*, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 41, 4875 (1908)
- [4] Kirchhoff, G.: *Über die Fraunhofer'schen Linien*, Monatsberichte der königl. preuß. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1859, 662 (1860)
- [5] Zöllner, K. F.: *Wissenschaftliche Abhandlungen (Band 4)*, Staackmann, Leipzig (1881)
- [6] Vogel, H. C.: *Spectrographische Beobachtungen an Algol*, Astron. Nachr. 123, 289 (1890)
- [7] Quirrenbach, A., Reffert, S., Bergmann, C.: *Planets around Giant Stars*, arXiv1101.0615 (2011)
- [8] Trümper, J. et al.: *Evidence for strong cyclotron line emission in the hard X-ray spectrum of Hercules X-1*, Astrophys. J. 219, L105 (1978)
- [9] Strassmeier, K. G.: *The super starspots on the K0 giant HD 12545: larger than the entire Sun*, Astron. Astrophys. 347, 225 (1999)
- [10] Kochukhov, O. et al.: *Weather in stellar atmosphere revealed by the dynamics of mercury clouds in α Andromedae*, Nature Physics 3, 526 (2007)
- [11] Klein, B. et al.: *Chemical Abundances in the Externally Polluted White Dwarf GD 40: Evidence of a Rocky Extrasolar Minor Planet*, Astrophys. J. 709, 950 (2010)
- [12] Jura, M. et al.: *X-ray and infrared observations of two externally polluted white dwarfs*, Astrophys. J. 699, 1473 (2009)
- [13] Alpher, R., Bethe, H., Gamow, G.: *The Origin of Chemical Elements*, Physical Review 73, 803 (1948)
- [14] Merrill, P. W.: *Spectroscopic Observations of Stars of Class S*, Astrophys. J. 116, 21 (1952)
- [15] Snellen, I. et al.: *The orbital motion, absolute mass and high-altitude winds of exoplanet HD209458b*, Nature 465, 1049 (2010)
- [16] Guenther, E. W. et al.: *Constraints on the exosphere of CoRoT-7b*, Astron. Astrophys. 525, A24 (2011)



ESA, NASA, GIOVANNI TINETTI, MARTIN KORNMESSER

Abb. 9: Die Analyse des Lichts des Sterns HD 189733 ergab, dass der ihn umkreisende Exoplanet eine dunkelblaue Version von Neptun sein könnte (künstlerische Darstellung).

TEMPELS VERMÄCHTNIS

Die Entdeckungen des erfolgreichsten deutschen Kometenjähgers

VON LUTZ CLAUSNITZER

Allein mit der visuellen Entdeckung von 150 »Nebelflecken« und fünf der ersten 100 Planetoiden wäre er einer der großen Beobachter seiner Zeit gewesen. Doch Tempels Ruhm geht ganz besonders von der Entdeckung zahlreicher Kometen aus. Mit insgesamt 13 Schweifsternen ist er bis heute der erfolgreichste deutsche Kometenentdecker. Einige seiner Kometen erfreuen sich bis heute großer Popularität und sind sogar aktuell Gegenstand der Forschung.

Ernst Wilhelm Leberecht Tempel entstammt einer ostsächsischen Bauernfamilie, in der er am 4. Dezember 1821 als zwölftes Kind geboren wurde, aber als siebentes Aufwuchs. Die damals hohe Kindersterblichkeit hatte auch bei Tempel einen hohen Tribut gefordert. In seinem Heimatdorf Niedercunnersdorf (Königreich Sachsen, heute Landkreis Görlitz) besuchte er die siebenjährige Dorfschule und arbeitete



Abb. 1: Wilhelm Tempels Name ist auch über 100 Jahre nach seinem Tod in aller Munde – dank seiner Kometen, von denen einige aktuell im Zentrum der Forschung stehen. Das Bild zeigt Tempel 1, die vielleicht bekannteste Entdeckung von Tempel, fotografiert mit dem Hubble-Weltraumteleskop 2005.

anschließend zwei Jahre auf dem Bauernhof seiner Eltern. 1837 verließ er das Oberlausitzer Bauern- und Weberdorf, um in Meißen den Beruf eines Lithographen zu erlernen. Diese Tätigkeit übte er in Dänemark, Norwegen, Schweden, Deutschland und nach 1850 in Italien aus, wo er sich in Venedig als freischaffender Lithograph niederließ. Bei Geographen und Botanikern erwarb er den Ruf, besonders genaue und feine Zeichnungen anfertigen zu können. Im Jahre 1858 heiratete er die Italienerin Marianna Gambini, deren Vater im Dogenpalast am Markusplatz als Portier arbeitete.

Die Geheimnisse des Sternhimmels hatten es Wilhelm schon seit seiner Kindheit angetan. Als Schüler hatte er sich mit dem Läuten der Kirchenglocken ein Taschengeld verdient und die Möglichkeit, den Kirchturm zu besteigen, für Himmelsbeobachtungen genutzt. Sein Lehrer und Kantor, Johann Carl Gottfried Kiesewalter (1802–1840), hatte ihn dabei unterstützt und auch sein Zeichentalent gefördert. In Kopenhagen, wo er drei Jahre lebte, beobachtete er gelegentlich an der dortigen Alten Sternwarte. Während seiner Italienzeit der 1850er Jahre übte er sich bei Studienaufenthalten in verschiedenen Sternwarten in der Handhabung astronomischer

Abb. 2: Wilhelm Tempel an seinem 4"-Refraktor. Nach einer Fotografie gezeichnet von H.-J. Roth.

Instrumente. In Bologna, wo er einige Monate blieb, kaufte Direktor Lorenzo Respighi (1824–1889) auf Tempels Empfehlung einen sechszölligen Refraktor von der Münchener Optischen Werkstatt C. A. Steinheil. Die Zufriedenheit mit dem Gerät nährte Tempels Wunsch, ein ähnliches, wenn auch kleineres und mobiles Teleskop privat zu kaufen, mit dem er von Venedig aus beobachten konnte.

Tempels Vierzöller

Doch die erforderliche Geldausgabe wog schwer und das Gerät sollte wohlüberlegt ausgewählt werden. Nach einer zweijährigen Korrespondenz mit Carl August Steinheil (1801–1870) war der Entschluss gefasst: An der Qualität der Optik wollte er nicht sparen, sich aber mit einer sehr einfachen azimutalen Montierung begnügen. So bestellte er 1858 bei Steinheil den optischen Tubus und ließ sich von einem venezianischen Handwerker eine Montierung aus Holz bauen. Der Refraktor hatte 4" (108mm) freie Öffnung und 60" (1620mm) Brennweite. Gemessen wurde in französischem Zoll mit 27,07mm. Dazu erwarb Tempel astronomische Okulare für eine 24-, 40-, 60-, 80-, 120-, 180-, 240- und 300-fache Vergrößerung, ebenso ein Sonnenfilter und ein terrestrisches Okular für 60-fache Vergrößerung. Das Gerät kostete mit Zubehör 400 Süddeutsche Gulden, was

NASA

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterver-

Tempels Kometen¹

Nr.	Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Letztes Perihel	Periode in Jahren	Nächste Wiederkehr	Bemerkungen
1	1859	C/1859 G1	29.5.1859	–	–	
2	1860 IV	C/1860 U1	22.9.1860	–	–	
3	1863 IV	C/1863 V1	9.11.1863	–	–	
4	1864 II	C/1864 N1	16.8.1864	–	–	Erstes Kometenspektrum
5	1866 I	55P/1865 Y1, 55P/Tempel-Tuttle	28.2.1998	33,24	April 2032	Leoniden-Komet, 1866–1965 verschollen
6	1867 II	P/1867 G1, 9P/Tempel 1	12.1.2011	5,51	Juli 2016	Deep Impact 2005, Stardust-NExT 2011
7	1869 II	C/1869 T1	10.10.1869	–	–	
8	1869 III	11P/1869 W1, 11P/Tempel-Swift-LINEAR	4.5.2008	6,37	August 2014	1908–2001 verschollen, wiederentdeckt durch LINEAR
9	1871 II	C/1871 L1	27.7.1871	–	–	
10	1871 IV	C/1871 V1	20.12.1871	–	–	
11	–	X/1871 Y1	–	–	–	
12	1873 II	10P/1873 N1, 10P/Tempel 2	4.7.2010	5,48	November 2015	Pläne zur Naherkundung in den 1980ern, nicht realisiert
13	1877 V	C/1877 T1	27.6.1877	–	–	

¹ [2], [5], neo.jpl.nasa.gov/orbits (20.2.2011)

Neben diesen offiziell anerkannten 13 Kometenentdeckungen gelangen Tempel fünf weitere, bei denen es mehrere unabhängige Entdecker gab und Tempel nicht der erste war. Außerdem beobachtete er in acht Fällen als Erster die vorausberechnete Wiederkehr eines Kometen.

etwa dem Jahresgehalt eines Universitäts-Assistenten entsprach.

Sowie das Gerät Anfang 1859 einsatzbereit war (Abb. 3), nutzte Tempel jede klare Nacht für Beobachtungen, meist auf der offenen Wendeltreppe am Palast der Adelsfamilie Contarini, dem Palazzo Contarini del Bovolo. Nach einem Besuch bei Tempel lobte der astronomieinteressierte venezianische Arzt Antonio Berti dessen genaue Himmelszeichnungen und wunderte sich, wie er diese habe anfertigen können »mit Hilfe seines im Ganzen zwar vortrefflichen Teleskops, das jedoch so schlecht eingerichtet ist, dass ich nicht begreife, wie er mit diesem, bei der Langsamkeit des Zeichnens den raschen Bewegungen des Gestirns folgen konnte.« Tempel wusste offenbar trotzdem, mit dem Instrument umzugehen. Schon im April entdeckte er seinen ersten Kometen und am 19. Oktober den Meropenebel in den Plejaden.

Entdeckung von Planetoiden und Kometen

Im März 1860 folgte Tempel der Einladung des Direktors Jean Elis Benjamin Valz (1787–1867) an die Kaiserliche Sternwarte Marseille und war somit zum ersten Mal Berufs-astronom. Nach der Pensionierung von Valz verließ er allerdings Ende 1862 die Sternwarte wieder, denn sie war in einem schlechten Zustand und hatte ihm kaum ein besseres Instrumentarium geboten als er es mit seinem privaten Refraktor selbst schon hatte. Außerdem war er vom Nachfolger von Valz enttäuscht. So ließ er sich in der Marseiller Rue Pythagore, oben auf dem Hügel Vauban,

als freischaffender Lithograph nieder. Da er während seiner nächtlichen Studien nur täglich vier Stunden für sein Handwerk verwenden konnte, verdiente er für seine Frau und sich nur einen dürftigen Lebensunterhalt. Obwohl sich das Ehepaar damit um der Astronomie Willen größte Sparsamkeit auferlegte, schätzte G. V. Schiaparelli nach Tempels Tod ein: »Der Aufenthalt in Marseille war in Tempels Leben der ruhigste und fruchtbarste Abschnitt.« Hier entdeckte er die Planetoiden (64) Angelina, (65) Cybele, (74) Galathea, (81) Terpsichore und (97) Clotho im Hauptgürtel.

Auch den Kometen blieb er treu. Immer wieder beobachtete er die plötzlich auftauchenden und bald wieder verschwindenden Vagabunden des Sonnensystems. Er registrierte ihre Bahn und hielt Veränderungen ihres Aussehens oft in Zeichnungen fest (Abb. 3, 4). Auch an der Suche nach neuen Kometen beteiligte er sich intensiv und außerordentlich erfolgreich. Tempels herausragende Leistungen als Kometenjäger werden transparent, wenn man sie mit den Maßstäben seiner Zeit misst: Im Jahre 1880 kannte man genau elf Kometen, bei denen man schon mindestens zwei Umläufe um die Sonne beobachtet und damit deren Periodizität nachgewiesen hatte: d'Arrest, Biela, Brorsen, Encke, Faye, Halley, Tempel 1, Tempel 2, Tempel 3-Swift, Tuttle und Winnecke. Es gab niemanden, der von diesen elf Kometen mehr als einen entdeckt hatte, nur Wilhelm Tempel: Er fand drei. Mit Tempel-Tuttle hatte er zu diesem Zeitpunkt zwar sogar schon den vierten entdeckt, aber dessen Periodizität sollte sich erst viel später herausstellen.

Tempel 1 – der Medienstar unserer Tage

Am 3. April 1867 fand Tempel in Marseille einen Kometen. »Er war sehr schwach und klein«, konnte mit Fernrohren aber dennoch viereinhalb Monate verfolgt werden. Von allen 1867 entdeckten Kometen durchlief er als zweiter das Perihel und erhielt deshalb die vorläufige Bezeichnung 1867 II. Man ermittelte eine Umlaufzeit von 5,65 Jahren und konnte für 1873 sein erneutes Auftauchen vorhersagen. Am 3. April 1873 konnte dies – ebenfalls in Marseille – durch Edouard Stephan (1837–1923) bestätigt werden. Da seine Periodizität nun hinreichend gezeigt war, wurde der Komet wie damals üblich nach seinem Entdecker »Tempel« benannt. Doch schon am 19. Juli 1878 bestätigte sich die Periodizität eines weiteren ebenfalls von Tempel entdeckten Kometen. Damit brachte Wilhelm Tempel die Fachwelt in Verlegenheit, sie musste erstmals einen zweiten Kometen nach dem gleichen Entdecker benennen. So wurde »Tempel« zu »Tempel 1« und der Neue hieß »Tempel 2«. Anfang der 90er Jahre des 20. Jh. überstieg die Zahl der kurzperiodischen Kometen die 100 und drängte auf eine fortlaufende Nummerierung. Diese entspricht nun im Wesentlichen einer historisch-chronologischen Reihenfolge. So heißt Tempel 1 seit 1995 auch 9P/Tempel 1, wobei P für periodisch steht. Aus Tempel 2 wurde 10P/Tempel 2.

Nach einem früheren NASA-Vorhaben sollte eine Sonde im Zeitfenster von 1985 bis 1988 sowohl den Halleyschen als auch den zweiten Tempelschen Kometen aus der



Abb. 3: Bewegung und Schweifdynamik des von Jérôme Eugène Coggia (1849–1919) gefundenen Kometen P/1873 VI vom Tag seiner Entdeckung bis zum 29. Juni 1874. Zeichnung von Wilhelm Tempel [7].

Nähe erkunden. Aus diesem Plan wurde zwar nichts, aber ein Jahrzehnt später geriet 9P/Tempel 1 in den Brennpunkt der Kometenforschung: 1999 begann das Projekt Deep Impact, welches am 3. August 2002 von dessen Principal Investigator Michael A'Hearn, seiner Stellvertreterin Lucy-Ann McFadden und dem Heidelberger Jochen Kissel in Tempels Heimat erläutert wurde. Dazu gab es eine öffentliche Veranstaltung in der Wilhelm-Tempel-Grundschule Niedercunnersdorf, der das ZDF im abend-

lichen »heute journal« einen dreiminütigen Bericht widmete. Man wollte den Kometenkern nicht nur fotografieren, sondern durch einen künstlichen Meteoriteneinschlag auch in sein Inneres sehen. Dazu sollte während des Anfluges ein vorwiegend aus Kupfer bestehender Körper mit der Masse eines Konzertflügels so ausgeklinkt werden, dass er mit 10km/s genau auf den Kern zurast. Die Muttersonde sollte eine kleine Richtungsänderung vornehmen, das Spektakel fotografieren und das ausgeworfene Ma-

terial im Infraroten spektrografieren. Im Optischen sollte der Vorgang von irdischen Teleskopen beobachtet werden. Das Vorhaben gelang [9].

Am 15. Februar 2011 wurde Tempel 1 zum zweiten Mal von einer Sonde besucht. Stardust-NExT passierte ihn um 5:40 MEZ in nur 178km Entfernung. Die neuen Bilder zeigen gegenüber 2005 an der Oberfläche deutliche Abtragungserscheinungen und den 150m großen künstlichen Krater. Darüber hinaus konnten damals noch

Stardust NExT besucht Tempel 1

Am 15. Februar 2011 flog die Sonde Stardust-NExT am Kometen Tempel 1 vorbei. Der Komet wurde dadurch zum zweiten Mal mit dem Besuch einer Sonde beehrt. Bereits im Juli 2005 stattete die Sonde



Abb. 1: Die Gegend um die Einschlagstelle: links aufgenommen von Deep Impact vor dem Einschlag und rechts nach dem Einschlag, aufgenommen von Stardust NExT. Die gelben Pfeile markieren den Krater. In der Mitte des Kraters deutet sich der Zentralberg als heller Fleck an.

Deep Impact dem Kometen einen Besuch ab, der nicht ohne Folgen blieb, denn sie setzte eine kleinere Sonde aus, die auf der Kometenoberfläche aufschlug. Aufgrund der aufgewirbelten Materiewolke war es damals unmöglich, einen Krater auszumachen, wodurch Stardust nach ihrer erfolgreichen Erstmission, dem Besuch beim Kometen Wild 2 und der Rückführung von Kometenproben zur Erde – einen zweiten Auftrag erhielt. Insgesamt nahm sie 72 Bilder des Kometen Tempel 1 auf, darunter bereits bekannte Landschaften, neues Terrain und natürlich die Stelle, wo der sog. Impaktor eingeschlagen war. Stardust-NExT konnte den Krater, den der Impaktor geschlagen hatte, entdecken. Er hat einen Durchmesser von etwa 150m und ist mit 30m Tiefe sehr flach, besitzt aber einen Zentralberg. Dies war bei einem flachen Einschlag in weiches Material auch nicht anders zu erwarten gewesen. Daneben entdeckte die Sonde auch natürliche Veränderungen auf der Kometenoberfläche. [NASA Pressemitteilung 15.2.2011]

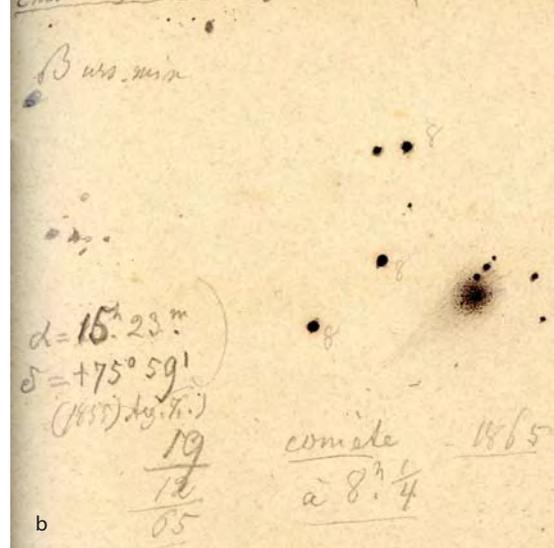
■ Susanne Friedrich

Abb. 2: Veränderungen auf der Oberfläche von Tempel 1 zeigen sich beim Vergleich der Aufnahmen der Sonden Deep Impact und Stardust NExT.

Abb. 4: Tempels Originalzeichnungen

der von ihm entdeckten Kometen [1].
a) Der am 3. April 1867 gefundene 1867 II = 9P/Tempel 1. Hier von Tempel gezeichnet am 30. Juli 1867.

b) Tempels Zeichnung des Leonidenkometen 1866 I am Tag seiner Entdeckung am »19. Dez. 1865, abends 8^h.«



nicht erfasste Gebiete fotografiert werden (s. Kasten). Das auf Stardust installierte Massenspektrometer CIDA (Cometary and Interstellar Dust Analyzer) analysierte aufgefangenen Kometenstaub und fand beispielsweise CH-, CH₂-, CN- und Cl-Verbindungen.

Tempel 3 – von Jupiter entführt?

Am 27. November 1869 wurde von Wilhelm Tempel in Marseille im Sternbild Pegasus ein »äußerst schwach sichtbarer verwischener Komet mit schwacher Zeichnung« beobachtet. Aus den in den folgenden Nächten aufgenommenen Daten konnte eine elliptische Bahn mit 5,5 Jahren Umlaufzeit hergeleitet werden. So war es möglich, die Wiederkehr des damals Tempel 3 genannten neuen Himmelskörpers für 1875 und 1880 vorherzusagen. Wegen ungünstiger Beobachtungsverhältnisse wurde das Objekt 1875 aber nicht gesehen. Erst im Oktober 1880 erkannte Lewis Swift (Warner Observatory, New York) den Himmelskörper – übrigens abermals im Pegasus – wieder und bestätigte die vermutete Periodizität. Der nun als Tempel 3-Swift und später als Tem-

pel-Swift geführte schwierig zu beobachtende Komet konnte dann nur noch 1891 und 1908 gesehen werden und galt seither als verschollen. Da sein Aphel fast genau auf der Jupiterbahn lag, vermutete man, dass Jupiter dem Winzling eine neue Bahn »zugewiesen« oder ihn gar aus dem Sonnensystem hinauskatapultiert haben könnte. Man gab Tempel 3 deshalb die Bezeichnung 11D/Tempel-Swift. D kennzeichnet einen verschollenen Kometen. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts fand man unter anderen den Kometen P/2001 X3 (LINEAR). Kurz danach wiesen C. Hergenrother (Lunar and Planetary Laboratory) und K. Muraoka (Kochi, Japan) auf eine mögliche Identität zwischen diesem Kometen und dem Verloren geglaubten hin, was durch S. Nakano (Sumoto, Japan) am Minor Planet Center (Cambridge, Massachusetts, USA) bestätigt wurde. Damit bekam der Wiedergefundene nun die Bezeichnung 11P/Tempel-Swift-LINEAR. Gegenüber 1908 war seine Periode von 5,5 auf 6,4 Jahren angewachsen.

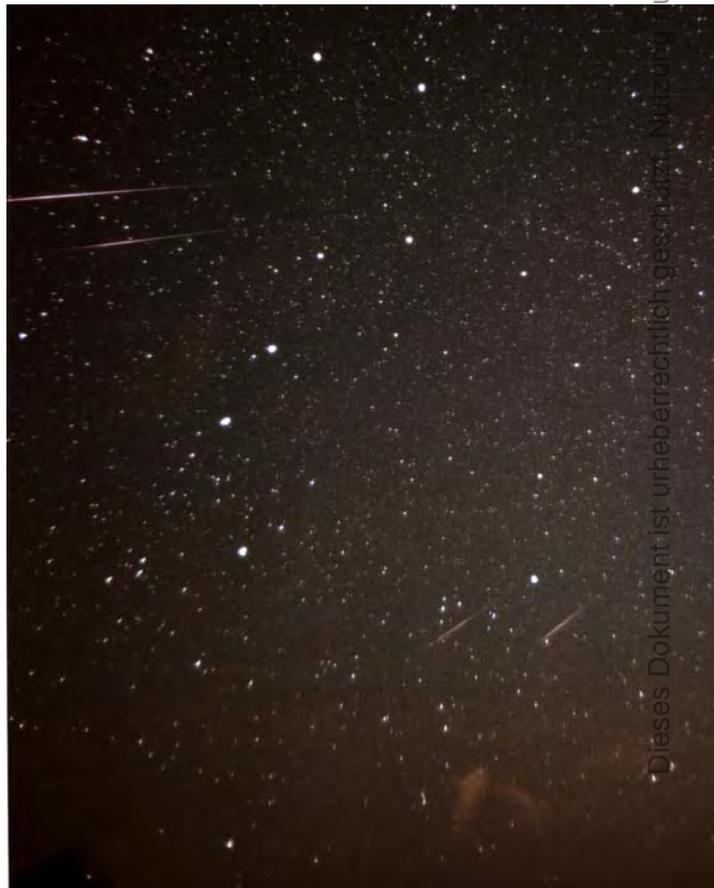
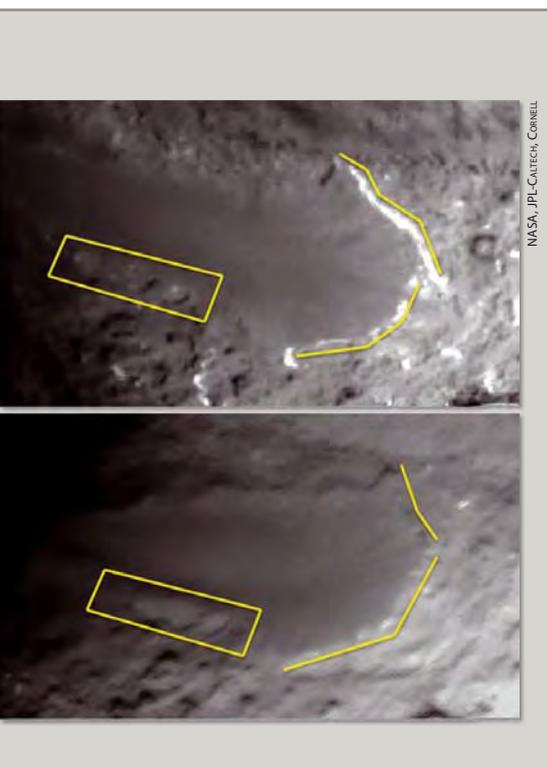
den. Erst 1965 sah man ihn wieder und bestätigte mit diesem zweiten beobachteten Umlauf endgültig seine Periodizität. Erst jetzt konnte der in der Literatur gern schon Tempel 4 genannte Komet 100 Jahre nach seiner Entdeckung offiziell mit einem Namen versehen werden. Man wählte die Bezeichnung Tempel-Tuttle und nennt ihn seit Einführung der Nummerierung 55P/Tempel-Tuttle.

Erstaunlich war nun, dass die von dem Kometen durchlaufene Ellipse schon einmal das Resultat einer Bahnberechnung war. Daimals hatte Schiaparelli, der in Mailand Tempels Chef war, die Bahn des Meteorstromes der Leoniden bestimmt, dessen Bestandteile alljährlich Mitte November in die Erdatmosphäre eindringen und in mehreren aufeinanderfolgenden Nächten viele Sternschnuppen hervorrufen. Hatten Tempel-Tuttle und der Leonidenstrom nur zufällig übereinstimmende Bahndaten? Schiaparelli erarbeitete unter Einbeziehung eines weiteren Meteorstrompaares (Komet 1862 III/Perseiden) jene Theorie, nach welcher die Partikel eines

Tempel-Tuttle – der Leoniden-Komet

Am 19. Dezember 1865 entdeckten Tempel in Marseille und unabhängig von ihm am 5. Januar 1866 auch Horace Parnell Tuttle (1837–1923) in Cambridge (Massachusetts, USA) einen Kometen, für den man eine bis zum Uranus reichende Bahn mit 33,3 Jahren Umlaufzeit errechnete. Demnach sollte er 1899 und 1932 wieder in Sonnennähe sein, konnte aber nicht beobachtet wer-

Abb. 5: Die Meteore der Leoniden gehen auf den Kometen Tempel-Tuttle zurück. Aufnahme vom 19.11.2001 gegen 2 Uhr Ortszeit im Nordosten Chinas, 15min Belichtungszeit.



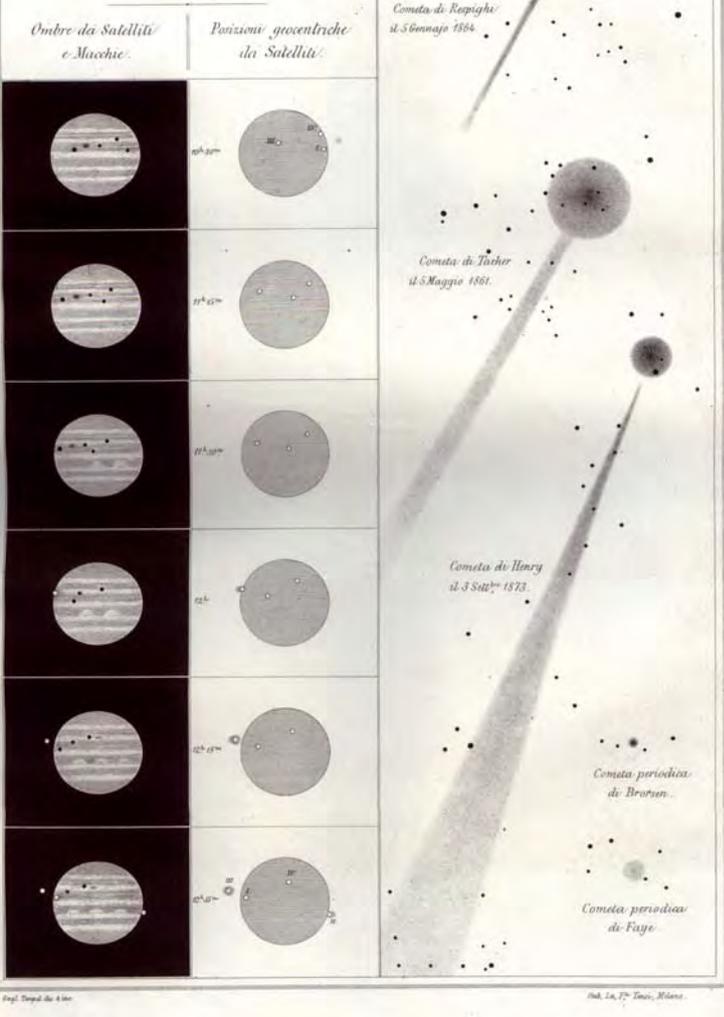


Abb. 6: Zeichnungen aus der Hand Wilhelm Tempels. Neben einigen Kometen zeigt Tempel hier »eine seltene Aufführung Jupiters ohne Satelliten« [7].

Meteorstromes Auflösungsprodukte eines Kometen sind. Die meist nur bis Millimeter großen Partikel verteilen sich entlang der Kometenbahn. Immer dann, wenn die Erde diese Ellipse schneidet, werden Sternschnuppen erzeugt, welche alle aus demselben Punkt des Himmels hervorzuströmen scheinen. Die Bezeichnung des Meteorstromes wird in der Regel vom Namen desjenigen Sternbildes abgeleitet, in welchem dieser Quellpunkt (Radiant) liegt. Obwohl die Leoniden

gar ganz ausbleiben. 1998/99 erkannten die Astronomen David Asher (Nordirland) und Robert McNaught (Australien), dass der dem Kometen nacheilende Staub nicht eine einzige diffuse Wolke bildet, sondern wohldefinierte Staubfahnen, von denen der Komet bei jedem Periheldurchgang eine erzeugt. Die Beobachtungen der Jahre nach 1998 bestätigten diese Theorie.

Berufs-astronom in Mailand und Arcetri

Während des deutsch-französischen Krieges wurde Tempel im Januar 1871, mit vielen anderen Deutschen, von der provisorischen Regierung Frankreichs des Landes verwiesen und ging wieder nach Italien. Zu diesem Zeitpunkt zählte er bereits zu den erfolgreichsten Himmelsbeobachtern des 19. Jahrhunderts und wurde von dem bereits erwähnten Direktor der Mailänder Brera-Sternwarte, G. V. Schiaparelli, gern als Astronom eingestellt. Hier beschäftigte er sich wieder vorwiegend mit Kometen, am Rande mit Nebelflecken und meteorologischen Fragen. Tempel veröffentlichte seine Lithografien unger in Zeitschriften, weil die Druckverfahren sie nur in verminderter Qualität wiedergeben vermochten. Dennoch kam es in Mailand zu einer Veröffentlichung mit 20 Textseiten und sechs Bildtafeln (vgl. Abb. 6).

1852 hatte G. B. Donati in der Sternwarte Florenz seine wissenschaftliche Laufbahn als Astronom begonnen und wurde 1864 dort auch Direktor. Unter seiner Leitung wurde von 1869 bis 1872 auf dem Hügel von Arcetri eine neue Sternwarte errichtet und von ihm geleitet. Doch 1873 starb Donati 47-jährig an Cholera, ein Jahr später auch sein 34-jähriger Gehilfe. Das Observatorium war verwaist. Schiaparelli schlug vor, die Leitung des Observatoriums »dem deutschen Amateurastronomen Wilhelm Tempel zu übertragen, der von Beruf Lithograph, aber in astronomischen Fachkreisen Europas auch als geschickter Beobachter und Zeichner gut bekannt ist«. So geschah es. Dass ihn der Minister für öffentliche Bildung nur zum »Assistenten für Astronomie« ernannte, ändert nichts an der Tatsache, dass er der ranghöchste (zeitweise einzige) Astronom im Hause war. Die Berufung zum »Direktor« einer Sternwarte hätte sicherlich eines Universitätsabschlusses bedurft. Entscheidend war jedoch, dass Tempel jetzt am größten Fernrohr Italiens beobachten konnte. Es war ein von Giovan Battista Amici (1786–1863) berechneter Refraktor mit 283mm freier Öffnung und einer Brennweite von 5370mm. Damit konnte er sich einem Arbeitsfeld zuwenden, für das sein Privatfernrohr einfach nicht den nötigen Objektivdurchmesser hatte: den Nebeln. Ein wichtiges Resultat dieser Arbeiten war sein Aufsatz »Über Nebelflecken« [8] mit 30 Textseiten und zwei Tafeln.

Berücksichtigt man Tempels Arbeitsbedingungen, wiegen diese Erfolge umso schwerer. Schon in der Endphase der Errichtung der Sternwarte Arcetri war 1872 das Geld ausgegangen. Dadurch war vieles unvollkommen geblieben. Selbst das Hauptinstrument war davon nicht ausgenommen: Das große Amici-Fernrohr hatte zwar eine parallaktische Montierung, aber »die Kreise in gerader Aufsteigung und in Deklination haben noch keine Einteilung, noch weniger hat das Instrument Uhrbewegung, noch Klemmen, noch Haltestangen etc., so dass man dieses große Fernrohr nur mit der Hand fortbewegen muss«, schrieb Tempel [8]. Von Anfang an bestehende bauliche Mängel führten zu einem vorzeitigen Verfall des Sternwartegebäudes und der Kuppel, vor allem durch eindringendes Regenwasser. 1887 musste Tempel das wertvolle Instrument schweren Herzens ausbauen, um dem Einsturz der morschen Holzkuppel zuvorzukommen. 1888 brach das Dach des Ostflügels der Sternwarte, wo Tempels wohnten,

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

Veranstaltungshinweis:

Vortragsabend in Tempels Heimat am 2. November 2011 um 19 Uhr

- Neues über Wilhelm Tempel (Lutz Clausnitzer, Obercunnersdorf)
- Unser Besuch in Arcetri im Sommer 2010 (Sylvia Spence, Lehrerin an der Wilhelm-Tempel-Grundschule Niedercunnersdorf)

Ort: 02708 Obercunnersdorf, Heimstr. 7



Abb. 8: Das Amici-Teleskop der Sternwarte Arcetri mit einem Leitrohr (links), dessen Objektiv sich als das Tempelsche von 1858 erwies. Mit dem wiederentdeckten vierzölligen Steinheil-Objektiv (unten) fand Tempel die fünf Planetoiden, fast alle seiner Kometen und einige der 150 Nebel.



zusammen. Das Ehepaar zog in eine nahegelegene Villa. Dort erlag Wilhelm Tempel am 16. März 1889 im Alter von 67 Jahren einem Leberleiden. In einem Nachruf schrieb Schiaparelli: »Obgleich Tempel keinen regelrechten Unterricht genossen, war er keineswegs ohne Bildung, lebhaft über alles war stets in ihm der Sinn für das Schöne in Natur und Kunst. In der elementaren Mathematik hatte er die ersten Grade aus sich selbst bis zu dem Punkte bemeistert, dass er ohne Schwierigkeiten die logarithmischen Tafeln und trigonometrischen Formeln anwenden konnte; ohne fremde Hülfe berechnete er seine eigenen Beobachtungen. Ganz sich selbst und seinem uneigennützigem Eifer für die Astronomie verdankt er eine Reihe schöner Entdeckungen, welche seinem Namen einen ehrenvollen Platz in unserer Wissenschaft sichern.«

Im Himmel wie auf Erden

Schon zu Lebzeiten erfuhr Wilhelm Tempel hohe Ehrungen und Auszeichnungen. Neben seinen vier kurzperiodischen Kometen sind auch ein Planetoid und ein Mondkrater nach ihm benannt. In seinem irdischen Geburtsort Niedercunnersdorf erinnern heute der elterliche Bauernhof und der in der Dorfmitte gelegene Wilhelm-Tempel-Platz mit dem Gedenkstein an ihn. Seit 1990 trägt auch die Grundschule seines Heimatdorfes seinen Namen.

Auch in der Sternwarte Arcetri gab es immer wieder Personen, die Tempels Andenken pflegten. So sorgte Antonio Abetti (1846–1928) nach 1894 als Direktor in Arcetri für eine grundlegende Sanierung der Einrichtung und die Rückkehr des nach Tempels

Tod verkauften Vierzöllers und eines Teils seines wissenschaftlichen Nachlasses an die Sternwarte. Besonders der Bestand an lithografischen Abzügen konzentriert sich hier, vornehmlich von Nebeln. Die Bibliothek der Sternwarte ist sich dieses Schatzes bewusst und macht ihn schrittweise durch Publikationen der Öffentlichkeit zugänglich. Auch für diesen Aufsatz stellte sie dankenswerterweise einige Vorlagen zur Verfügung.

Allein Tempels Fernrohr schien das 20. Jahrhundert nicht überdauern zu haben. In den 1980er Jahren konnte niemand über dessen Verbleib Auskunft geben, es galt als verschollen. Doch Anfang 2008 stellten die Astronomen von Arcetri überrascht fest, dass es die ganze Zeit mitten unter ihnen gewesen war, nämlich in der großen Beobachtungskuppel, montiert am Amici-Teleskop. Dort wurde es zur Sonnenbeobachtung und als Leitrohr für die Himmelsfotografie verwendet. Seine Herkunft war der heutigen Generation verborgen geblieben, weil der ursprüngliche Holztubus im Zeitraum zwischen 1895 und 1922 gegen ein Messingrohr ausgetauscht und in dieser Form montiert worden war. Man vermutet, dass es Ende der 1890er Jahre in Verbindung mit dem Neuaufbau des großen Refraktors geschah, der ein neues Rohr, ein 360mm-Zeiss-Objektiv und nun natürlich auch eine automatische Nachführung bekam. Der astronomiehistorisch interessierte Arcetrier Astrophysiker Simone Bianchi stieß beim Lesen historischer Publikationen der Sternwarte auf diese Zusammenhänge und konnte das Leitrohr-Objektiv anhand der Gravur »Steinheil in München No. 216« zweifelsfrei als das Tempelsche identifizieren. Obgleich die alte azimutale Montierung und der frühere Holz-

tubus verloren sind, erinnert dieser Fund an einen großen Beobachter des 19. Jahrhunderts, der schon damals in europäischen Maßstäben dachte und für eine große Wissenschaft lebte.

- [1] Bianchi, S. et al.: Wilhelm Tempel and his 10,8cm Steinheil telescope, *Journal of Astronomical History and Heritage* 13, 43 (2010)
- [2] Clausnitzer, L.: Wilhelm Tempel und seine kosmischen Entdeckungen, *Vorträge und Schriften der Archenhold-Sternwarte Nr. 70*, Berlin-Treptow (1989)
- [3] Clausnitzer, L.: Der Astronom Wilhelm Tempel, Poster, deepimpact.umd.edu/gallery/Tempel_Poster.html (2011)
- [4] Historisches Archiv des Astrophysikalischen Observatoriums Arcetri
- [5] Kronk, G. W.: *Cometography*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) (2003)
- [6] Steinicke, W.: *Nebel und Sternhaufen*, Books on Demand, Norderstedt (2009)
- [7] Tempel, W.: *Osservazioni astronomiche diverse fatte nella specola di Milano*, Pubblicazioni del reale Osservatorio di Brera in Milano. Nr. V (1874)
- [8] Tempel, W.: *Über Nebelflecken*, *Abhandlungen der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften*, VII. Folge, 1. Band, Prag (1885)
- [9] Wulff, A.: Die Mission Deep Impact, Ein voller Erfolg mit vielen Fragenzeichen, *interstellarum* 42, 48 (2005)

Surftipps

Deep Impact: deepimpact.umd.edu
Stardust-NExT: stardustnext.jpl.nasa.gov
Astrophysikalisches Observatorium Arcetri: www.arcetri.astro.it
Homepage des Autors: www.lutz-clausnitzer.de



Der Schweizer Schrott-Sucher

ZimSMART – Ein robotisches Teleskop für die Weltraumschrottsuche

VON MARTIN PLONER

»Amerikanischer Satellit prallt auf russischen Militärspatnik.« Solche oder ähnliche Schlagzeilen konnte man nach dem Zusammenstoß zweier Satelliten am 10.2.2009 um 16:55 UT in diversen Zeitungen lesen. Spätestens nach diesem Vorfall sollte auch der breiten Öffentlichkeit die Problematik des Weltraumschrotts bewusst geworden sein. Die europäische Raumfahrtbehörde ESA plant nun den Aufbau eines Weltraumüberwachungssystems, bestehend aus optischen Teleskopen und Radaranlagen, um solchen Kollisionen vorzubeugen. Das Observatorium in Zimmerwald liefert mit ZimSMART – dem »Zimmerwald Small Aperture Robotic Telescope« – seit 2006 beobachtete Positionen von Satelliten und Weltraumschrottteilen und trägt damit wesentlich für die Erstellung und den Unterhalt eines Katalogs dieser Objekte bei.

Weltraumschrottbeobachtungen am AIUB

Das astronomische Institut der Universität Bern (AIUB) spielt seit Jahren bei der Erforschung von Weltraumschrott eine weltweit führende Rolle. Seit dem Start des ersten Satelliten Sputnik 1 im Jahr 1957 wurden mehr als 6000 Satelliten in eine

Erdumlaufbahn geschossen, von denen etwa noch 800 aktiv sind. Die Gesamtzahl der künstlichen Objekte ist jedoch deutlich höher. Neben ausgedienten Satelliten befinden sich noch ausgebrannte Raketenstufen sowie Teile von Satelliten im Weltall. Etwa 20000 künstliche Objekte mit einer Größe von wenigen Zentimetern umkreisen die Erde. Die Anzahl von Kleinteilen

mit einer Größe von wenigen Millimetern wie Farbpartikel, Teile von Isolierfolien oder Schlackereste aus Raketenmotoren schätzt man heute auf mehr als 300 Millionen. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit von mehreren Kilometern pro Sekunde stellen auch kleinste Teile eine Gefahr für die bemannte Raumfahrt sowie für Satelliten dar. So genannte »Space Surveil-



Abb. 1: Das Observatorium Zimmerwald. In der Bildmitte sieht man das Wohngebäude. Links davon befindet sich auf dem Flachdach des Neubaus die Kuppel von ZimSMART. Dahinter erkennt man die große Kuppel des Schmidt-Cassegrain-Teleskops. Rechts vom Wohngebäude befindet sich die Kuppel des ZIMLAT Teleskops.

lance Systeme« sind für die Beobachtung und Katalogisierung dieser Teile zuständig. Solche Kataloge müssen durch fortlaufende Beobachtungen aktualisiert und unterhalten werden. Diese Systeme bestehen aus einem Netzwerk von Teleskopen und Radaranlagen. Das US Space Surveillance Network (SNN) verfolgt etwa 13000 Objekte, ein ähnliches System wird von Russland betrieben. Die europäische Weltraumbehörde ESA möchte in den nächsten Jahren ein eigenes System unter dem Namen »Space Situational Awareness« aufbauen, um unabhängig von den Daten des SNN zu werden.

Seit mehreren Jahren bereits werden im Rahmen von ESA-Verträgen Beobachtungen von Weltraumschrott mit dem 1m-Teleskop ZIMLAT (Zimmerwald Laser and Astrometric Telescope) des Observatoriums in Zimmerwald (Abb. 1) sowie dem Space Debris Telescope in Teneriffa durchgeführt. Beobachtungen mit beiden Teleskopen haben wesentlich zu einer vertieften Kenntnis über Verteilung und Bahnentwicklung des Weltraumschrotts beigetragen, insbesondere im Bahnbereich des geostationären Ringes. Mit Hilfe dieser Beobachtungen konnten statistische Angaben über die Anzahl und räumliche Verteilung der Schrottteile deutlich verbessert werden [1]. 2003 wurde eine neue Population von Weltraumschrottteilchen identifiziert. Diese Teilchen bewegen sich

in hochexzentrischen Bahnen, in welchen man keine Schrottteile vermutet hatte. Es handelt sich vermutlich um Folienstücke, welche sich von Satelliten im geostationären Ring abgelöst haben [2].

2006 wurde am AIUB für die Beobachtungen hellerer Objekte das Projekt ZimSMART gestartet. Ziel war der Aufbau eines robotischen Kleinteleskops, bestehend aus kommerziell erhältlichen Komponenten, welches den Katalogaufbau und -unterhalt von künstlichen Objekten im Weltall unterstützen soll.

ZimSMART – die Komponenten

Von 2006 bis 2009 kam eine Paramount ME-Montierung von SoftwareBisque zum Einsatz, seit August 2009 wird die Montierung DDM85 der Firma Astro Systeme Austria (ASA) verwendet. Die Montierung ist als parallaktische Knicksäule ausgeführt, somit entfällt das Durchschlagen des Instrumentes beim Meridianübergang (sog. Meridianflip). Die hohe maximale Bewegungsgeschwindigkeit des Teleskops durch die Direktantriebe ermöglicht eine sehr effiziente Suche nach Weltraumschrott. Die Zeit für das Auslesen eines CCD-Bildes ist meist länger als die Neupositionierung des Teleskops für die nächste Aufnahme. Die Teleskopzeit wird über einen GPS-Empfänger vom Typ Navilock NL-404P synchronisiert. Auch bei fehler-

hafter PC-Uhr ist somit die exakte Ausrichtung des Teleskops gewährleistet. Dies ist insbesondere bei der Beobachtung von Satelliten in niedrigen Bahnhöhen wichtig.

Als Bilddetektor wird eine CCD-Kamera vom Typ Proline 16803 von Finger Lakes Instrumentation verwendet. Die CCD-Fläche besteht aus 4000×4000 Pixel, die Pixelgröße beträgt 9µm. Je nach Anwendung wird entweder ein ASA-Astrograph mit 300mm Öffnung oder ein Takahashi-Astrograph mit 180mm Öffnung montiert. Das Gesichtsfeld beträgt bei Einsatz des ASA-Astrographen 2°, der Abbildungsmaßstab 1,9"/Pixel. Verwendet man den Takahashi-Astrographen, verdoppelt sich das Gesichtsfeld auf 4°, der Abbildungsmaßstab beträgt dann 3,8"/Pixel.

Ein Wolkensensor (Boltwood Cloud Sensor II) startet bzw. stoppt die Beobachtungen ohne Interaktion der beobachtenden Person. Der Öffnungs- bzw. Schließmechanismus der Kuppel vom Typ Astrohaven wurde modifiziert, damit auch in kalten Winternächten die Funktionstüchtigkeit der Kuppel gewährleistet bleibt. Zusätzlich wird während der Wintermonate eine Schutzhaube über die Kuppel montiert, um das Eindringen von Schnee zu verhindern.

Die Genauigkeit der gemessenen Belichtungszeitpunkte (Beginn und Ende der Aufnahme) hat bei Satellitenaufnahmen einen großen Einfluss auf die Genau-



Abb. 2: Das robotische Teleskop ZimSMART zur Suche nach Weltraumschrott.

igkeit der gemessenen Richtungen zu den Satelliten. Die Ursache liegt in der hohen Relativgeschwindigkeit der Satelliten gegenüber dem Sternhintergrund. Die Relativgeschwindigkeit ist umgekehrt proportional zur Bahnhöhe des Satelliten. Selbst bei geostationären Satelliten mit einer Bahnhöhe von rund 42000km bewirkt eine fehlerhafte Messung des Belichtungszeitpunktes von 10ms bereits einen Fehler in der Satellitenrichtung von mehr als 0,5". Aus diesem Grund wurden zwei induktive Sensoren auf dem Verschluss der CCD-Kamera montiert, welche die Erfassung des Belichtungszeitpunktes mit einer Genauigkeit von wenigen Millisekunden garantieren. Ein Sensor befindet sich im Zentrum des Verschlusses, einer am Rand. Der Sensor am Verschlussrand sendet ein Steuersignal (sog. Triggersignal) aus, sobald der Verschluss entweder vollständig geöffnet ist oder sich zu schließen beginnt. Triggersignale für das Starten des Öffnens bzw. für das Ende des Schließens werden vom Sensor in der Verschlussmitte generiert. Die Zeitpunkte der Signale werden von einer mit Hilfe eines Zeitsignals synchronisierten Zeitkarte (Symmetricom bc635PCI) mit einer Genauigkeit von wenigen Mikrosekunden erfasst. Es hat sich gezeigt, dass die Dauer für das Öffnen bzw. Schließen des Verschlusses insbesondere von der Lage der Kamera abhängig ist. Befinden sich die Lamellen des Verschlusses in einer vertikalen Lage, so ist die Dauer für den Verschlussvorgang aufgrund geringerer Reibung deutlich kürzer als in

horizontaler Lage. Das Schließen des Verschlusses benötigt signifikant mehr Zeit als das Öffnen des Verschlusses. Die Differenz beträgt bei unserem Modell durchschnittlich 20ms. Dies führt dazu, dass die gemessenen Belichtungszeitpunkte in Abhängigkeit von der radialen Distanz der Satelliten zum Bildzentrum korrigiert werden müssen.

Ein am Institut entwickeltes Softwarepaket steuert nicht nur den Ablauf der Beobachtungen, sondern prozessiert diese auch und extrahiert daraus die Positionen der gefundenen Objekte. Die Kommunikation mit dem Teleskop erfolgt über eine integrierte ASCOM-Schnittstelle. Der ASCOM-Befehlssatz wurde in Zusammenarbeit mit der Herstellerfirma um einige Befehle erweitert. Dadurch kann das Teleskop den Bewegungen der Satelliten mit höherer Genauigkeit nachgeführt werden. Zusätzlich können Fehlermeldungen des Teleskops über die Schnittstelle abgerufen werden. Dies ist vor allem für einen automatischen Betrieb von großem Vorteil.

In zwei Jahren fast 1000 unbekannte Objekte gefunden

Bei der Suche nach Satelliten – dazu gehört auch Weltraumschrott – werden jede Minute Serien, bestehend aus fünf Einzelaufnahmen mit einer Belichtungszeit von 5s –10s, aufgenommen. Das Teleskop wird dabei für jede Serie der vermuteten Satellitenbewegung nachgeführt. Sterne bilden sich als Strichspuren ab, deren Längen von der Relativgeschwindigkeit der Satelliten und der Belichtungszeit abhängig sind (Abb. 3). Die Objekterkennung erfolgt auf

den unkorrigierten Rohaufnahmen, wobei unter »Objekt« irgendeine Helligkeitserhöhung über dem Hintergrundniveau des Bildes zu verstehen ist. In einem ersten Schritt wird für jede Einzelaufnahme eine Liste erstellt, die alle auf der Aufnahme erkennbaren Objekte enthält. Diese Liste enthält im Allgemeinen nicht nur Sterne und Satelliten, sondern auch sog. Cosmics und Artefakte wie Reflexe.

Mit Hilfe der Formeln der Zentralprojektion wird eine ebene Sternkarte für den aufgenommenen Himmelsausschnitt berechnet. Die Sternkoordinaten werden den Katalogen Hipparcos, Tycho-2 und UCAC-2 entnommen. Die Sterne dieser berechneten Sternkarte werden nun möglichst gut mit den auf einer Aufnahme abgebildeten Sternen zur Deckung gebracht. Jene Objekte der Liste, die mit einem Stern der Sternkarte korreliert werden können, werden aus der Liste gestrichen. Oft werden nicht alle auf der Aufnahme erkennbaren Sterne in den Katalogen verzeichnet sein. An Hand der Objektform der identifizierten Sterne können jedoch weitere Objekte aus dieser Liste als Sterne ausgeschlossen werden. An der Detektionsgrenze knapp über dem Hintergrundniveau können Strichspuren der Sterne in mehrere Teilspuren zerfallen. Es ist oftmals nicht möglich, einen Teil einer Strichspur eines Sternes von anderen Objekten wie Satelliten zu unterscheiden. Aus diesem Grund erfolgt die Identifikation von künstlichen Satelliten nicht auf einer Einzelaufnahme, sondern auf einer Aufnahmeserie. In den Objektlisten einer Serie, welche nur noch die nicht-identifizierten Objekte enthalten, wird nun nach Objekten gesucht, die aus



Abb. 3: Beispiel-Aufnahme geostationärer Satelliten vom 19.1.2010, 17:44:18 UTC. Die Belichtungszeit betrug 5s. Erkennbar sind die fünf Satelliten Astra 2A, Astra 2B, Astra 2C, Eurobird 1 und XTAR-EUR, welche sich zwischen 28,2° und 29° Ost befinden.

einer gleichförmigen Bewegung während der Belichtungszeit resultieren und deren Bewegungsrichtung und Bewegungsgeschwindigkeit sich von jenen der Sterne unterscheidet. Konnten in mehreren Aufnahmen Objekte identifiziert werden, die »zusammengehören«, so werden die Positionen der gefundenen Objekte darauf geprüft, ob sie auch aus einer berechneten Keplerbahn hervorgehen. Trotz des kurzen Bahn Bogens kann die Lage der Bahnebene im Raum (Neigung und Knoten) mit hoher Genauigkeit berechnet werden. Die Bahnform (Bahnhalbachse, Exzentrizität und Argument der Breite) sowie die Position des Objektes in der Bahn (Zeit des Perigäumdurchganges) können jedoch nur mit sehr großer Unsicherheit bestimmt werden. Die detektierten Positionen eines Objektes bzgl. der Referenzsterne sowie die Keplerelemente seiner vermuteten Bahn werden herangezogen, um das Objekt in extern und intern erstellten Katalogen zu suchen [3]. In diesen Katalogen werden die Satellitenbahnelemente meist im »Two Line Elements Format (TLE)« kodiert. Mit Hilfe der TLE ist es möglich, Keplerelemente und Satellitenpositionen mit einem Propagationsmodell für einen beliebigen Zeitpunkt zu berechnen, ohne dass aufwändige numerische Bahnintegrationsberechnungen durchgeführt werden müssen.

Von Juni 2008 bis Oktober 2010 wurden in 186 Nächten mehr als 2000 nicht-stellare Objekte auf den Aufnahmen gefunden [4]. Von diesen waren fast 1000 Objekte in keinen externen Katalogen (USSpaceCom Katalog des US Space Surveillance Network, DISCOS-Katalog der ESA) verzeichnet. Die schwächsten Objekte weisen eine Helligkeit von 16^m5 auf. Noch lichtschwächere Objekte können wegen des starken Streulichts der umliegenden Städte Bern und Thun nicht detektiert werden. In einer klaren Winternacht können mehrere

tausend Bilder aufgenommen werden. Als Beispiel sei der 19.1.2010 erwähnt: In dieser Nacht wurde während zwölf Stunden der Himmel nach Objekten im geostationären Ring abgesucht. Auf 4542 CCD-Bildern wurden 714 Objekte gefunden, von denen 69 in keinem Katalog verzeichnet waren.

Weltraumschrottsuche nicht nur für Profis

Die Suche nach Weltraumschrott ist auch Amateuren möglich, die über ein ähnliches Instrumentarium verfügen. Die Kosten für Kuppel, Montierung, Optik und CCD-Kamera betragen für ZimSMART ca. 50000€. Am einfachsten ist die Suche nach Objekten im geostationären Ring. Die scheinbare Helligkeit der größeren Kommunikationssatelliten wie Astra erreicht etwa 12^m, die Helligkeit von Meteosat mit einem Durchmesser von 2m beträgt rund 15^m. Geostationäre Objekte bewegen sich nur sehr langsam relativ zum Beobachter, daher muss das Teleskop nicht nachgeführt werden. Die Relativgeschwindigkeit verschwindet für ein Objekt in einer »idealen« geostationären Bahn. Gravitative und nicht-gravitative Störkräfte bewirken jedoch ein ständiges Abdriften von der idealen Bahn. Werden die Bahnen geostationärer Objekte nicht laufend korrigiert, können nach mehreren Jahren Bahnneigungen von bis zu 15° auftreten. Möchte man den gesamten geostationären Ring nach Objekten absuchen, muss daher in einem Deklinationsstreifen von ±15° rund um den Himmelsäquator gesucht werden. Die Objekterkennung und Berechnung der Objektpositionen kann mit den gleichen Hilfsmitteln erfolgen wie mit jenen, die bei der Suche nach Kleinplaneten üblicherweise verwendet werden. Die Objektidentifikation gestaltet sich etwas schwieriger. Es gibt jedoch frei ver-

fügbare Hilfsroutinen, die es erlauben, aus den TLE die Positionen von katalogisierten Objekten für einen bestimmten Aufnahmezeitpunkt zu berechnen (vgl. Surftipps). Eine Beteiligung am Suchprogramm des AIUB wäre nach Prüfung der Qualität der Aufnahmen möglich.

- [1] Schildknecht, T. et al.: Optical observations of space debris in GEO and in highly-eccentric orbits, *Advances in Space Research* 34, 901 (2004)
- [2] Schildknecht, T., Musci, R., Flohrer, T.: Properties of the High Area-to-mass Ratio Space Debris Population at High Altitudes, *Advances in Space Research* 41, 1039 (2008)
- [3] Früh, C. et al.: Catalogue Correlation of Space Debris Objects, in *Proceedings of the Fifth European Conference on Space Debris*, Darmstadt, (2009)
- [4] Herzog, J. et al.: Build-up and maintenance of a catalogue of GEO objects with ZimSMART and ZimSMART 2, in *Proceedings of the 61st International Astronautical Congress*, Prag, (2010)

Surftipps

Universität Bern, Astronomisches Institut: www.aiub.unibe.ch/content/index_ger.html
 Space Situational Awareness (ESA): www.esa.int/SPECIALS/SSA/index.html
 USSTRATCOM Space Control and Space Surveillance: www.stratcom.mil/factsheets/USSTRATCOM_Space_Control_and_Space_Surveillance
 Kurze Einführung in TLE und Satellitenidentifikation: www.satobs.org/element.html
 Satellitenkatalog: celestrak.com
 Celestrak WWW Software Repository: celestrak.com/software
 ASCOM, Standards für die Astronomie: ascom-standards.org

KLEINplaneten beobachten und entdecken

Vom Stationscode bis zur Benennung eines Asteroiden

VON WOLFGANG RIES

Die Anzahl der kleinen Himmelskörper im Sonnensystem geht in die Millionen. Der Großteil davon sind die Kleinplaneten oder Asteroiden. Von ungefähr 270000 Kleinplaneten gilt die Bahn als gesichert, so dass sie eine Nummer erhalten haben. Einige weitere Hunderttausend Objekte haben aber noch eine zu ungenaue Bahn, um nummeriert zu werden. Jährlich kommen einige 10000 Neuentdeckungen dazu. Den Großteil davon finden die großen professionellen Suchprogramme. Aber auch Amateure haben noch die Chance zu Entdeckerehren zu kommen, auch wenn es immer schwieriger wird.



Zeitliche Abfolge einer Kleinplanetenentdeckung

1. Ein unbekannter Kleinplanet fällt beim Blinken einer Aufnahmeserie auf.
2. Ungefähr 3 Positionen des Kleinplanets werden vermessen und man bezeichnet ihn mit 6 bis 7 frei wählbaren Buchstaben und/oder Ziffern z.B. ALT001 und schickt den MPC-Report an das MPC.
3. Wenn die nächsten Nächte klar sind, sollte man wieder auf die mögliche Entdeckung halten.
4. Man vermisst den KP erneut und bezeichnet ihn anders als im ersten MPC Report, z.B. ALT002.
5. Am MPC werden die Messungen aller Kleinplanetenstationen gesammelt und ausgewertet. Wenn man Glück hat, ist man der erste, der Messungen des neuen Kleinplanets eingeschickt hat.
6. Das MPC schickt ein Mail mit z.B. ALT001 2011 XY.
7. Damit ist man offizieller Entdecker des Asteroiden mit der vorläufigen Bezeichnung 2011 XY.
8. In den Folgejahren wird 2011 XY laufend vom Entdecker oder anderen Kleinplanetenstationen vermessen. Nach ca. 4 Oppositionen ist die Bahn hinreichend genau bekannt, dass 2011 XY eine Nummer vom MPC erhält.
9. Ab der Nummerierung hat der Entdecker für zehn Jahre das Namensvorschlagsrecht
10. Namensvorschläge reicht man in einer genau definierten Form beim MPC ein. Ein paar mal im Jahr werden diese Vorschläge bearbeitet und die neuen Benennungen veröffentlicht.

Der zukünftige Entdecker sollte sich mit den Hauptgürtel-Asteroiden (Main Belt Asteroids, MBA) befassen. Sie machen den Großteil der bekannten Kleinplaneten aus. Ihre Bahn verläuft zwischen der Mars- und Jupiterbahn. Durch die langsame scheinbare Geschwindigkeit am Himmel kann man in der Regel ein paar Minuten belichten, ohne dass die Objekte auf den Aufnahmen als Strich dargestellt werden. Für die besseren Entdeckungschancen spricht auch ihr bevorzugter Aufenthalt in der Nähe der Ekliptik. Wer seinen eigenen Kleinplaneten entdecken will, hält sich also an diese Objektklasse. Andere exotische Kleinkörper-Entdeckungen durch Amateure sind meist Zufallsentdeckungen. Near Earth Objects (NEOs) sind Kleinplaneten, deren Bahn der Umlaufbahn der Erde um die Sonne nahe kommt. Im extremsten Fall kann das zu einem Einschlag auf der Erde führen. Hauptaufgabe der professionellen Suchprogramme ist die NEO-Suche, um potenziell gefährliche Asteroiden (Potential Hazardous Asteroids, PHA) zu finden. Da diese Suchprogramme automatisch ablaufen, werden NEOs heute kaum noch von Amateuren entdeckt. Die Hobbyastronomen liefern jedoch wertvolle astrometrische Daten in den ersten Stunden und Tagen nach der Entdeckung eines neuen NEO.

Chancen auf eigenen Fund

Helle Objekte gibt es im Hauptgürtel nicht mehr zu entdecken. Der Großteil der in den letzten Jahren entdeckten MBA war um die 20^m hell oder lichtschwächer. Daraus ergeben sich auch die Anforderun-

gen an die Ausrüstung: Unter dunklem Himmel sollten es schon 300mm Öffnung oder mehr sein, um nicht zu viele fruchtlose Nächte investieren zu müssen. Die Kamera mit guter Quanteneffizienz sollte auch über einen möglichst großen Chip verfügen, um ein großes Gesichtsfeld abzudecken.

Die Aufnahmefelder sollten in der Nähe der Ekliptik liegen. Die Asteroidendichte ist einige Grad um die Ekliptik am höchsten. Außerdem sollte man sternreiche Gegenden meiden. In der Sommer- oder Wintermilchstraße sind die Kleinplaneten beim Blinken schwer zu entdecken. Außerdem werden sie sehr oft von hellen Sternen überstrahlt und sind damit nicht astrometrisch zu vermessen. Die meisten Entdeckungen erfolgen daher vom Herbst bis in den Frühling, bei einem hohen Stand der Ekliptik und langen Nächten.

Neu gestartete Suchen sollten um Mitternacht in östliche Richtung erfolgen. Die Hauptgürtel-Asteroiden sind ca. zwei bis drei Monate um ihre Opposition am besten zu beobachten. Daher kann man den Bahnbogen eines um Mitternacht in südöstlicher Richtung entdeckten Kleinplaneten in den nächsten zwei bis drei Monaten gut verlängern. Das hilft dabei, die Entdeckung in der nächsten Opposition, die bei den MBA in ca. 16 Monaten erfolgt, wieder zu finden. Kurze Bahnbögen unter 30 Tagen führen dazu, dass die entdeckten Kleinplaneten in der nächsten Opposition oft nicht an den vorausberechneten Orten zu finden sind. Da ein Kleinplanet in mindestens vier Oppositionen vermessen werden muss, um seine Bahn sicher genug für eine Nummerierung zu bestimmen, verliert man im besten Fall nur Zeit, bis

die Entdeckung endgültig gesichert ist. Im schlimmsten Fall geht die Entdeckung verloren.

Bei den NEO muss man noch schneller handeln, da sie in kurzer Zeit die Erde passieren. Da NEO in Erdnähe relativ hell werden können, finden sich oft auch Objekte, die mit kleineren Öffnungen vermessen werden können. Nachteilig auf die Reichweite der Optiken wirkt sich die oft hohe scheinbare Geschwindigkeit der NEO aus. Wenn man nur ein paar Sekunden belichten kann, damit das NEO noch punktförmig auf der Aufnahme erscheint, drückt das die erreichbare Grenzgröße gegenüber einem Hauptgürtelasteroid gewaltig.

Eigenes Suchprogramm

Um beim Start eines eigenen Suchprogramms nicht wahllos Himmelsgegenden aufzunehmen, kann man auf nicht nummerierte Kleinplaneten zielen. So hat man in den meisten Fällen zumindest einen Kleinplaneten auf den Aufnahmen, den man vermessen kann. Damit leistet man einen Beitrag zur Nummerierung eines Kleinplaneten. Außerdem finden Astrometrie-Programme mit der Angabe einer Kleinplanetenbezeichnung die passenden Referenzsterne zu der Aufnahmeserie, sonst müsste man die Koordinaten eintippen, was länger dauert und auch fehleranfälliger ist. Wenn man Glück hat, befinden sich ein oder mehrere neue Kleinplaneten im Gesichtsfeld. Diese werden mit einer eigenen Bezeichnung versehen (vgl. Kasten).

Erfolgreiche Entdeckungen ziehen immer einen Schwall Folge-Beobachtungen nach sich, um die Bahn zu verbessern. So

◀ **Abb. 1: (347) Pariana (Strichspur rechts oben) beim Galaxienpaar NGC 5363/64.** Auch auf Aufnahmeserien für Astrofotografien lassen sich Kleinplaneten entdecken. 18"-Newton bei 1600mm, ST10-XME, 114min (L), 70min (je RGB) in einer zweiten Nacht.

Minor Planet Center

Das Minor Planet Center (MPC) ist die offizielle Organisation für die Sammlung, Auswertung und Veröffentlichung von Daten über Kleinplaneten (Asteroiden) und Kometen. Es bestätigt die Neuentdeckungen von Kleinplaneten und Kometen. Das MPC arbeitet unter der Schirmherrschaft der Internationalen Astronomischen Union (IAU). Sämtliche von Profis oder Amateuren gewonnenen astrometrischen Daten von Kleinkörpern werden an das MPC gemailt. Dort werden daraus Bahndaten der Objekte berechnet.

Das Bahnarchiv des MPC meldete am 19. März 2011 547187 Bahnen. 269644 davon stammen von nummerierten Kleinplaneten, bei den restlichen 277543 bestehen noch Unsicherheiten bei der Bahn.

bekommt man immer genug Aufnahme­serien, die man astrometrisch auswerten kann. Astrofotografen können auch ihre Belichtungsreihen von Deep-Sky-Motiven nach Kleinplaneten absuchen. So

entdeckte ich meine ersten beiden Kleinplaneten auf einer Aufnahmeserie der Galaxie NGC 3628 im Sternbild Löwe. Sie blieben nicht die einzigen auf diese Weise entdeckten Kleinplaneten. Jede Aufnahmeserie, die länger als 40 Minuten ein Himmelsfeld abdeckt, kann nach unbekanntem Kleinplaneten abgesucht werden. Manchmal findet man auch etwas exotischere Asteroiden auf den Aufnahmen. NEO-Entdeckungen sind sehr selten. Etwas häufiger entdeckt man Marsbahnkreuzer oder Jupiter-Trojaner.

Für Beobachtungen von NEO gibt es auf der Homepage des Minor Planet Center (MPC) die »NEO confirmation page«. Dort wird zur Beobachtung von als NEO verdächtigen Objekten aufgerufen. Hier kann man sich die Positionen, die Helligkeit und die scheinbare Geschwindigkeit am Himmel für die eigene Beobachtungsstation anzeigen lassen. Man wählt solche Objekte zur Beobachtung, die mit der zur Verfügung stehenden Ausrüstung möglich sind.

Astrometrie

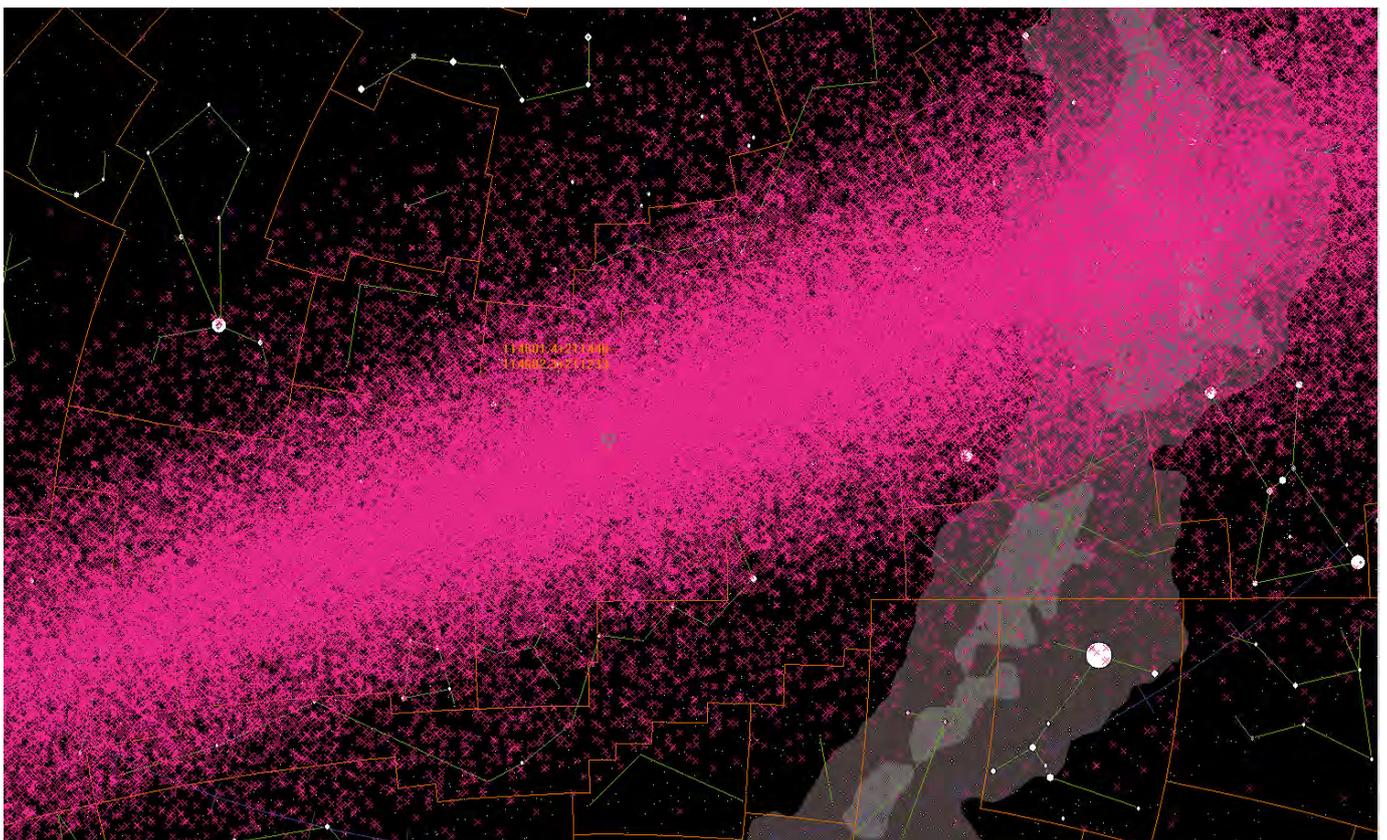
Vereinfacht gesagt wird die Positionsbestimmung von Himmelskörpern Astrometrie genannt. Durch diese Positionsbestimmungen bei ebenfalls protokollierten Zeitpunkten können die Bahnen der Klein-

planeten im Sonnensystem berechnet werden. Das war in der Ära vor dem PC sehr aufwändig und wurde daher hauptsächlich von Profiastronomen betrieben. Heute ist die Astrometrie von Kleinplaneten eine Sache von wenigen Mausklicks und von jedem Amateur mit wenig Zeitaufwand zu erlernen. Hier endet auch schon die Arbeit für den Kleinplanetenbeobachter, für die Bahnberechnung mit den astrometrischen Daten ist ausschließlich das MPC zuständig.

Um astrometrisch arbeiten zu können, braucht man eine astrofotografische Ausrüstung mit einer CCD-Kamera. Außerdem muss man die Koordinaten seines Beobachtungsortes kennen. Das MPC empfiehlt dazu Google Earth. Außerdem muss der Aufnahmezeitpunkt auf die Sekunde genau bekannt sein. Man kann dazu eine Funkuhr an den Aufnahmerechner anschließen oder mit geeigneten Freeware-Programmen wie z.B. Time Memo über das Internet die Zeit synchronisieren. So wird die genaue Uhrzeit im Header der CCD-Aufnahme automatisch mit abgespeichert.

Die gewonnenen Aufnahmen werden mit einer geeigneten Aufnahmesoftware ausgewertet. Viele Bildbearbeitungsprogramme haben Werkzeuge für astrometrische Arbeit in ihren Menüs enthalten.

Abb. 2: Kleinplaneten (rosa markiert) am Frühlingshimmel. Die größte Dichte, und damit die Chance auf eigene Entdeckungen, tritt entlang der Ekliptik auf. Dargestellt mit dem Programm Guide.



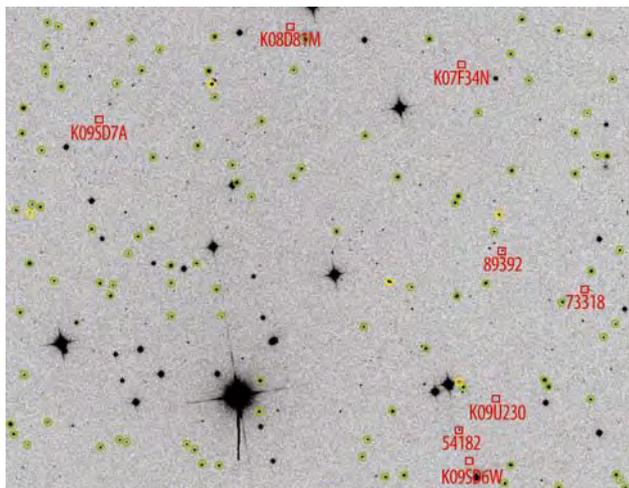


Abb. 3: Auswertung einer Aufnahme mit dem Programm Astrometrica. Referenzsterne sind grün markiert. Die errechneten Positionen von bekannten Kleinplaneten werden mit roten Quadraten angezeigt.

Bei den Mitgliedern der Fachgruppe Kleine Planeten wird aber fast ausschließlich mit der Spezialsoftware Astrometrica des Linzers Herbert Raab gearbeitet (vgl. Surfipps). Dieses kostengünstige Programm enthält alles was das Auswerten von Aufnahmen leicht und effizient macht. Ein großer Vorteil ist auch die deutschsprachige Unterstützung durch den Programmierer oder die vielen Anwender in der Fachgruppe. Jede Astrometrie-Software braucht einen Sternkatalog mit den Referenzsternen. Mit Astrometrica und einem Internetanschluss können die für die Aufnahme benötigten Daten aus dem Netz hochgeladen werden. Man kann also sofort starten und muss sich nicht diese umfangreichen Kataloge über DVD oder externe Festplatten zuladen.

Der Stationscode

Um astrometrische Messungen melden zu können, muss man zunächst für seinen Beobachtungsplatz einen Stationscode vom MPC anfordern. Günstig ist natürlich, wenn sich der Platz an einem dunklen Ort befindet. Wer mit transportablem Gerät arbeitet, muss immer von diesem Ort aus arbeiten und darf nicht einige Hundert Meter davon abrücken – ein Standortwechsel ist immer mit einem neuen Stationscode verbunden. Der Stationscode ist somit für das MPC ein nachvollziehbarer geographischer Ort mit einer nachgewiesenen Messgenauigkeit des Beobachters. Diese Messgenauigkeit beweist man mit dem ersten MPC-Report, in dem man bereits bekannte nummerierte Kleinplaneten vermisst. Dazu macht man von ungefähr drei nummerierten Klein-

planeten mit unterschiedlicher Helligkeit jeweils drei Aufnahmen. Dabei ist die Belichtungszeit so zu wählen, dass die Kleinplaneten trotz Eigenbewegung noch punktförmig abgebildet werden. Bei den meisten Kleinplaneten zu Zeiten der Opposition sind 5min ein Orientierungswert. Zwischen den Aufnahmen soll mindestens eine halbe Stunde vergangen sein, damit sich der Kleinplanet auf der Aufnahme auch ein Stück weiterbewegt hat. In einer kurz darauf folgenden Nacht wiederholt man die Aufnahmen mit den gleichen Kleinplaneten.

Für die Vermessung der Kleinplaneten werden jeweils die drei Aufnahmen einer Nacht in Astrometrica geladen. Aus dem Header der CCD-Aufnahme weiß das Programm das genaue Datum und die Uhrzeit. Andere Grundparameter wie die Standortkoordinaten, die Pixelgröße, Optikgröße und Brennweite, E-Mail-Adresse, verwendeter Sternkatalog hat man schon vorher einmal eingegeben, sie bleiben permanent gespeichert. Man braucht deshalb nur noch die Nummer des Kleinplaneten eingeben und Astrometrica sucht aus dem Sternkatalog die passenden Referenzsterne und vergleicht sie mit den eingespielten Aufnahmen. Ein weiterer Klick lässt die Position aller bekannten Kleinplaneten erscheinen.

Nun kann man die Aufnahmen »blenden«: Durch das schnelle, wiederholte Überblenden der drei Aufnahmen sieht man die Fixsterne auf ihrer Position verharren, während bewegliche Objekte, wie die Kleinplaneten, ein kleines Stück auf den Aufnahmen weitergewandert sind. Diese hüpfenden Punkte fallen sofort auf. Man klickt sie nur noch an und die Soft-

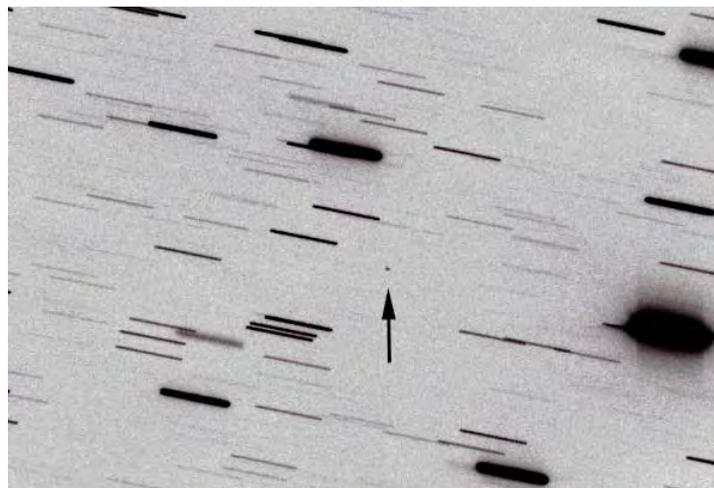


Abb. 4: Der NEO 2006 BQ6. 36 Aufnahmen zu 100s wurden in Astrometrica überlagert. Dadurch erscheinen der NEO punktförmig und die Sterne als Strichspuren.

ware vermisst den Kleinplaneten automatisch. Neben den Objektmessdaten wie Koordinaten, Zeitpunkt und Helligkeit wird auch gleich die Nummer oder die Bezeichnung des Objekts vorgeschlagen.

Messungen melden

Mit einem Klick bestätigt man die Messung und die Messdaten werden automatisch in den MPC-Report geschrieben. Nachdem man das für alle drei Objekte getan hat, kann man den erstellten MPC-Report direkt aus Astrometrica an das MPC mailen. Bei der ersten E-Mail an das MPC trägt man vorher bei den Grundeinstellungen statt des Stationscodes, der immer aus drei Ziffern bzw. Buchstabe mit zwei Ziffern besteht, ein »XXX« ein. Außerdem darf man sich einen Namen für die eigene Station ausdenken. Wenn die Messgenauigkeit dem MPC genügt, erhält man in den folgenden Tagen eine E-Mail vom MPC mit dem Stationscode. Diesen speichert man nun in Astrometrica anstatt des »XXX«. Damit steht weiteren Kleinplanetenmessungen nichts mehr im Wege und man kann sich Gedanken über das eigene Beobachtungsprogramm machen.

Als Lohn für die Vermessung von NEO von der NEO confirmation page winkt ein Eintrag in ein Minor Planet electronic circular (MPEC), also in einer wissenschaftlichen Publikation. Diese kann man sich ebenfalls auf der MPC-Homepage ansehen. Neben den NEO von der NEO confirmation page gibt es auch viele länger bekannte NEO, deren Bahnen weiter verbessert werden müssen. Das Vermessen dieser NEO ist weniger spektakulär,

aber nichtsdestotrotz sehr wichtig. Beobachtungsvorschläge finden sich ebenfalls auf der Homepage des MPC.

Hotpixel oder Kleinplanet?

Wo gearbeitet wird, passieren Fehler. Es gibt einige Stolpersteine bzw. Objekte, über die der Autor bzw. Fachgruppenmitglieder auch schon gefallen sind. Zeitfehler treten besonders häufig bei den Zeitumstellungen Sommer-Winterzeit auf. Im MPC-Report erfolgen alle Angaben in Universal Time (UT). Der Offset beträgt zur Winterzeit minus eine Stunde bzw. minus zwei Stunden zur Sommerzeit. Diesen Offset muss man bei den Einstellungen in Astrometrica einstellen. Die Umstellung vergisst man gerne. Vermeiden kann man das, indem man den Aufnahme-Computer auf UT einstellt bzw. die automatischen Zeitumstellungen

ausschaltet. Seit mein Sternwartenrechner UT anzeigt, blieben die regelmäßigen Mails im Frühling und Herbst vom MPC aus, in denen ich auf Zeitfehler meiner Messungen hingewiesen wurde.

Hotpixel und andere Artefakte in den Aufnahmen können leicht Kleinplaneten vortäuschen, besonders wenn Aufnahmen zur Verbesserung des Signal-zu-Rauschverhältnisses überlagert werden. Da Astrometrica ein Stacken auf bewegte Objekte anhand der Geschwindigkeit und des Positionswinkels erlaubt, können manche Bildfehler hüpfenden Kleinplaneten beim Blinken ähneln. Daher blinkt man wenn möglich drei Aufnahmen bzw. drei Summenbilder, wobei jedes Summenbild aus unabhängigen Aufnahmen bestehen soll. Damit lassen sich »künstliche Kleinplaneten« leicht herausfiltern, da sie gegenüber echten Kleinplaneten oft nur auf zwei Bildern erscheinen.

Spätestens wenn man den vermeintlichen Kleinplaneten in den folgenden Nächten nicht mehr findet, sollte man sich eingestehen, dass man eventuell auf ein Hotpixel hereingefallen ist. Hotpixel in der Nähe von realen Kleinplaneten können aber auch die Messung stören. Das Messzentrum und damit die Koordinaten der Messung werden verzerrt. Solche Fehlmessungen werden bei drei Messungen pro Asteroid vom MPC erkannt, da sie nicht zusammenpassen, und nicht angenommen. Macht man nur zwei Messungen, ist die Wahrscheinlichkeit, dass man einen Fehler in die Bahnberechnung einbringt um einiges höher. Astrometrica unterstützt zwar den Anwender bei der Identifizierung bekannter Kleinplaneten. Besonders nicht nummerierte Kleinplaneten erscheinen aber oft ein Stück von der vorhergesagten Position. Beim leisesten Zweifel sollte man daher immer

Wie kann man Kleinplaneten fotografisch entdecken?

Seit vielen Jahrzehnten werden Kleinplaneten ausschließlich fotografisch entdeckt. Die Entdeckungsrate ist hoch und liegt bei über 100 Asteroiden pro Tag. Dies ist vor allem die Folge der automatischen Suchdienste, die den Himmel nach Kleinkörpern durchmustern, welche der Erde gefährlich werden können. Die automatischen Durchmusterungen arbeiten sehr gründlich, so dass es für Amateure schwieriger geworden ist, Kleinplaneten zu entdecken. Besonders stark wirkt sich dies auf das benötigte Instrumentarium aus, denn Neuentdeckungen liegen meist jenseits der 20. Größenklasse: 12 Zoll Öffnung sind die Untergrenze und eine durchgehende Computerunterstützung unverzichtbar. Aufgenommen wird mit elektronischen Kameras auf Basis der CCD-Technik.

Die Aufnahmen

Die Suche nach Planetoiden beginnt mit der Auswahl der zu durchmusternden Himmelsgebiete. Man sollte Areale bevorzugen, die von den automatischen Durchmusterungen gemieden werden. Kürzlich

beobachtete Gebiete sollten ausgeschlossen werden, ebenso Gegenden, die zu nahe an der Milchstraße liegen oder vom lokalen Horizont beeinflusst werden.

Aus den Eigenschaften von Himmelsgüte, Instrument und Kamera ergibt sich die benötigte Belichtungszeit. Da sich Kleinplaneten gegenüber den Sternen bewegen, ist eine Erhöhung der Grenzgröße durch verlängerte Belichtung nur so lange möglich, wie der Asteroid praktisch punktförmig bleibt. Das ist der wichtigste Grund dafür, dass kleine Instrumente nicht eingesetzt werden können.

Aus den zu fotografierenden Abschnitten ergibt sich das Beobachtungsprogramm für die Nacht. Die Himmelsgebiete werden in sich überlappende CCD-Felder aufgeteilt. Machbar ist ein Gebiet von etwa $2^\circ \times 2^\circ$ in einer Nacht. Nachdem ein Feld des Gebietes belichtet wurde, wechselt man zum benachbarten Feld und wiederholt die gesamte Serie mit denselben Feldern zwei oder drei Mal. Mit computergesteuerten Instrumenten kann die gesamte Aufnahmefolge vollautomatisch ablaufen.

Aufbereitung der Bilder

Zunächst müssen die Aufnahmen der normalen Vorverarbeitung unterworfen werden: Berücksichtigung des Dunkelfeldes (»dark field«), der Vignettierung (»flatfield«) sowie den Eigenschaften des Ausleseverstärkers (»bias«). Zudem sollten defekte Pixel der Kamera (»hot pixels«) entfernt werden. Dann werden die Aufnahmen koordinatenmäßig an einen Sternkatalog angeschlossen. Zur Auswertung der Aufnahmen hat sich das Programm »Astrometrica« bewährt.

Die Suche nach verdächtigen Objekten

Das Prinzip der Objekterkennung liegt in der Benutzung von Vergleichsaufnahmen. Die klassische Methode ist das »Blinken«: Suchbild und Referenzbild werden optisch übereinandergelegt und kurz nacheinander angezeigt. Objekte, die nur auf einem der Bilder vorhanden sind, »blinken« auf. Mit elektronischen Bildern kann dieses Verfahren deutlich verbessert werden: Man arbeitet mit einem sogenannten Differenzbild. Dazu müssen die Bildgröße und Orientierung der bei-

eine eigene Bezeichnung vergeben und so die Messung an das MPC schicken. Die Zuordnung der Messungen erledigt das MPC automatisch. Für die Mitarbeiter des MPC ist es viel mehr Arbeit, falsche Zuordnungen zu korrigieren.

Neben den Kleinplaneten ziehen noch andere Objekte ihre Bahn am Himmel. So verfolgte ich einmal stundenlang ein schnelles NEO ähnelndes Objekt. Es stellte sich dann als das Chandra X Ray Observatory heraus. Einem Fachgruppen-Kollegen ging einmal ein seltsamer Kleinplanet ins Netz, der sich später als ein schon bekannter Jupitermond herausstellte: Also Vorsicht bei Messungen in der Nähe der großen Planeten. Solche kleinen Pannen sollten aber niemand von der Astrometrie abhalten. Schlimmstenfalls bekommt man eine Mail vom MPC, in der man auf den Irrtum aufmerksam gemacht wird.

Die Zukunft der Kleinplaneten-Beobachtung

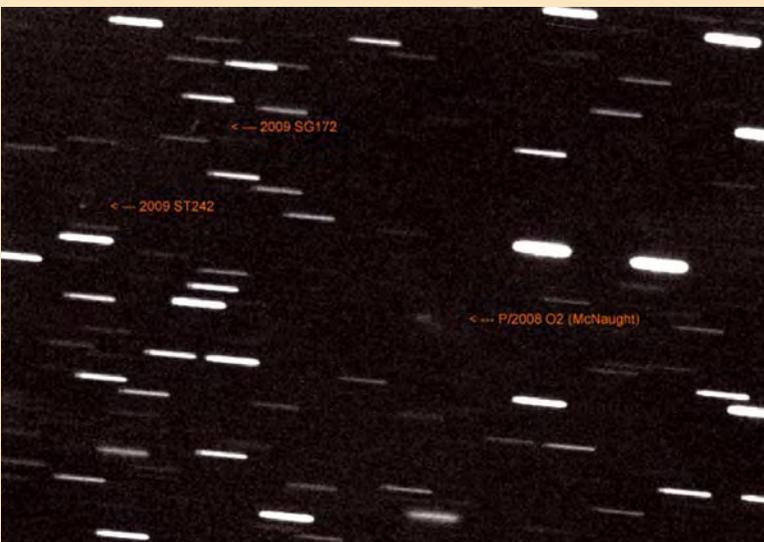
Totgesagte leben länger. So schwebt seit einigen Jahren das Projekt Pan-STARRS über den Amateurbeobachtungen: Eine Grenzgröße um 23^m5 und Abdeckung des gesamten Himmels mehrere Mal im Monat wären wohl das Aus für Amateurentdeckungen. Bis jetzt sind Entdeckungen noch möglich, da sich das Projekt laufend verzögert. Die ersten Testläufe von Pan-STARRS laufen aber nun. Außerdem erfolgte 2010 die Abschaffung einer bevorzugten Bearbeitung von Amateurbeobachtungen und eine Gleichbehandlung mit den großen Datenpaketen der professionellen Suchprogramme. Damit sank die Erfolgchance für eine Amateurentdeckung stark. Wer also seinen eigenen Kleinplaneten entdecken will, sollte sich beeilen. Wer weiß, wie lange das noch möglich ist.

Surftipps

Astrometrica: www.astrometrica.at
NEO Confirmation Page:
www.minorplanetcenter.org/iau/NEO/ToConfirm.html
NEO Minor Planet Electronic Circular:
www.minorplanetcenter.org/mpec/RecentMPECs.html
Beobachtungsvorschläge: ubasti.cfa.harvard.edu/~cgi/NEAObs
Pan-STARRS: pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/home.html
Fachgruppe Kleinplaneten:
www.kleinplanetenseite.de
Sternwarte Seng (Observatorium A44 Altschwendt): members.infodat.at/Sternwarte_Seng/index.htm

von Uwe Pilz

PRAXISWISSEN



Entdeckungsaufnahme des Asteroiden 2009 ST242. Bildgröße: 25,5' × 17,4'. Mit im Bild ist 2009 SG 172 und Komet P/2008 O2 McNaught. 305mm-SCT bei 1723mm, ST-10, 24×5min.

den Bilder mit hoher Genauigkeit angeglichen werden. Mit elektronischen Hilfsmitteln ist dies subpixelgenau möglich. Bei der Erzeugung des Differenzbildes müssen unterschiedliche Hintergrund-

oder Kometen handelt. Basis dieses Arbeitsschrittes ist eine genaue Positionsbestimmung und Helligkeitsmessung. Auch dieser gesamte Auswertekomplex wird durch »Astrometrica« gut unterstützt.

helligkeiten und verschiedenes Rauschen so aneinander angepasst werden, dass die gesamte Differenz minimal wird. Da diese Einflüsse an verschiedenen Bildstellen unterschiedlich stark sein können, wird das Verfahren in kleineren Bildbereichen getrennt angewendet.

Die Treffer im Differenzbild müssen nach dem Ausschlussverfahren untersucht werden, ob es sich bei den erkannten Objekten um Veränderliche Sterne oder bekannte Asteroiden

Für den letzten Ausschluss bekannter Kleinplaneten bietet das Minor Planet Center (MPC) ein Prüfprogramm an.

Untersuchung der Kandidaten

Die verbleibenden Objekte werden nun auf Bewegung geprüft. Aus diesem Grund werden von jedem Himmelsgebiet mehrere Aufnahmen angefertigt. Wenn keine Bewegung festgestellt wird, dann ist es doch irgendeine Art von variablem Stern. Ansonsten hat man es mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einem neuen Kleinplaneten zu tun. Um eine provisorische Bahn zu bestimmen, ist die Beobachtung in einer zweiten Nacht erforderlich.

Das MPC akzeptiert Meldungen über neue Asteroiden ausschließlich von registrierten Beobachtern. Wer den Entdeckerruhm ernten will, muss also einige Zeit mit der Astrometrie verbringen und die Qualität der eigenen Arbeit belegen. Erst dann erhält man ein Beobachterkürzel. Seit 2010 ist es zudem schwieriger geworden, als Entdecker benannt zu werden.

DIE Kohoutek-KOMETEN

Meine fünf Hamburger Entdeckungen

VON LUBOŠ KOHOUTEK

Kometen-Entdeckungen von Deutschland aus sind heute zur Ausnahme geworden. Doch in den 1970er Jahren gelang es, mehrere Kometen von Hamburg aus zu entdecken – einer davon (Bild) erlangte sogar kurz Berühmtheit.

PALOMAR-OBSERVATORIUM

Abb. 2: Der Große Schmidtspiegel der Sternwarte Bergedorf mit einer Öffnung von 800mm und einem Spiegeldurchmesser von 1200mm und einer Brennweite von 2400mm.



W. DEKOVOS

Abb. 1: Komet 1973f am 12.1.1974 fotografiert mit dem 48"-Schmidt-Teleskop des Palomar-Observatoriums, von Journalisten damals als »Komet des Jahrhunderts« ausgerufen.

Meine astronomische Laufbahn begann bereits als Schüler, als ich mit einem 55mm-Refraktor die Sonne beobachtete und Sonnenflecken zählte. Später wechselte ich zur Meteor-Astronomie, wo ich im Rahmen meines Studiums in Prag auch meine Diplomarbeit schrieb. Noch in Prag begann ich mich für interstellare Materie insbesondere Planetarische Nebel zu interessieren, aber Meteore und Kometen habe ich nicht vergessen. Als ich 1970 zur Sternwarte Hamburg-Bergedorf kam, stand mir mit dem Großen Schmidtspiegel ein ideales Gerät zur Kometensuche zur Verfügung.

Eine ungewöhnliche Entdeckung

Nach dem Umzug 1970 von Prag nach Hamburg habe ich auf der Sternwarte in Bergedorf mit dem Großen Schmidtspiegel gearbeitet (Abb. 2) und mich wie früher hauptsächlich mit Planetarischen Nebeln beschäftigt. Auf einer Spektralaufnahmen eines Planetarischen Nebels habe ich im Juli 1969 zufällig eine Spur eines unbekanntes Objektes 14. Größenklasse gefunden, das sich als ein neuer Komet herausstellte – vorläufige Bezeichnung 1969b (=C/1969 O1). Diese Entdeckung auf einer Spektralaufnahme war ungewöhnlich.

Zwei Jahre später habe ich mit Hilfe der Schmidtamera einen Rest des Kometen Biela gesucht, der im Jahre 1852 zerfallen ist und seitdem

Der Hamburger Schmidtspiegel

Alle Entdeckungen fanden mit dem Großen Schmidtspiegel in Bergedorf statt. Die Beobachtungsbedingungen (Himmelshintergrund) haben sich allerdings auch in Bergedorf zwischen der Aufstellung im Jahre 1954 und seiner Abmontierung im Jahre 1975 verschlechtert. Da damals noch Fotoplatten

verwendet wurden, konnte man den Himmelshintergrund nicht wie jetzt bei der CCD-Technik abziehen. Hauptsächlich aus diesem Grund wurde die Schmidt-Kamera abmontiert und 1980 auf dem Calar Alto installiert.

Eine Schmidtamera ist für die Suche nach Kometen günstig, weil sie ein re-

lativ großes Feld hat. Während die jetzigen CCD-Systeme, die allerdings eine beträchtliche Grenzgröße erreichen, in der Regel ein Feld von nur einigen Bogenminuten haben, hatte die Schmidtamera in Bergedorf ein Feld der Größe von 5°x5°. Eine Voraussetzung für die Auswertung eines so großen Felds allerdings war, nicht

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterver-



Abb. 3: Komet 1973e. Entdeckungsaufnahme vom 27./ 28.2.1973. 2x7min mit einer Pause von 31min und Versetzung der Kassette auf Kodak II-O.

nicht mehr gesehen wurde. Brian Marsden, damals Leiter des IAU Zentrums für astronomische Telegramme in Cambridge (USA), hatte Suchephemeriden für diesen Kometen veröffentlicht. Der Komet oder sein Rest sollte im Jahre 1971 eine günstige Position für seine Wiederentdeckung haben. Im Oktober 1971 habe ich die angegebenen und wahrscheinlichsten Positionen mit fünf Feldern der Schmidtamera fotografisch abgedeckt.

Die Kometen Nummer 2, 3, 4 und 5

In den fünf Feldern habe ich einige Dutzend Kleinplaneten gefunden. Um ihnen permanente Nummern geben zu können, musste man sie noch in der nächsten Opposition beobachten. Deswegen habe ich auch mehrere von diesen Kleinplaneten im Februar und März 1973 fotografiert.

nur die unmittelbare Umgebung des Objekts zu untersuchen, sondern die ganze Fotoplatte durchzusehen. Diese Tätigkeit war etwas mühsam und bedeutete mit Hilfe eines Mikroskops den Vergleich der Fotoplatte mit einem guten Sternatlas. Dazu verwendete man damals den Palomar Sky Survey. Die große Mehrzahl der Objekte auf der Platte (es handelte sich

Auf der Fotoplatte vom 27. Februar, die zweimal belichtet wurde (mit einer Unterbrechung), habe ich den zweiten Kometen gefunden (1973e = C/1973 D1, Abb. 3). Den dritten habe ich beim Fotografieren »meines« Planeten Nr.19 am 7. März 1973 zum ersten Mal gesehen (1973f = C/1973 E1, Abb. 5). Zwei Jahre später sind die letzten zwei Kometen dazu gekommen, 1975b und 1975c. Die Entdeckungsgeschichte der beiden Kometen ist kompliziert. Sie beginnt am 9. Februar 1975 mit der Entdeckung eines neuen Kometen in Bergedorf. Da das Wetter in dieser Zeit sehr schlecht war, konnte ich ihn nicht weiter verfolgen und die Richtung seiner Bewegung war zweideutig. Erst am 27. Februar konnte ich ihn erneut suchen und auch einen Kometen beobachten – ich dachte, dass er mit dem vom 9.2. identisch sei. T. Ikemura in Japan hatte Anfang März weitere Aufnahmen gemacht. Es zeigte sich aber, dass sein Komet identisch mit meinem vom 27.2., aber nicht mit dem vom 9.2. war. Letzterer war neu und bekam die Bezeichnung 75D/Kohoutek. B. Marsden berechnete, dass der Komet von Ikemura identisch mit einem Kometen war, der auf der Sternwarte La Silla (ESO, Chile) schon im Oktober 1974 fotografiert worden war. Die Platte war inzwischen zur Bearbeitung in Garching bei München und R. West hatte auf ihr diesen Kometen gefunden. Er heißt 76P/West-Kohoutek-Ikemura.

Die Übersicht meiner fünf Kometen ist in Tab. 1 zu finden, die auch die Parameter der Bahnen enthält. Während die Kometen 1975b und 1975c kurzperiodisch sind und ihre maximale Helligkeit niedrig ist, ist der Komet 1973f »neu« und seine Periode ist – nach dem Durchflug durch das innere Sonnensystem – etwa 75000 Jahre lang. Es hat sich gezeigt, dass er im Perihel der Sonne näher kommt (etwa 0,14 AE) als der bekannte Halleysche Komet. Das wusste man schon nach der Berechnung der er-

Abb. 4: Komet 1973e. Aufnahme mit Nachführung vom 7./8.3.1973. 10min auf Kodak 103a-O.

um tausende Objekte) war mit dem Atlas identisch. Darüber hinaus waren stark veränderliche Objekte, neue Objekte und natürlich Fehler auf der Platte. Was neue Objekte betrifft, war es nötig, die letzten IAU-Zirkulare durchzusehen und festzustellen, ob diese Objekte nicht bereits in der letzten Zeit entdeckt und gemeldet worden waren.

sten (parabolischen) Bahn aus drei Positionen, die ich noch im März gemessen und an die Zentrale in Cambridge geschickt hatte. Auch war es damals nicht ganz einfach, genaue Positionen zu bekommen. In der Umgebung des Kometen musste man dazu Vergleichssterne mit bekannten Koordinaten identifizieren (etwa fünf Sterne) und auf dem Messtisch die rechtwinkligen x-y-Koordinaten aller Objekte messen. Die konnte man auch damals schon mit Hilfe eines Computerprogramms in die sphärischen Koordinaten Rektaszension und Deklination umwandeln.

Unsichere Helligkeit von neuen Kometen

Bei der Bahnbestimmung eines Kometen gibt es fast keine Probleme. Es gibt aber große Unsicherheiten in der Helligkeitsvorhersage von Kometen, besonders bei neuen (nicht periodischen) Kometen. Die Helligkeit eines neuen Kometen kann man nur aufgrund von mittleren Parametern berechnen. Bei Komet 1973f haben sie zur Prognose geführt, dass er ein heller Komet werden könnte, sichtbar mit bloßem Auge. Ein Hauptparameter der Helligkeitsprognose ist eine Größe, die den Ausfluss der Gase und des Staubs aus dem Kometenkern bestimmt. Der Kern von 1973f war zu kompakt, zu wenig porös – der Ausfluss



aten Zwecken. Die Weiterverarbeitung ist untersagt.



Abb. 5: Komet 1973f. Entdeckungsaufnahme vom 7./8.3.1973. 2x7 Minuten mit 15,5min Pause auf Kodak 103a-O.

der Materie also unterdurchschnittlich. Es ist bekannt, dass sich ein Komet erwärmt, wenn er sich der Sonne nähert. Zuerst entsteht die Kometenkoma und etwa in einer Entfernung von der Sonne von 1AE bildet sich der Kometenschweif. Die Größe und die Helligkeit der Koma und des Schweifes sind maßgebend für die Erscheinung eines Kometen.

Die Vorhersagen der maximalen Helligkeit des Kometen 1973f waren sehr unterschiedlich, und es waren hauptsächlich die Journalisten, die eine zu optimistische Vorhersage verbreitet hatten. Später haben sie sich selbst gewundert und die Öffentlichkeit war leider enttäuscht.

Skylab beobachtet Komet 1973f

Die lange Zeit zwischen der Entdeckung des Kometen 1973f und seinem Periheldurchgang (etwa neun Monate) hatte eine negative Seite, denn es blieb Zeit für Spekulationen über seine maximale Helligkeit. Es gab aber auch eine positive Seite – es war möglich, verschiedene Beobachtungsprogramme auszuarbeiten. Fast jede große Sternwarte hatte eines für diesen Kometen. Von der NASA wurden sogar Beobachtungen in das Programm von SKYLAB aufgenommen und so war der Komet 1973f der erste Komet, der von einem Satelliten untersucht wurde.

Diesen Kometen habe ich auf der Sternwarte der ESO auf La Silla (Chile) im Januar 1974 beobachtet. In dieser Zeit hatte der Komet seinen Periheldurchgang zwar bereits hinter sich, aber er war der Erde näher (Entfernung etwa 120 Mio. Kilometer). Auch waren die Beobachtungsbedingungen auf der Südhalbkugel wesentlich günstiger als von Europa im Winter aus. Ich habe dort Spektren aufgenommen und lichtelektrische Photometrie durch verschiedene Filter gemacht – nahe dem Horizont sah ich ihn mit bloßem Auge. Aus dieser Zeit stammt auch die beste Aufnahme vom Kometen 1973f, die ich habe (Abb. 6).

Das Ende der Kometensuche

Nach dem Abzug des Schmidtspiegels waren Entdeckungen von Kometen in Bergedorf fast unmöglich – das Gesichtsfeld (einige Bogenminuten) der anderen Teleskope war zu klein. Außerdem war der Zugang zum Schmidtspiegel in Spanien viel beschwerlicher und die Platten konnte man nur für bestimmte Beobachtungsprojekte besorgen. In der Gegenwart sind Entdeckungen von Kometen auf Platten von weitwinkligen astronomischen Kameras sehr schwierig, fast unmöglich. Die meisten solcher Kameras sind nicht in Betrieb. Die noch vorhandenen Fotoplatten sind zu teuer, die elektronischen Chips in der Größe solcher Platten existieren noch nicht, und Plattensysteme sind einfach veraltet.

Weitwinklige Schmidt Kameras warten auf ihre spätere Benutzung. Vielleicht werden für gegenwärtige und zukünftige Durchmusterungen Teleskope und Systeme benutzt, wie das VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) oder seine optische Ergänzung VST (VLT Survey Telescope), die auf der ESO-Sternwarte auf dem Paranal (Chile) installiert sind. Sie werden auf elektronischer Basis arbeiten.

Auch der Große Schmidtspiegel aus Bergedorf – seit 1980 auf der Sternwarte Calar Alto in Spanien – ist meiner Kenntnis nach nicht in Betrieb. Im Jahre 1975 endete meine regelmäßige Arbeit mit dem Hamburger Schmidtspiegel und damit auch meine Kometenentdeckungen.

Abb. 6: Komet 1973f. Aufnahme vom 24.1.1974 von La Silla (ESO, Chile) aus in einem gemeinsamen Programm mit der Hamburger Sternwarte. 1m-Schmidtspiegel bei 3060mm, 15min auf Kodak II-O, GG 385-Filter.



Kohouteks Kometen									
Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Periheldurchgang	q	e	P	Perihel	Knoten	Neigung	Beobachtungen
1970 III = 1969b	C/1969 O1	21.3.1970	1,7191AE	0,9991	–	123,47	301,06	86,31°	210
1973 VII = 1973e	C/1973 D1	7.6.1973	1,3820AE	0,9987	–	74,86	164,12	121,61°	38
1973 XII = 1973f	C/1973 E1	28.12.1973	0,1424AE	1,0000	–	37,82	257,77	14,31°	597
1975 III = 1975c	75D/ Kohoutek	18.1.1975	1,5680AE	0,5371	6,23a	169,76	273,19	5,42°	25
1975 IV = 1975b	76P/ West-Kohoutek-Ikemura	25.2.1975	1,3983AE	0,5818	6,12a	358,01	84,66	30,08°	36

GEISTERHAFTES SCHALEN

Entdeckungen Planetarischer Nebel durch Amateurastronomen

VON MATTHIAS KRONBERGER

Planetarische Nebel gehören zu den faszinierendsten, aber auch komplexesten Gebilden des gestirnten Himmels und zählen aufgrund ihrer Formenvielfalt und unverwechselbaren Charakteristik zu den beliebtesten Zielen von visuellen und fotografischen Beobachtern. Derzeit sind knapp 3000 dieser Objekte in unserer Galaxis bekannt; bemerkenswerterweise wurden einige Dutzend davon nicht von Profiastronomen gefunden, sondern sind vielmehr Entdeckungen von Amateurastronomen.

Abb. 1: Der Seifenblasennebel Jurasevich 1 – der wohl bekannteste von einem Amateurastronomen entdeckte Planetarische Nebel.

T. A. RECTOR (UNIVERSITY OF ALASKA ANCHORAGE),
H. SCHWEIKER, WIYN, NOAO, AURA, NSF

Entdeckungsgeschichte Planetarischer Nebel

Die erste dokumentierte Beobachtung eines Planetarischen Nebels datiert auf den 12. Juli 1764 und stammt vom großen französischen Astronomen Charles Messier. Dieser stößt in jener Nacht auf einen unbekannteren »Nebel ohne Stern« im Sternbild des Fisches und weist ihm die Nummer

27 in seinem Katalog nebelhafter Objekte zu (Abb. 2). Klarerweise ist sich Messier der Tragweite seiner Beobachtung dabei nicht bewusst – nämlich, den ersten Vertreter einer neuen Objektklasse entdeckt zu haben; immerhin notiert er eine ovale Form und gibt eine Größe von 4' an.

Bis 1800 werden weitere 34 Objekte beschrieben, die sich später als Planetarische Nebel herausstellen. Abgesehen von den

drei weiteren im Messierkatalog enthaltenen Exemplaren M 57, M 76 und M 97 werden diese allesamt durch den deutsch-englischen Astronomen Wilhelm Herschel aufgefunden. Letztgenannter ist im Übrigen auch derjenige, der den Namen der Objektklasse prägte – in Anlehnung an das äußere Erscheinungsbild mancher dieser Objekte, das an ein schwaches Planetenscheibchen gemahnt [1].



Abb. 2: M 27 – der Hantelnebel: der erste von Messier entdeckte Planetarische Nebel.

Jahrhunderts. Großen Anteil hat daran nicht zuletzt die bahnbrechende Arbeit von William Huggins, der die Nebelscheibchen gezielt mit einem Objektivprisma visuell beobachtet und dabei deren Linienstrahlung entdeckt. Die von Huggins angewandte Methode wird in Folge nicht nur zur Untersuchung Planetarischer Nebel eingesetzt, sondern auch zur zielgerichteten Suche: Besonders erfolgreich wird dies dabei von Edward C. Pickering und Ralph Copeland umgesetzt, die ab 1880 mit visuell einsetzbaren Spektrometern den Himmel durchmustern und dabei einige sehr kompakte, von früheren Beobachtern übersehene Exemplare entdecken. Eine weitere Zäsur ergibt sich mit dem Siegeszug der Fotografie ab Ende des 19. Jahrhunderts, die nach und nach die visuelle Beobachtung als Suchmethode ablöst: Sind etwa die 91 im NGC enthaltenen Planetarischen Nebel noch allesamt visuelle Funde, ist dies bei den im später erschienenen Index Catalogue enthaltenen Objekten nur noch zu einem Drittel der Fall. Die Epoche der visuellen Entdeckungen endet schließlich mit der Erstbeobachtung von J 320 durch Robert Jonckheere im Jahr 1916 [2].

Mit dem Aufkommen tiefer spektrofotografischer Durchmusterungen steigt die Anzahl an bekannten Planetarischen Nebeln nach Ende des Zweiten Weltkriegs rapide an. Pionier dieser Technik ist der am Mount Wilson arbeitende, deutsch-amerikanische Astronom Rudolph Minkowski, der entsprechende Aufnahmen systematisch nach Emissionslinienstrahlern durchmustert und innerhalb eines Zeitraums von nur drei Jahren die Anzahl an bekannten Planetarischen Nebeln mehr als verdoppelt [3–5]. Weitere, ähnliche Durchmusterungen der nördlichen und südlichen Milchstraße, etwa durch Kohoutek, Haro und Henize, liefern in Folge weitere Hundertschaften an Neuentdeckungen. Einen weiteren Meilenstein stellt die Veröffentlichung des Palomar Observatory Sky Survey (POSS) Ende der 1950er Jahre dar: Dieser ermöglicht aufgrund seiner hohen Grenzgröße und Auflösung erstmals das flächendeckende Absuchen des Himmels nach ausgedehnten, schwachen Objekten – und wird auch prompt von George Abell zur Erstellung seines berühmten Katalogs Planetarischer Nebel genutzt.

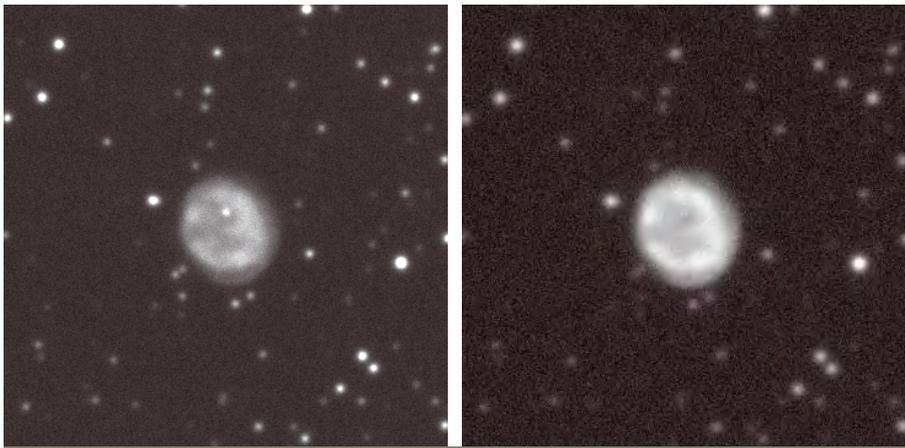
Mitte der 1960er Jahre flaut der Boom an Neuentdeckungen dann spürbar ab: Zwar werden systematische spektroskopische Durchmusterungen noch bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts durchgeführt; allerdings wird die Länge der Entdeckungslisten immer kürzer, wohingegen Zufallsfunde häufiger werden [6]. Speziell der POSS sowie dessen südliches Äquivalent, der ESO/SERC Atlas, erweisen sich nach wie vor als reich-

Von Amateuren entdeckte Planetarische Nebel				
Name	Sternbild	R. A.	Dekl.	Größe
Kronberger 58	And	2 ^h 12 ^{min} 27,9 ^s	+47° 27' 10"	60"×30"
KnPa 1	Cam	3 ^h 35 ^{min} 57,7 ^s	+63° 16' 42"	36"×17"
Teutsch 5	Per	4 ^h 3 ^{min} 29,6 ^s	+52° 8' 25"	35"×25"
Patchick 9	Tau	5 ^h 37 ^{min} 58,0 ^s	+17° 6' 18"	53"×53"
Teutsch 11	Ori	5 ^h 45 ^{min} 58,2 ^s	+2° 21' 6"	43"×34"
Howell-Crisp 1	Gem	6 ^h 21 ^{min} 41,0 ^s	+23° 35' 13"	73"×59"
Riddle 1	Mon	6 ^h 46 ^{min} 24,7 ^s	+8° 29' 2"	70"×62"
Kronberger 39	Gem	6 ^h 59 ^{min} 23,8 ^s	+18° 26' 49"	111"×102"
Kronberger 60	Gem	7 ^h 0 ^{min} 6,7 ^s	+12° 14' 40"	8"×6"
Murrell 1	Lup	15 ^h 6 ^{min} 17,1 ^s	-41° 45' 18"	105"×100"
CGMW 4-2085	Sgr	18 ^h 38 ^{min} 7,9 ^s	-31° 53' 0"	17"×15"
Kronberger 56	Sgr	19 ^h 37 ^{min} 43,8 ^s	-13° 51' 20"	42"×27"
Outters 3	Vul	19 ^h 38 ^{min} 17,5 ^s	+23° 45' 49"	90"×90"
Kronberger 15	Cyg	19 ^h 40 ^{min} 40,4 ^s	+29° 30' 09"	30"×23"
Kronberger 11	Vul	19 ^h 41 ^{min} 19,1 ^s	+24° 30' 53"	8"×4"
Kronberger 7	Vul	19 ^h 42 ^{min} 26,1 ^s	+21° 45' 23"	24"×18"
Kronberger 9	Vul	19 ^h 44 ^{min} 59,1 ^s	+22° 45' 49"	240"×240"
Patchick 1	Cyg	19 ^h 47 ^{min} 2,7 ^s	+29° 30' 26"	14"×12"
Kronberger 10	Sge	20 ^h 8 ^{min} 32,6 ^s	+19° 28' 31"	65"×54"
Jurasevich 1	Cyg	20 ^h 15 ^{min} 22,2 ^s	+38° 2' 58"	260"×235"
Kronberger 19	Vul	20 ^h 29 ^{min} 20,6 ^s	+25° 32' 40"	74"×73"
Kronberger 23	Cyg	20 ^h 34 ^{min} 26,2 ^s	+31° 18' 33"	19"×15"
Teutsch 8	Cyg	20 ^h 55 ^{min} 27,2 ^s	+39° 3' 59"	23"×18"
Kronberger 26	Cyg	21 ^h 23 ^{min} 9,3 ^s	+38° 58' 13"	110"×51"
Kronberger 50	Cyg	23 ^h 54 ^{min} 11,3 ^s	+74° 55' 34"	185"×167"

Im Laufe des 19. Jahrhunderts kristallisiert sich nach und nach heraus, dass die kleinen Scheibchen keine unaufgelösten Anhäufungen schwacher Sterne darstellen, sondern dass es sich tatsächlich um eine eigene Klasse von Himmelsobjekten handelt. Hinweise

darauf findet bereits Wilhelms Sohn John, der wohl als erster Beobachter auf die intensive, für Sterne völlig untypische blaugrüne bzw. blaue Färbung der Objekte aufmerksam wird. Die Schleier lüften sich schließlich endgültig in der zweiten Hälfte des 19.

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



G. Jacoby, WIYN, NOAO, AURA, NSF

Abb. 3: Schmalbandaufnahmen des Planetarischen Nebels Patchick 1. Links: H α . Rechts: [OIII].

haltige Fundgrube: Besonders erfolgreich ist dabei die Innsbrucker Gruppe um Roland Weinberger, die mit bewundernswerter Ausdauer im Laufe von knapp 25 Jahren beide Atlanten nach schwachen Planetarischen Nebeln durchmustert und dabei mehr als 100 Objekte entdeckt hat. Trotz der relativ geringen Rate an Neufunden sind in dieser Zeit dennoch revolutionäre Durchbrüche zu verzeichnen – allerdings in technischer

Hinsicht: So ermöglicht etwa der technische Fortschritt ab Mitte der 1980er-Jahre Entdeckungen auch im zuvor nur wenig beachteten Infrarot- und Radiobereich, und die gerade aufkommenden CCD-Kameras werden umgehend zur Identifikation von Planetarischen Nebeln eingesetzt [7].

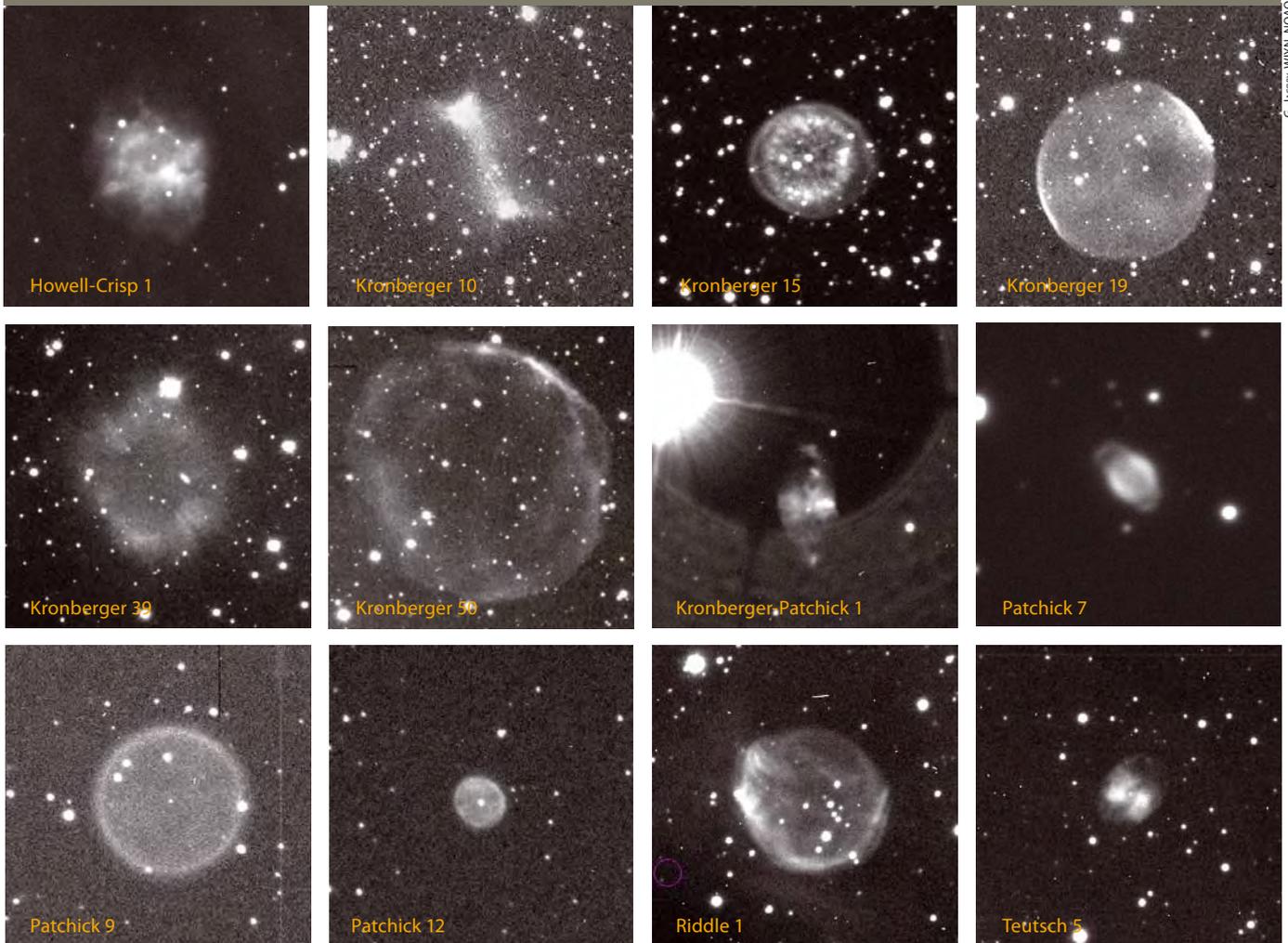
Mitte der 1990er Jahre etabliert sich schließlich mit dem Aufkommen großer CCD-Chips, die in Kombination mit

Schmalbandfiltern zielgerichtete Durchmusterungen großer Himmelsfelder nach Linienstrahlern erlauben, eine neue – und überaus erfolgreiche – Suchtechnik. Ihren Höhepunkt erreicht diese in Form zweier hochambitionierter Durchmusterungen der gesamten Milchstraße im Licht der H α -Linie, nämlich des AAO/UKST SuperCOSMOS H α Survey (SHS) am Südhimmel sowie des INT Photometric H α Survey (IPHAS) am Nordhimmel [8, 9]. Beide Projekte zusammen haben bislang mehr als 1500 Neuobjekte erbracht – was einer Verdopplung der Anzahl an bis dahin bekannten Planetarischen Nebeln gleichkommt! – und stellen aufgrund ihrer Homogenität die bei weitem wichtigsten Quellen für statistische Untersuchungen der Eigenschaften Planetarischer Nebel dar [10].

Amateurentdeckungen – warum?

In Anbetracht dieser Fülle von Entdeckungen erscheint es zunächst abwegig, dass selbst auf den jahrzehntealten und bereits mehrfach durchmusterten Fotoplatten des POSS und des ESO/SERC-Atlas

Abb. 4: Ha-gefilterte Aufnahmen ausgewählter im DSS gefundener Planetarischer Nebel. Die Aufnahmen wurden mit dem am Kitt Peak stationierten 3,5m-WIYN-Teleskop erstellt.



G. Jacoby, WIYN, NOAO, AURA, NSF

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

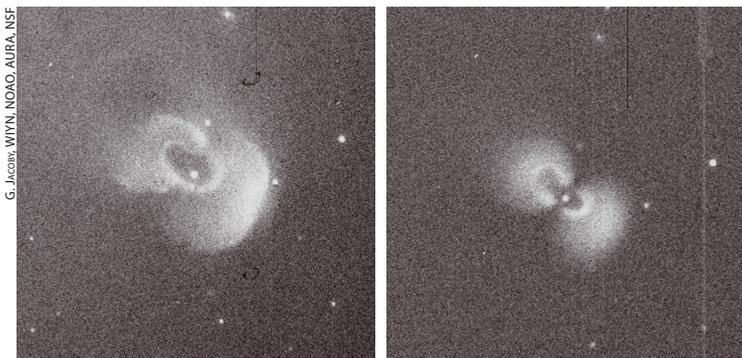


Abb. 5: H α - (links) und [OIII]- (rechts) gefilterte Aufnahmen des Planetarischen Nebels Teutsch 11. Aufnahmedaten wie in Abb. 4.

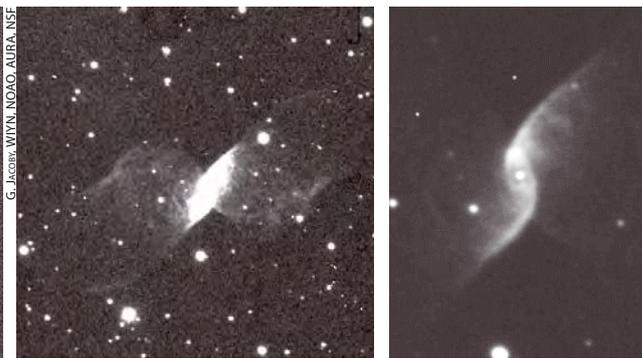


Abb. 6: H α -gefilterte Aufnahme von Kronberger 26. Links: Gesamtansicht. Rechts: Innerer Bereich. Aufnahmedaten wie in Abb. 4.

noch das eine oder andere unbekannte Exemplar aufgefunden werden kann. Dass dem nicht so ist, zeigen nicht zuletzt die im Rahmen von SHS und IPHAS gefundenen Objekte: Viele der dabei entdeckten Planetarischen Nebel sind nämlich völlig problemlos auf dem Digitized Sky Survey (DSS) – der digitalisierten Version des POSS und des ESO/SERC-Atlases – zu sehen! Da sowohl SHS als auch IPHAS aber auf die zentralen Milchstraßenbereiche rund um den galaktischen Äquator beschränkt sind, liegt der Schluss nahe, dass auch in den ausgesparten Himmelsregionen noch unbekannte Planetarische Nebel gefunden werden können. Und tatsächlich: Der geringen Objektdichte zum Trotz (immerhin befindet sich in erster Näherung lediglich einer unter 10 Mio. Sternen in diesem sehr kurzlebigen Stadium) konnten in den letzten Jahren mehrere Dutzend Planetarische Nebel von Amateuren entdeckt werden! Die meisten der Objekte wurden dabei von Mitgliedern der Deepskyhunter (DSH) gefunden, einer 2003 gegründeten Gruppe von Amateurastronomen, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, Himmelsaufnahmen gezielt nach unbekanntem Deep-Sky-Objekten zu durchforsten [11]; aber auch andere Beobachter abseits der DSH-Gruppe haben die eine oder andere Entdeckung gemacht.

Ein unbekannter Nebelfleck im Schwan

Die Initialzündung findet im Oktober 2003 statt. Beim Durchforsten von DSS-Aufnahmen stößt der kalifornische Amateurastronom Dana Patchick auf ein wenige Bogensekunden großes, recht helles Nebelscheibchen, das vom Aussehen zwar einem kompakten Planetarischen Nebel stark ähnelt, jedoch in keinem der gängigen Kataloge verzeichnet ist. Um Gewissheit zu erlangen (und um seinen Fund abzusichern),

sendet der Entdecker eine Nachricht an die auf visuelle Amateurastronomie spezialisierte Mailingliste amastro, wo die Entdeckung umgehend für Furore sorgt. Der am Lowell-Observatory tätige (und auch in Amateurbereichen bekannte und geschätzte) Astronom Brian Skiff vermittelt schließlich den Kontakt zu Dr. George H. Jacoby, einem der führenden Experten auf dem Gebiet Planetarischer Nebel. Dieser initiiert die Beobachtung des Objekts mit dem am Kitt Peak stationierten 3,5m-WIYN-Teleskop. Und tatsächlich: Die beiden im Juli 2004 mit diesem Instrument aufgenommenen, hochauflösenden Aufnahmen (Abb. 3) zeigen, dass es sich bei dem Objekt eindeutig um einen Planetarischen Nebel handelt, dessen Form etwas an eine schwächere Version von NGC 6818 erinnert. Eine große Überraschung ist dabei nicht nur die Entdeckung selbst, sondern auch die recht beachtliche visuelle Helligkeit des Objekts von knapp 15^m. Bereits wenige Tage nach der Entdeckungsmeldung auf amastro berichten erste Beobachter von positiven visuellen Sichtungen mit Öffnungen zwischen 12,5" und 20". Der Autor selbst konnte das (nunmehr **Patchick 1** genannte) Objekt unter sehr guten Bedingungen (Grenzgröße 6^m8) mit 15" und UHC-Filter problemlos als kleines Scheibchen erkennen, nachdem zuvor eine Beobachtung mit 10" unter ähnlichen Bedingungen fehlgeschlagen war.

Weitere Entdeckungen im Zuge des DSH-Projekts

Die Entdeckung von Patchick 1 bleibt kein Einzelfall, und im Laufe der nächsten Monate werden von DSH-Mitgliedern immer wieder vereinzelt Nebelflecken auf DSS-Aufnahmen entdeckt. Anfangs handelt es sich dabei fast ausschließlich um Zufallsfunde; nachdem jedoch immer klarer wird, dass noch eine Vielzahl unbekannter Planetarischer Nebel auf ihre Entdeckung warten, verschiebt sich der Fokus allmählich hin zu zielgerichteten

Durchmusterungen. Als Glücksfall erweisen sich in dieser Hinsicht auch die Kontakte zu George Jacoby sowie zur am Straßburger Observatorium tätigen Astronomin Agnes Acker, die viele der gefundenen Kandidaten mit Großteleskopen ablichten konnten und damit eine Publikation der Objekte in einem Fachjournal ermöglicht haben [12].

Parallel zur Durchmusterung von DSS-Aufnahmen etabliert sich die Verwendung von Falschfarbenaufnahmen, die aus der Kombination dreier mit Schmalbandfiltern gewonnener Schwarz-Weiß-Aufnahmen erstellt werden, als alternative Technik bei der Objektsuche. Clou ist dabei die Verwendung von Filterkombinationen, die einen möglichst großen Farbkontrast zwischen Planetarischen Nebeln, Sternen und HII-Regionen liefern. Pionier dieser Technik im Amateurbereich ist der Kalifornier Richard Crisp [13], der seinen ersten Planetarischen Nebel im Jahr 2006 entdeckt hat und mittlerweile bereits bei drei (Ko-)entdeckungen hält.

Insgesamt wurden bis dato im Zuge des DSH-Projekts etwa 130 Kandidaten gefunden, von denen sich bislang knapp 60 tatsächlich als gesicherte oder mögliche Planetarische Nebel herausstellten [12]. Die Morphologien der gefundenen Objekte decken dabei so ziemlich das gesamte Spektrum an bekannten Formen ab (Abb. 4); interessant ist insbesondere der recht hohe Anteil an sphärischen Nebelblasen, der nicht mit den gängigen Modellen in Einklang gebracht werden kann. Die entdeckten Objekte sind im Allgemeinen sehr lichtschwach und selbst auf den DSS-Aufnahmen oft nur auf den zweiten Blick zu erkennen; dennoch sind auch einige Objekte dabei, die es in punkto Helligkeit durchaus mit dem Erstfund Patchick 1 aufnehmen können und ebenfalls bereits visuell beobachtet worden sind [14]. Im Folgenden werden die interessantesten Funde einzeln vorgestellt. Relevante Daten aller präsentierter Objekte sind in Tab. 1 zusammengefasst.

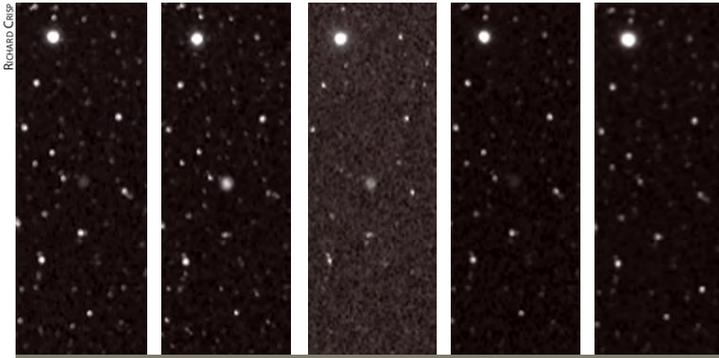


Abb. 7: Schmalbandfilteraufnahmen des Planetarischen Nebels Kronberger 56. Verwendete Filter (von links nach rechts): Hell, [OIII], H α , [NII] und [SII]. Astro-Physics AP180EDT f/9 Refraktor, je 300s bei 5x5 binning.

Ziele am Herbst- und Winterhimmel

Der wohl hellste im Rahmen des DSH-Projekts entdeckte Planetarische Nebel ist das Objekt **Howell-Crisp 1** im Sternbild der Zwillinge. Eine mit dem 3,5m-WIYN-Teleskop erstellte H α -Aufnahme des von Mike Howell und Richard Crisp im November 2006 entdeckten Nebels zeigt Abb. 4. Der Nebel selbst ist unter guten Bedingungen bereits mit 10" Öffnung zu erkennen; mit 15" zeigt sich bei mittlerer Vergrößerung schon ohne Filter ein schwacher Schimmer, der bei Einsatz eines UHC-Filters deutlich an Kontrast gewinnt.

Patchick 9 (Abb. 4) ist ein etwa 1' großer, schwacher, runder, im Sternbild des Stiers gelegener Planetarischer Nebel. Interessant ist das Objekt dabei weniger aufgrund seiner Helligkeit (das Objekt weist nur geringe Flächenhelligkeit auf), sondern vor allem wegen seiner Form, die frappant an den bekannten Abell 39 erinnert. Visuell wurde dieses Objekt bislang noch nicht beobachtet, könnte aber unter guten Bedingungen mit Teleskopen ab 20" machbar sein.

Ebenfalls ein hochinteressantes Objekt ist der im Orion beheimatete **Teutsch 11**. Dieser zeigt auf hoch aufgelösten Aufnahmen eine ausgeprägte bipolare Form, die in der [OIII]-Linie jedoch weitaus symmetrischer ausgeprägt ist als in H α (Abb. 5). Diese Asymmetrie ist möglicherweise durch die Position von Teutsch 11 an der äußeren Peripherie von Barnard's Loop bedingt: So zeigt der Nebel auf Rotaufnahmen einen schwach angedeuteten Schweif aus ionisierter Materie, der radial vom Nebelbogen nach außen weist. Offenbar wird der Nebel geradewegs vom Strahlungsdruck der Gürtelsterne zerzaust! Visuell ist der Nebel kein einfaches Objekt, konnte aber von Daniel Restemeier mit 16" gesehen werden. Interessanterweise schien das Objekt dabei am besten ohne Filter be-

obachtbar zu sein – ein Umstand, der auch von Beobachtern mit wesentlich größerer Öffnung bestätigt werden konnte.

Zwei relativ neue, nicht in [12] enthaltene Objekte sind **Kronberger 58** und **Kronberger 60**. Erstgenanntes Objekt weist eine Gesamtgröße von knapp 1,0'x0,5' auf und besteht aus zwei

getrennten, symmetrisch um den Zentralstern positionierten Nebelblasen (Abb. 10). Beide Nebelteile des im Sternbild Andromeda beheimateten Objekts konnten mit 27" und UHC-Filter unter Alpenhimmel problemlos beobachtet werden, nachdem eine Beobachtung mit 15" zuvor fehlgeschlagen war. Ähnlich schwierig ist Kronberger 60; hier waren 22" notwendig, um einen Blick auf den kompakten, nur wenige Bogensekunden großen, im Grenzgebiet der Sternbilder Zwillinge und Einhorn gelegenen Nebelfleck erhaschen zu können.

Ziele am Sommerhimmel

Bereits in [14] vorgestellt wurden die folgenden vier Objekte: Der nur 2° westlich vom bereits erwähnten Patchick 1 gelegene, sehr stark im Licht der [OIII]-Linie strahlende **Kronberger 15** zeigt auf hoch auflösenden Aufnahmen (Abb. 4) eine interessante Doppelstruktur, die aus einer unregelmäßig-knotigen inneren Schale und einer elliptischen äußeren Schale besteht. Positive Sichtungen sind für diesen Planetarischen Nebel ab 16" bekannt.

Noch etwas heller als Kronberger 15 ist der knapp 3° westlich des Cirrusnebels stehende **Kronberger 23**. Mit 15" und [OIII]-Filter erschien dieser kleine, bipolare Nebel unter gutem Voralpenhimmel als kleiner Nebelfleck, der bei indirektem Sehen immer wieder aufblitzte.

Teutsch 8 wiederum erscheint als Miniaturversion des Hantelnebels, ist aber selbst für die Ü-20"-Fraktion kein einfaches Ziel.

Nach wie vor nicht visuell beobachtet ist **Kronberger 26**. Dieser stellt aber schon allein aufgrund seiner Morphologie ein interessantes Ziel dar: So lassen sich auf der in Abb. 6 gezeigten H α -Aufnahme deutlich zwei Paare von Gasblasen erkennen, die symmetrisch um die Zentralregion angeordnet

sind. Das Objekt ist somit einer der wenigen bekannten Planetarischen Nebel mit quadrupolarer Symmetrie! In der Fachwelt werden derzeit mehrere Lösungsansätze zur Entstehung solcher Strukturen diskutiert; gemein ist den Modellen dabei, dass der Zentralstern über einen nahen Begleiter verfügen muss [15].

Zwei relativ neue, bislang nicht veröffentlichte Funde sind **Kronberger 56** und **CGMW 4-2085** im Schützen. Letztgenannter ist dabei streng genommen kein DSH-Erstfund (seine Bezeichnung und die Identifikation als Planetarischer Nebel entstammen einem Galaxienkatalog), wurde aber bislang von der Fachwelt offenbar übersehen. Ähnlich liegen die Fakten bei Kronberger 56 (Abb. 7), der zwar als Galaxienpaar katalogisiert, eindeutig aber ein Planetarischer Nebel ist! Bei letztgenanntem Objekt lohnen sich Versuche ab 10" bis 12", wobei speziell die Südsicht exzellent sein sollte. Mit 15" konnte unter gutem Himmel eine schwache Scheibe indirekt gehalten werden, wobei der Kontrast mit einem UHC-Filter deutlich verbessert werden konnte. CGMW 4-2085 hingegen ist aufgrund seiner südlichen Lage für mitteleuropäische Beobachter vermutlich außer Reichweite, konnte aber von Namibia aus mit 24" problemlos gesehen werden und dürfte entsprechend auch mit etwas kleineren Öffnungen machbar sein.

Andere Amateurfunde

Doch auch abseits des Deepskyhunters-Projekts sind Amateure bei der Suche nach unbekanntem Planetarischen Nebeln erfolgreich. Das bekannteste Beispiel dafür – und gleichzeitig wohl auch der bekannteste von einem Amateur entdeckte Planetarischer Nebel – ist wohl der im Sommer 2008 unabhängige von mehreren Beobachtern entdeckte Seifenblasennebel (PN G075.5+01.7 oder **Jurasevich 1**) im Schwan (Abb. 1). Die Hintergründe der Entdeckung – sowie die Mühen bis zur offiziellen Anerkennung des Fundes! – sind kürzlich in [16] beleuchtet worden. Erstentdecker und Namensgeber ist der amerikanische Amateurastronom Dave Jurasevich, dem der Nebel am 6. Juli 2008 beim Bearbeiten von H α -gefilterten, in der vorangegangenen Nacht aufgenommenen Rohbildern des Sichelnebels auffällt. Da in der ihm verfügbaren wissenschaftlichen Literatur kein Objekt an dieser Stelle verzeichnet ist, sendet er, sobald er sich dessen Realität versichert hat, eine Entdeckungsmeldung an das Central Bureau for Astronomical Telegrams (CBAT) der IAU. Eine weise Entscheidung, wie sich herausstellt, denn nur eine Woche später wird der Nebel unabhängig

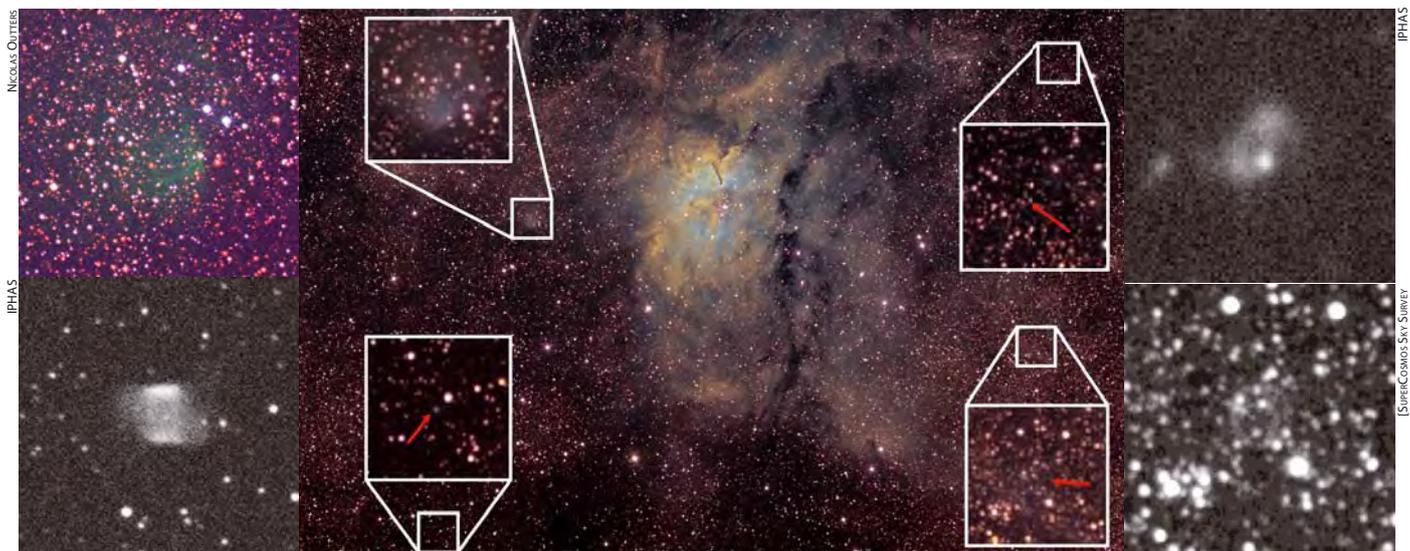


Abb. 8: Schmalbandgefilterte Farbaufnahme der Region um den Emissionsnebel NGC 6820, mit den Farbkanälen [SII] = rot, H α = grün und [OIII] = blau. Insgesamt vier von Amateuren entdeckte Planetarische Nebel sind auf der Aufnahme sichtbar.

von zwei weiteren amerikanischen Astrofotografen entdeckt! Glück für den Entdecker ist zudem, dass das Objekt der IPHAS-Kollaboration zwar zumindest bereits seit 2006 bekannt war [17], bis zum Zeitpunkt der offiziellen Anerkennung der Entdeckungsmeldung aber nicht publiziert wurde. Visuell ist das Objekt aufgrund seiner Lichtschwäche und des geringen Kontrasts zur HII-Region im Hintergrund wohl un beobachtbar; entsprechende Versuche mit Öffnungen von bis zu 24" sind bislang allesamt fehlgeschlagen.

Auf der anderen Seite des großen Teichs, nämlich in Frankreich, sorgt derzeit der Astrofotograf Nicolas Outters für Furore: Bei der Entdeckung von Jurasevich 1 noch zu kurz gekommen (dieser ist auf einer 2006 von ihm aufgenommen Aufnahme klar erkennbar, wurde von ihm aber übersehen), hat er mittlerweile mit Hilfe seiner selbst

erstellten Schmalbandaufnahmen immerhin bereits drei Objekte entdeckt, bei denen es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um Planetarische Nebel handelt (Abb. 8). Interessant ist dabei, dass sich alle drei Objekte in dem von der IPHAS-Durchmusterung abgedeckten Milchstraßenbereich befinden, jedoch in keiner der einschlägigen Publikationen erwähnt sind. Es lohnt sich also durchaus, auch in vermeintlich bereits vollständig abgesuchten Regionen die Augen offen zu halten!

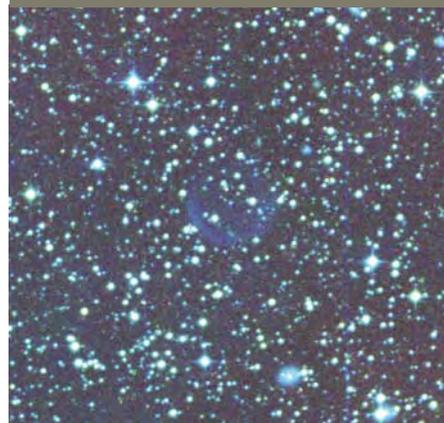
Zu guter Letzt soll mit dem nahezu unbekanntem Planetarischen Nebel **Murrell 1** noch ein der südlichen Hemisphäre entstammender Amateurfund erwähnt werden. Murrell 1 wurde im Februar 2004 durch den erfahrenen australischen Amateurastronomen Andrew Murrell eher durch Zufall auf dem DSS entdeckt. Visuell ist die im Sternbild Lupus lokalisierte elliptische Nebelblase ein schwieriges Objekt, das zumindest 20" Öffnung und perfekten Himmel für eine Sichtung benötigt. Amateuraufnahmen sind bislang keine bekannt; Abb. 9 zeigt eine mit Hilfe des DSS erstellte Falschfarbaufnahme des Nebels.

zu wählen, um die Wahrscheinlichkeit möglicher späterer Enttäuschungen (Neuobjekte werden laufend publiziert) zu minimieren. Dass auch abseits der Milchstraße nach wie vor Entdeckungen möglich sind, zeigen nicht zuletzt auch die Erfolge der halbautomatisierten ETHOS-Durchmusterung (Extremely Turquoise Halo Object Survey) [18], die zur Entdeckung mehrerer Dutzend kompakter Kandidaten geführt hat. Allerdings sollte man sich bewusst sein, dass die Suche im DSS sehr zeitraubend sein kann und man entsprechende Geduld und Ausdauer benötigt, bis sich Erfolg einstellt.

Wesentlich effizienter ist die Suche auf eigenen oder fremden, auf Schmalbandbildern basierenden Farbaufnahmen, wie sie etwa von Richard Crisp und Nicolas Outters bereits erfolgreich bei der Suche nach Planetarischen Nebeln eingesetzt worden sind. Bei entsprechender Tiefe lassen sich damit auch Planetarische Nebel identifizieren, die zu schwach oder kontrastarm sind, um im DSS sichtbar zu sein. Nachteilig ist allerdings der sehr hohe Zeitaufwand, der mit der Erstellung einer solchen Aufnahme verbunden ist, sowie der nicht unerhebliche Materialaufwand und die damit verbundenen Kosten. Eine interessante, Zeit sparendere Variante dieses Ansatzes stellt daher die Kombination zweier Schmalbandaufnahmen dar, von denen nur eine auf eine Nebellinie (zum Beispiel H α) zentriert ist. Dazu sind nicht einmal besonders aufregende Optiken nötig: So haben etwa Boumis et al. [19] mit Hilfe dieser Technik einige Dutzend neue Objekte entdecken können – mit einem 300mm-Spiegel!

Hat man ein Objekt entdeckt, das Ähnlichkeiten mit einem Planetarischen Nebel aufweist, ist es notwendig, die Realität des

Abb. 9: Aus gescannten Aufnahmen des POSS erstellte Falschfarbaufnahme von Murrell 1, mit den Farbkanälen POSS-II Infrarot = rot, POSS-II Rot = grün und UKST Blau = blau.



Wer sucht, der findet – Möglichkeiten zur Selbstsuche

Welche Möglichkeiten bieten sich zur eigenen Suche nach Planetarischen Nebeln? Am naheliegendsten ist hier die Suche via DSS: Diese Aufnahmen sind frei via Internet verfügbar und zeigen aufgrund ihrer Tiefe und des guten Kontrasts auch sehr schwache Objekte. Vorteilhaft (aber nicht zwingend!) ist es dabei in jedem Fall, den Suchbereich außerhalb der von den professionellen Durchmusterungen abgedeckten Bereiche

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

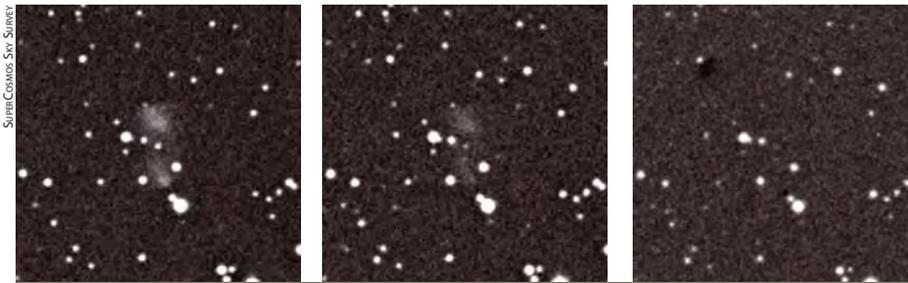


Abb. 10: 3'x3' POSS-II Aufnahmen des bipolaren Nebels Kronberger 58. Links: POSS-II Blau. Mitte: POSS-II Rot. Rechts: POSS-II Infrarot. Die beiden Nebelblasen sind auf der Nahinfrarotaufnahme nicht zu erkennen.

Objekts sowie seine Natur als Linienstrahler abzusichern. Ersteres ist insofern von Belang, da Plattenfehler, Reflexe und ähnliche Störquellen unter Umständen einem Planetarischen Nebel nicht unähnlich sehen können. Bei Aufnahmen mit Schmalbandfiltern sollte zudem sichergestellt werden, dass die verwendeten Filter im Infrarotbereich opak sind, da andernfalls infrarothelle Quellen Falschdetektionen hervorrufen können. Bei im DSS aufgefundenen Objekten wiederum gilt es auszuschließen, dass es sich beim gefundenen Objekt um eine Galaxie oder einen Reflexionsnebel handelt, was am besten durch den Vergleich von Rot- und Infrarotaufnahmen vonstatten geht (Abb. 10). Verwechslungspotenzial besteht außerdem bei schwachen HII-Regionen und bei Herbig-Haro-Objekten, die ebenfalls einem Planetarischen Nebel ähnlich sehen können. Ausschau halten sollte man in jedem Fall nach einem blauen Zentralstern, dessen Vorhandensein allerdings kein Muss ist.

Was tun bei einem eigenen Fund?

Hat man ein verdächtiges Objekt auf einer Aufnahme identifiziert und möchte man die Entdeckung absichern, so sind im Anschluss weitere Schritte erforderlich. In jedem Fall ist es dabei hilfreich, den Kontakt zu professionellen Astronomen zu suchen.

Um sicher zu gehen, dass das Objekt tatsächlich noch nicht publiziert worden ist, ist im ersten Schritt immer eine ausgiebige Literaturrecherche via Internet erforderlich. Da eine Recherche in den gängigen Datenbanken (zum Beispiel NED, VIZIER und SIMBAD) die Kenntnis genauer Objektkoordinaten voraussetzt, ist es im Vorfeld notwendig, diese zumindest bis auf wenige Bogensekunden genau zu bestimmen. Zudem empfiehlt sich eine Literaturrecherche via ADS für alle nichtstellaren Objekte, die im nächsten Umkreis des Kandidaten lokalisiert sind. Ist die Recherche abgeschlossen, ist eine Analyse des Kandidaten unum-

gänglich. Laut Agnes Acker etwa sind dazu zumindest eine Reihe von Schmalband- ([SII], H α und [OIII]) und Breitbandaufnahmen, kalibrierte, hoch auflösende Spektren, sowie Infrarotdaten notwendig. Was Amateurastronomen dazu beisteuern können, hängt dabei ganz von deren Möglichkeiten ab: George Jacoby etwa sieht großes Potenzial beim Erstellen von Aufnahmen, mit deren Hilfe der Strahlungsfluss des Nebels in verschiedenen Emissionslinien oder die Helligkeit und Farbe des Zentralsterns bestimmt werden können. Amateure können also durchaus entscheidend zur wissenschaftlichen Untersuchung ihrer Objekte beitragen!

Ist die Interpretation, dass es sich beim gefundenen Objekt um einen Planetarischen Nebel handelt, durch die Datenlage gestützt (oder zumindest wahrscheinlich), bleibt als letzter Schritt noch die Veröffentlichung des entdeckten Objekts. Agnes Acker empfiehlt Amateuren diesbezüglich etwa, die IAU zu kontaktieren und die Daten im Anschluss in einem renommierten Magazin (wie etwa Sky & Telescope) zu veröffentlichen. Allerdings sollte man sich des Arbeitsaufwandes gewahr sein, den diese Vorgehensweise mit sich bringen kann: So bedurfte es im Fall von Jurasevich 1 eines 50-seitigen Reports und einer Wartezeit von etwas mehr als einem Jahr, bis die Entdeckungsmeldung offiziell anerkannt worden war! Lohnender kann es deshalb sein, das Objekt in Zusammenarbeit mit den in die Analyse ohnehin involvierten Astronomen zu publizieren, wie es auch im Rahmen des DSH-Projektes gehandhabt wird. Neben einer Publikation in einem Fachjournal kann dies etwa auch im Rahmen einer Konferenz in Form einer Posterpräsentation erfolgen.

So oder so: Geduld ist in jedem Fall angebracht. Bringt man diese aber auf, wird man unter Umständen mit etwas belohnt, von dem viele Amateurastronomen träumen – nämlich, ein Objekt mit seinem Namen am Himmel verewigt zu haben.

- [1] Steinicke, W.: Herschel, Uranus und die Planetarischen Nebel, VdS-Journal 22, 8 (2007)
- [2] Jonckheere, R.: A new stellar nebula, The Observatory 39, 134 (1916)
- [3] Minkowski, R.: New Emission Nebulae, PASP 58, 305 (1946)
- [4] Minkowski, R.: New Emission Nebulae (II), PASP 59, 257 (1946)
- [5] Minkowski, R.: New Emission Nebulae (III), PASP 60, 386 (1946)
- [6] Allen, D. A.: A new planetary nebula, The Observatory 93, 85 (1973)
- [7] Pritchett, C.: Detection of a nebula surrounding the O5 star RWT 152, Astron. Astrophys. 139, 230 (1984)
- [8] Parker, Q. A. et al.: The AAO/UKST SuperCOSMOS Ha survey, MNRAS 362, 689 (2005)
- [9] Drew, J. E. et al.: The INT Photometric Ha Survey of the Northern Galactic Plane (IPHAS), MNRAS 362, 753 (2005)
- [10] Parker, Q. A., Frew, D. J.: Planetary Nebula Surveys: Past, present and Future, arXiv1011.0857 (2010)
- [11] Kronberger, M., Teutsch, P., Juchert, M.: Sternhaufen und Nebel – von Amateuren entdeckt. Teil 1: Suchmethodik und Analyseverfahren, interstellarum 48, 48 (2006)
- [12] Jacoby, G. H. et al.: Searching for Faint Planetary Nebulae Using the Digital Sky Survey, Pub. Ast. Soc. Aus. 27, 156 (2010)
- [13] Crisp, R.: Narrowband Imaging in Color? Sky & Telescope 8/2005, 112 (2005)
- [14] Kronberger, M., Teutsch, P., Juchert, M.: Sternhaufen und Nebel – von Amateuren entdeckt. Teil 2: Objekte und Beobachtungshinweise, interstellarum 49, 44 (2006)
- [15] Santander-Garcia, M. et al.: The kinematics of the quadrupolar nebula M 1-75 and the identification of its central star, Astron. Astrophys. 519, 54 (2010)
- [16] Simmons, M., Jurasevich, D.: Deep-Sky discovery, Sky & Telescope 07/2010, 34 (2010)
- [17] Sabin, L.: Searching for Extended Nebulae in IPHAS, EGAPS Inaugural Meeting, Cambridge, UK, www.ast.cam.ac.uk/meetings/egaps06/talk-sabin.ppt (2006)
- [18] Miszalski, B. et al.: ETHOS 1: a high latitude planetary nebula with jets forged by a post common envelope binary central star, MNRAS, arXiv:1012.3331 (2011)
- [19] Boumis, P. et al.: New planetary nebulae in the Galactic bulge region with $l > 0^\circ$ – I. Discovery method and first results, MNRAS 339, 735 (2003)

Surftipps

DSH-Newsgrupp: tech.groups.yahoo.com/group/deepskyhunters
 Homepage Richard Crisp: www.narrowbandimaging.com
 Homepage Dave Jurasevich: www.starimager.com
 Entdeckungen von Nicolas Outters: www.outters.fr/pn.html

Gespenstische STERNSTRÖME

Beobachten wie Galaxien wachsen

VON ARPAD MISKOLCZI UND DOMINIK BOMANS

Die aktuellen Simulationen der Entwicklung des Universums und der Galaxienentwicklung sehen zwar schon sehr beeindruckend aus, doch wird stets auch der Test der direkten Beobachtung benötigt, um schließlich brauchbare Vorhersagen anhand verfeinerter Modelle zu treffen. Die Beobachtung von stellaren Strömen in den Halos von massereichen Galaxien ist ein neuer Beobachtungstest, der uns direkt Prozesse der Galaxienentwicklung erkennen lässt. Das Besondere ist, dass gerade kleine Teleskope, auch solche von Amateurastronomen, wichtige Beiträge liefern können.



Abb. 1: Zusammen statt nebeneinander: Wenn Amateure und Profis gemeinsam arbeiten, können neue Entdeckungen gelingen, auch wenn die Mittel ungleich sind. Das Bild zeigt das Teleskop des Sloan Digital Sky Survey im Vergleich zu einem herkömmlichen Amateurgerät.

Beobachtung hierarchischen Wachstums von Galaxien

Die derzeit akzeptierte Vorstellung von Galaxienentwicklung geht vom sog. hierarchischen Wachstum aus, bei dem aus vielen kleinen Teilen nach und nach die großen Spiralen und elliptischen Galaxien entstehen, die wir heute im nahen Universum beobachten. Wenn diese Vorstellung korrekt ist, sollten Spiralgalaxien auch heute noch häufig Zwerggalaxien akkretieren. Da diese Zwerggalaxien im Laufe der Zeit durch Gezeitenkräfte auseinander gerissen werden, sollten die Überreste als schwach leuchtende Streifen um die große Galaxie sichtbar sein. Die Suche nach diesen Strukturen stellte sich als sehr schwierig heraus, da die für die Detektion notwendige Empfindlichkeit in der Flächenhelligkeit nicht ausreichend war. Trotzdem gelang David Malin mit Hilfe seiner fotografischen Verstärkungsmethode die zufällige Detektion solcher Ströme in den Halos von M 83 und M 104, was 1999 in einer wissenschaftlichen Zeitschrift publiziert wurde [1]. 1998 gelangen Shang und Kollegen die Erfassung im Halo von NGC 5907 mit einer CCD-Kamera. Eine Zusam-

menstellung der bis dahin bekannten Ströme (teils zufällige Entdeckungen, teils Ergebnis gezielter Beobachtungen) wurde 2003 von Pohlen und Kollegen [2] aufbereitet. Ein wichtiger Durchbruch kam dann mit der Erkenntnis, dass mit CCD-Kameras an relativ kleinen, lichtstarken Teleskopen mit Pixelskalen um 1" bis 2" und bei sorgfältiger Flatfield-Kalibrierung mit sehr langen Belichtungszeiten genügend empfindliche Daten zu gewinnen sind, um Ströme zu detektieren (vgl. Kasten). Kritisch ist das notwendige, sehr gute Flatfield, weswegen professionelle, für Himmeldurchmusterungen verwendete Teleskope mit CCD-Mosaiken weniger geeignet erschienen.

Der Sloan Digital Sky Survey

Der Sloan Digital Sky Survey (SDSS) galt seinerzeit als eines der ehrgeizigsten Projekte. Das Ziel war, eine der größten Himmeldurchmusterungen zu erstellen, kombiniert mit einer noch nie da gewesenen Datenqualität. In der achtjährigen Laufzeit des SDSS-I- und SDSS-II-Programms wurde mehr als ein Viertel des Nachthimmels kartiert, wobei über 930000 Galaxien und mehr als 120000

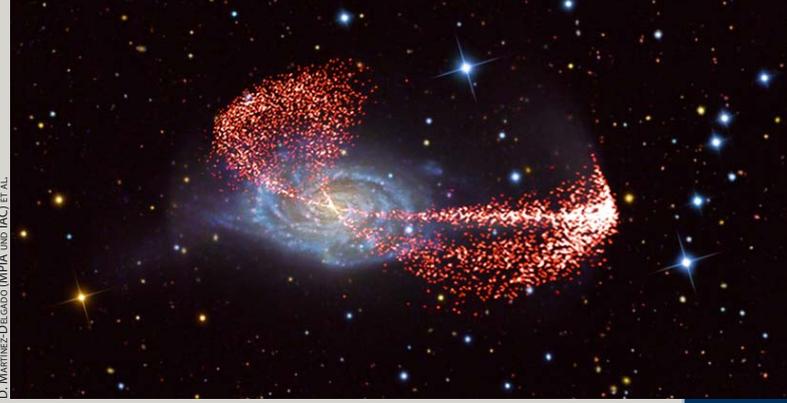
Quasare beobachtet wurden. Die Daten des Programms wurden nach und nach in sog. Data Releases der Öffentlichkeit zu Verfügung gestellt. Die letzte Veröffentlichung, das Data Release 7 (DR7), erschien am 31. Oktober 2008 und enthielt neben neu beobachteten Objekten auch alle anderen Daten aus DR1 bis DR6. Um diese Aufgabe zu bewältigen, begann man Ende der 1990er Jahre mit dem Bau des 2,5m-Teleskops, das am Apache Point Observatory in New Mexico, USA, aufgestellt wurde. Das Teleskop ist ein modifiziertes Ritchey-Chrétien-Teleskop mit einem Öffnungsverhältnis von f/5.

Das Schmuckstück des Projektes ist die photometrische Kamera. Diese besitzt ein CCD-Array bestehend aus 30 Chips, angeordnet in sechs Spalten und fünf Reihen. Jede Reihe hat einen anderen Filter: u' (359nm), g' (481nm), r' (623nm), i' (764nm) und z' (906nm). Das Besondere ist jedoch, dass die Kamera im sog. Drift-Scanning-Modus arbeitet. Dabei steht das Teleskop still und verfolgt nicht das Objekt am Himmel. Es werden die einzelnen Ladungen auf einem CCD-Element mit siderischer Geschwindigkeit über eine Spalte bewegt, so dass ein Stern immer auf die gleiche Ladung trifft. Damit

Wie Profis auf Amateure setzen

Unabhängig von der hier vorgestellten Bochumer Arbeitsgruppe spüren auch Astronomen am Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie den Gezeitenströmen von Galaxien nach – und verlassen sich dabei auf die Mitarbeit von versierten Amateurastronomen: Deren Instrumentarium schien tatsächlich am besten für tiefe Aufnahmen mit großen Gesichtsfeldern geeignet; dem SDSS hatte man eine ausreichende Empfindlichkeit schlicht nicht zugetraut. Für eine Pilotstudie waren zunächst tiefe Aufnahmen von acht Spiralgalaxien in bis zu 50 Millionen Lichtjahren Entfernung »bestellt« worden, bei denen schon aus der Literatur bekannt war, dass in ihrem Umfeld etwas Interessantes vorgeht. Lieferanten waren drei Privatsternwarten in den USA und Australien, wo übliche CCD-Kameras und Teleskope mit Öffnungen von 510mm und 370mm zum Einsatz kamen – und in einem Fall gar ein 160mm-Refraktor, weil ein Gesichtsfeld von 0,5° benötigt wurde! Wichtig waren lediglich dunkler Himmel, lange Belichtungszeiten und sorgfältige Bildverarbeitung, um die schwachen Sternströme sauber herauszuarbeiten.

In allen acht Fällen waren sie in der Tat vorhanden: Die Studie zeigte damit, dass größere Gezeitenströme mit einer Masse zwischen 1% und 5% der Gesamtmasse der Galaxie in Spiralgalaxien recht häufig vorkommen. Dabei zeigen sie eine enorme Formenvielfalt, die in grundsätzlichem Einklang mit Simulationsrechnungen der Standardkosmologie steht. Und um solche Tests geht es den Heidelbergern in der Hauptsache: Galaxien sind in dem populären Modell in der Frühzeit des Kosmos »hierarchisch« durch Verschmelzen kleinerer Bausteine entstanden. Die große Zeit der



Die Galaxie NGC 4651 ist von einer bemerkenswerten regen-schirmartigen Struktur umgeben: Sternströme, die Überreste einer kleineren Satellitengalaxie sind, welche NGC 4651 angezogen und zerrissen hat – eine der Aufnahmen des Heidelberger Gezeiten-schweif-Projekts.

Fusionen ist schon seit Jahrmilliarden vorbei, aber auch die heutigen – also nahen und damit gut im Detail zu untersuchenden – Galaxien »schlucken« immer noch nahe Zwerggalaxien aus ihrer Umgebung. Diese werden dabei auseinander gerissen und hinterlassen in den Halos der großen Galaxien kuriose und vor allem sehr ausgedehnte Strukturen aus dünn verteilten Sternen weit jenseits der galaktischen Scheiben. Unterschiedliche Kosmologien sagen dabei aber verschiedene Muster und statistische Eigenschaften dieses Phänomens voraus: Hat man derartige »Gezeitenströme« bei einer größeren Zahl von heutigen Galaxien untersucht, lässt sich ein unabhängiger Test der Modelle durchführen. Nach den ersten Erfolgen wird das Heidelberger Projekt bereits fortgesetzt, erneut mit maßgeblicher Unterstützung von Amateurastronomen.

■ Daniel Fischer

lassen sich in sehr kurzer Zeit große Teile des Himmels gleichzeitig in fünf Filtern kartieren, ideal für eine Durchmusterung.

Diese Technik bietet aber auch Begrenzungen. Da die Winkelgeschwindigkeit eines Objektes am Himmel nicht überall gleich ist, darf das Feld nicht zu groß werden. Weiterhin wird auch die Belichtungszeit vom Himmel vorgegeben. Da ein Objekt entlang des CCD-Chips wandert, wird die Belichtungszeit pro Filter durch Variation der Nachführ-geschwindigkeit auf 54,1s beschränkt. Eine

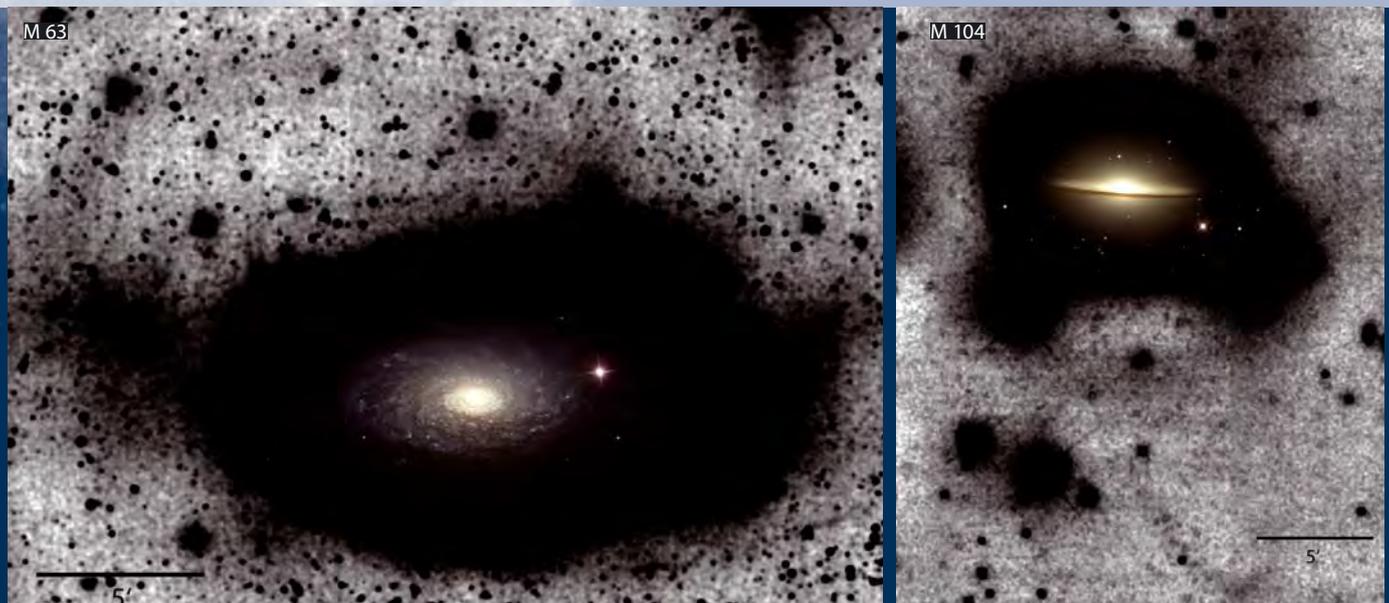
berechtigte Frage ist nun, wie man mit so kurzen Belichtungszeiten so tiefe Aufnahmen realisieren kann. Die Antwort liegt im Drift Scanning Modus: Da ein Objekt über eine Spalte, bestehend aus 2048 Pixeln, wandert, trägt jedes Pixel etwas zum Gesamtbild bei. Dadurch werden die Unterschiede zwischen den Pixeln entlang einer Spalte unterdrückt und es bleiben nur noch Unterschiede von Zeile zu Zeile. Das Flatfield ist also nur noch eindimensional, welches durch geschicktes Aufaddieren vieler Zeilen

künstlich korrigiert werden kann. Es entsteht ein nahezu perfektes Flatfield, was die Datenqualität erheblich verbessert.

Erste Funde

Die Empfindlichkeit der SDSS-CCD-Kameras ist vom jeweiligen Filter abhängig. Während die Empfindlichkeit bei den Filtern g', r' und i' (sichtbarer Spektralbereich) mit bis zu 50% relativ gut ist, sinkt sie im u'- und z-Filter (UV- bzw. IR-Bereich) auf

Abb. 2: M 63 und M 104 sind zwei prominente Beispiele für helle Galaxien, bei denen Sternströme als Überreste von Zwerggalaxien in den Außenbereichen entdeckt wurden. In die Negativ-Aufnahme des Himmelsfelds wurde jeweils in die völlig überbelichtete Galaxie (schwarzes Feld in der Mitte) im richtigen Maßstab ein Positivbild der Galaxie eingesetzt.



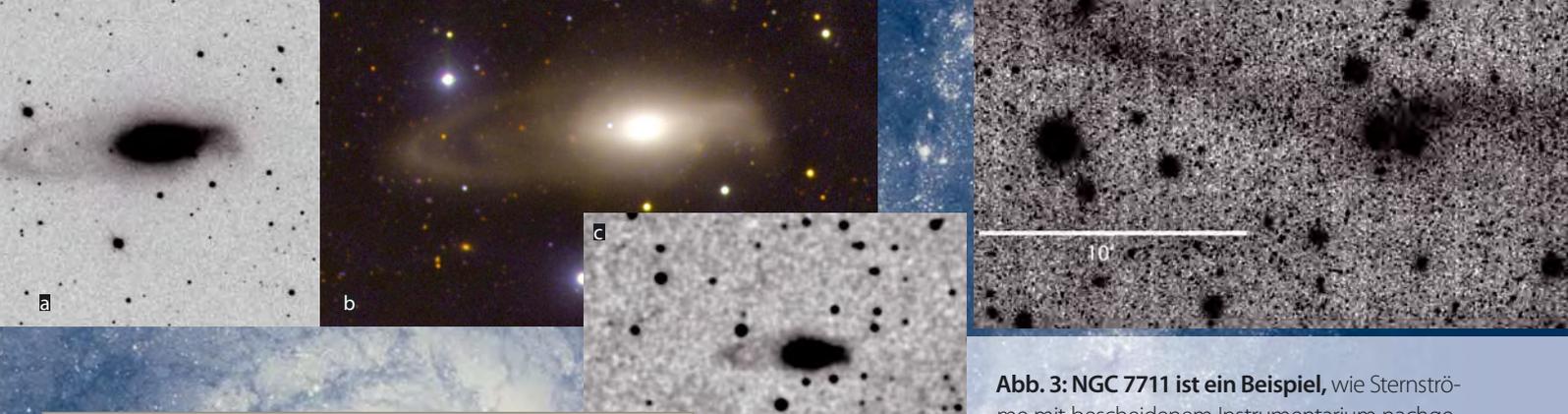


Abb. 3: NGC 7711 ist ein Beispiel, wie Sternströme mit bescheidenem Instrumentarium nachgewiesen werden können.

a) NGC 7711 als 3-Kanal-Stack, aufgenommen mit dem SDSS. Der Strom ist sichtbar.

b) Die gleiche Galaxie als Farbbild, aufgenommen mit dem 2,2m-Teleskop des Calar Alto-Observatoriums. Der Strom ist sehr gut sichtbar und es zeigt sich ein schwaches, aber großes Halo. Zwei bis vier Stunden Gesamtbelichtungszeit pro Kanal. c) Eine Aufnahme der Galaxie mit einem 10"-Newton-Teleskop durch Arpad Miskolczi. Aufgenommen am Rande des Ruhrgebietes mit nur 80min Gesamtbelichtungszeit. Der Strom ist ansatzweise zu erkennen.

Galaxien mit Sternströmen

Bei Objekt	R. A.	Dekl.	Entfernung	Größe
UGC 12904	0 ^h 1 ^m 14 ^s	+34° 40' 33"	554 Mio. Lj	1,02'
PGC 845807	0 ^h 35 ^m 31 ^s	+3° 51' 42"	125 Mio. Lj	0,65'
NGC 697	1 ^h 51 ^m 17 ^s	+22° 21' 27"	115 Mio. Lj	3,80'
MCG-2-6-35	2 ^h 10 ^m 14 ^s	-9° 42' 39"	69 Mio. Lj	2,19'
NGC 1055	2 ^h 41 ^m 45 ^s	+0° 26' 35"	54 Mio. Lj	6,92'
UGC 4100	8 ^h 6 ^m 57 ^s	+84° 45' 18"	44 Mio. Lj	0,68'
UGC 4257	8 ^h 10 ^m 11 ^s	+24° 53' 32"	202 Mio. Lj	1,91'
PGC 1719074	8 ^h 10 ^m 26 ^s	+24° 52' 58"	1170 Mio. Lj	0,29'
PGC 2599567	8 ^h 49 ^m 38 ^s	+60° 13' 53"	-	0,32'
NGC 2966	9 ^h 42 ^m 11 ^s	+4° 40' 23"	106 Mio. Lj	2,14'
NGC 3131	10 ^h 8 ^m 36 ^s	+18° 13' 51"	248 Mio. Lj	2,19'
NGC 3221	10 ^h 22 ^m 20 ^s	+21° 34' 11"	198 Mio. Lj	1,70'
NGC 3509	11 ^h 4 ^m 23 ^s	+4° 49' 42"	365 Mio. Lj	1,95'
NGC 3669	11 ^h 25 ^m 26 ^s	+57° 43' 19"	102 Mio. Lj	1,78'
NGC 3800	11 ^h 40 ^m 13 ^s	+15° 20' 37"	163 Mio. Lj	1,74'
NGC 3863	11 ^h 45 ^m 20 ^s	+8° 30' 18"	235 Mio. Lj	2,51'
UGC 7170	12 ^h 10 ^m 37 ^s	+18° 49' 41"	123 Mio. Lj	2,75'
NGC 4173	12 ^h 12 ^m 21 ^s	+29° 12' 26"	31 Mio. Lj	0,63'
PGC 1421380	12 ^h 15 ^m 12 ^s	+13° 2' 4"	913 Mio. Lj	0,22'
NGC 4226	12 ^h 15 ^m 50 ^s	+47° 5' 31"	383 Mio. Lj	1,12'
NGC 4216	12 ^h 15 ^m 54 ^s	+13° 9' 0"	55 Mio. Lj	7,76'
NGC 4224	12 ^h 16 ^m 33 ^s	+7° 27' 44"	114 Mio. Lj	2,88'
IC 3322A	12 ^h 25 ^m 42 ^s	+7° 13' 0"	80 Mio. Lj	1,95'
M 104	12 ^h 39 ^m 59 ^s	-11° 37' 22"	34 Mio. Lj	8,51'
NGC 4684	12 ^h 47 ^m 17 ^s	-2° 43' 38"	66 Mio. Lj	2,95'
NGC 4808	12 ^h 55 ^m 48 ^s	+4° 18' 16"	65 Mio. Lj	2,34'
NGC 5363	13 ^h 56 ^m 7 ^s	+5° 15' 17"	73 Mio. Lj	4,17'
NGC 5496	14 ^h 11 ^m 37 ^s	-1° 9' 28"	74 Mio. Lj	2,69'
UGC 9182	14 ^h 20 ^m 46 ^s	+21° 56' 8"	169 Mio. Lj	2,75'
NGC 5675	14 ^h 32 ^m 39 ^s	+36° 18' 7"	186 Mio. Lj	2,29'
M 102	15 ^h 6 ^m 29 ^s	+55° 45' 47"	48 Mio. Lj	6,31'
UGC 9759	15 ^h 10 ^m 41 ^s	+55° 20' 58"	173 Mio. Lj	1,32'
NGC 5899	15 ^h 15 ^m 3 ^s	+42° 2' 59"	143 Mio. Lj	2,09'
NGC 5900	15 ^h 15 ^m 5 ^s	+42° 12' 34"	215 Mio. Lj	1,48'
NGC 5907	15 ^h 15 ^m 53 ^s	+56° 19' 43"	54 Mio. Lj	11,22'
UGC 9829	15 ^h 23 ^m 1 ^s	-1° 20' 49"	391 Mio. Lj	1,82'
UGC 10043	15 ^h 48 ^m 41 ^s	+21° 52' 9"	101 Mio. Lj	2,19'
UGC 10214	16 ^h 6 ^m 3 ^s	+55° 25' 30"	430 Mio. Lj	1,45'
NGC 6239	16 ^h 50 ^m 5 ^s	+42° 44' 23"	73 Mio. Lj	2,29'
PGC 194554	22 ^h 57 ^m 17 ^s	+15° 2' 9"	838 Mio. Lj	0,51'
NGC 7711	23 ^h 35 ^m 39 ^s	+15° 18' 6"	166 Mio. Lj	2,40'

20% bis 25%. Durch das Aufaddieren oder auch Stacken von Bildern kann man das Signal-zu-Rausch-Verhältnis steigern, allerdings sollte man in diesem Fall nur die Filter g', r' und i' verwenden, da die anderen das Verhältnis durch die niedrige Empfindlichkeit verringern würden. Durch diesen Schritt wurde aus drei Bildern mit hoher Empfindlichkeit ein Bild mit etwas höherer Empfindlichkeit erstellt, doch leider auf Kosten der Farbinformationen. Filtert man nun das Ergebnis mit einem geeigneten Filter, so lassen sich damit sehr schwache Strukturen, falls vorhanden, sichtbar machen.

Dies wurde im Rahmen einer Diplomarbeit am Astronomischen Institut der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Um nicht zufällig im Galaxienhaufen »stochern« zu müssen, wurden Überlegungen angestellt, ob man die Galaxienliste nicht effektiver auswählen könnte. Wie anfangs erwähnt, besagt die Theorie über die Evolution von Galaxien, dass elliptische Galaxien ihre Umgebung schon aufgesaugt haben sollten. Infolge dessen kann man ein Morphologie-Kriterium anlegen und somit alle elliptischen Galaxien aus der Eingangsliste streichen. Weiterhin kann man sich überlegen, dass man am besten bei Galaxien, die man von der Seite aus sieht, sucht, da bei solchen Galaxien die bedeckte Fläche durch die Galaxie selber minimal ist, so dass schwache Ströme rund um die Galaxie nicht verdeckt werden. Zuletzt sollte man sich auch nur relativ große Galaxien herausuchen. Der Grund

hierfür ist einfach: Da man mit SDSS suchen will, ist die Winkelauflösung beschränkt, also sollte die Winkelauflösung einer Galaxie nicht zu klein sein, sonst würde man nicht erkennen, ob ein Strom wirklich ein Strom ist oder nicht einfach nur ein Artefakt oder ein Stern. Ein Wert von mindestens 2' erwies sich dafür als relativ gut. Eine ältere Arbeit, die sich mit den Bulges von Galaxien befasste, benutzte genau die gleichen Auswahlkriterien, um eine Galaxienliste zusammen zu stellen. Diese Liste, unser Input-Sample, wurde also übernommen und mit den SDSS-Archiven abgeglichen. Es befanden sich 474 Galaxien aus dieser Liste in den SDSS-Archiven die daraufhin automatisch verarbeitet wurden.

Sternströme und andere Strukturen

Es zeigten sich 126 Galaxien mit schwachen Strukturen, allerdings nur 91 davon aus dem Input-Sample. Der Rest wurde zufällig gefunden, da sie innerhalb des Gesichtsfeldes waren. Aus dem Input-Sample wurden 30 Ströme gefunden und noch 11 weitere, die zufällig in der Nähe waren. Die anderen schwachen Strukturen wurden in unterschiedliche Klassifikationen eingeteilt, denn wenn die Galaxien in einer Gruppe oder einem Haufen vorkommen, kann man sich nicht mehr sicher sein, ob ein Strom tatsächlich seinen Ursprung in einer Zwerggalaxie hat, oder ob es lediglich das Ergebnis der Gruppen- bzw. Haufeninteraktion ist. Weiterhin gab es Strukturen, die zwar keine Ströme



Abb. 4: Bei zahlreichen weiteren Galaxien gibt es Kandidaten für Sternströme. Es handelt sich jeweils um Komposite aus einem Farbbild und dem verarbeiteten Bild. a) NGC 3628: Ein schon länger bekannter Strom zeigt sich auch in den SDSS-Daten. b) NGC 2874: Ein deutlicher Strom zeigt sich. Es ist aller-

dings unklar, ob er von einer Zwerggalaxie kommt, oder durch die Wechselwirkung zwischen den beiden »großen« Galaxien entstanden ist. c) NGC 3221 zeigt gleich zwei Ströme. Diese scheinen kurz zu sein, was darauf schließen lässt, dass sie relativ jung sind und sich gerade erst entwickeln. d) NGC 3509: Ein deutlicher, scheinbar gerader Strom umgibt die Galaxie. e) Bei NGC 4684 scheint sich ein Sternenstrom um die Galaxie zu winden. f) Der Strom bei NGC 5907 zeigt sich auch in den SDSS-Daten, wenn auch sehr schwach. g) Zwei scheinbar spitz zulaufende Ströme scheinen aus NGC 6239 hervorzustechen. h) UGC 5904 scheint seinen Begleiter zu zerreißen, welcher einen Strom hinterlässt.

Surftipps

Homepage des Heidelberger Projekts: www.cosmotography.com
 Aufruf zur Nachbeobachtung der Sternströme: www.astrotreff.de/topic.asp?TOPIC_ID=108983

aufwiesen, aber die Scheibe der Galaxie gestört haben. Diese bekamen auch eine eigene Klassifikation. Manche Strukturen decken sich sehr gut mit Simulationen, z.B. von Bullock und Johnston [3], welche sowohl Ströme, die gerade oder gewunden sind, schalenähnliche Strukturen oder auch Kombinationen diverser Strukturen zeigen. Auch scheint die hierarchische Strukturentstehung von Galaxien (d.h. verschiedene kleinere verschmelzen im Laufe der Zeit zu größeren Galaxien) gut gezeigt zu werden. Es wurden relativ kurze Ströme gefunden, wie zum Beispiel bei NGC 3509 (Abb. 4d), aber auch sehr lange Ströme, die scheinbar das Ergebnis von zwei Umläufen der Zwerggalaxie sind (Abb. 3). Auch wurde die Theorie gestützt, wonach in solch einem Strom nur ältere Sterne zu finden sind. Der Strom bei NGC 7711, der scheinbar aus zwei Umläufen entstand, ist hell genug, um photometrisch direkt aus SDSS-Daten ohne Bearbeitung analysiert zu werden. Diese Analyse zeigt, dass der Strom röter ist als die Muttergalaxie, was darauf schließen lässt, dass die Sterne im Strom älter sind. Weiterhin lässt sich dadurch ein sog. Farb-Farb-Diagramm erstellen, welches aufzeigt, dass die Farben des Stromes und

der Galaxie tatsächlich voneinander abweichen. Dadurch war es auch möglich zu zeigen, dass die Ausbuchtung an der Galaxie aus den Überresten der Zwerggalaxie besteht. Durch die relativ hohe Helligkeit des Stromes wurde NGC 7711 ausgewählt, um vom Calar Alto-Observatorium beobachtet zu werden, und wurde sogar mit Amateurmitteln beobachtet (Abb. 3c). Weitere Details kann man der Publikation von Miskolczi und Kollegen [4] entnehmen.

Das Amateurprojekt

Da in der Wissenschaft alles geprüft werden muss, müssen diese Strukturen natürlich nachbeobachtet werden. Da man bei Großobservatorien meist nur eine sehr beschränkte Zeit bekommt und es dort leider auch schlechtes Wetter gibt, kam das Astronomische Institut in Bochum auf eine Idee, die zuerst auf der Bochumer Herbsttagung (BoHeTa) 2010 präsentiert wurde und anschließend im bekannten Astronomieforum Astrotreff konkreter dargestellt wurde. Da Amateurastronomen inzwischen sehr hoch entwickelte Instrumente einsetzen, die es erlauben, immer tiefere Aufnah-

men zu machen, wurde nach Freiwilligen gesucht, die die Herausforderung annehmen und versuchen sollten, solche Strukturen nachzuweisen. Es haben sich bis heute zwölf Amateurastronomen gemeldet, die sich dieser Herausforderung stellen wollen. Da die letzten Monate allerdings kein gutes Wetter brachten, gab es bislang nur eine, sehr schwache Detektion. Nichtsdestotrotz glauben wir, dass es ein erfolgreiches Projekt wird, sobald das Wetter mehr Gelegenheiten bietet, die Instrumente auch einsetzen zu können.

- [1] Malin, D., Hadley, B.: Observational Evidence of Interactions in Bright, Nearby Galaxies, in *Astronomical Society of the Pacific Conference Series* 182, 445 (1999)
- [2] Pohlen, M. et al.: Tidal streams around external galaxies, *Astronomical Society of the Pacific Volume* 327, 288 (2004)
- [3] Bullock, J. S., Johnston, K. V.: Tracing Galaxy Formation with Stellar Halos. I. *Methods, Astrophys. J.* 635, 931 (2005)
- [4] Miskolczi A., Bomans D. J., Dettmar, R.-J.: Tidal Streams around Galaxies in the SDSS DR7 archive, arxiv.org/abs/1102.2905 (2011)

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



Lichtblitze vom Mond

Impakt-Blitze per Video nachweisen

VON WILFRIED TOST

NASA/MARSHALL SPACE FLIGHT CENTER

Einschläge von kleinen Körpern (Meteoroiden) mit Massen ab 100g erzeugen auf der Mondoberfläche Blitze, die von der Erde aus mit Amateurteleskopen und Videokameras nachgewiesen werden können. Nach vorliegenden Erfahrungen kann von bis zu einem sichtbaren Treffer pro Tag ausgegangen werden. Damit können engagierte Amateurastronomen recht bald ein Erfolgserlebnis erzielen und gleichzeitig die Statistik über diese Ereignisse verbessern.

Einschläge auf dem Mond

Ein Impakt-Blitz entsteht durch den Einschlag eines (kleinen) Teilchens auf dem Mond. Je nach Einfallrichtung beträgt die Geschwindigkeit der Impaktoren zwischen 20km/s und 70km/s. Erstmals wurde 1999 während des Leoniden-Meteorstroms ein solcher Blitz nachgewiesen, als zwei räumlich getrennte Beobachter diesen zur selben Zeit am selben Ort auf dem Mond mit Videokameras aufzeichneten. Der hellste Leonid erreichte eine Helligkeit von 3^m, doch die meisten Blitze wurden bisher bei 8^m–9^m aufgezeichnet. Das Ereignis dauert nur etwa 1/20s und ist auf einem Video nur auf wenigen Bildern zu sehen. Ab 2006 begannen am »Meteo-

roid Environment Office« der NASA systematische Beobachtungen der unbeleuchteten Mondseite mit Videokameras. In einem Zeitraum von vier Jahren konnten dort mehr als 230 Treffer gezählt werden. Mit einer verlässlichen Statistik in diesem unteren Massenbereich lassen sich unsere Kenntnisse über die Entwicklung von Teilchenflüssen im Sonnensystem bis in unsere Zeit erweitern.

Gelegenheit für ambitionierte Amateurastronomen

Es gibt eine große Zahl von Einzelbeobachtern, astronomischen Vereinen, Schulen, Universitäten etc., die mit Teleskopen von 200mm und mehr ausgestat-

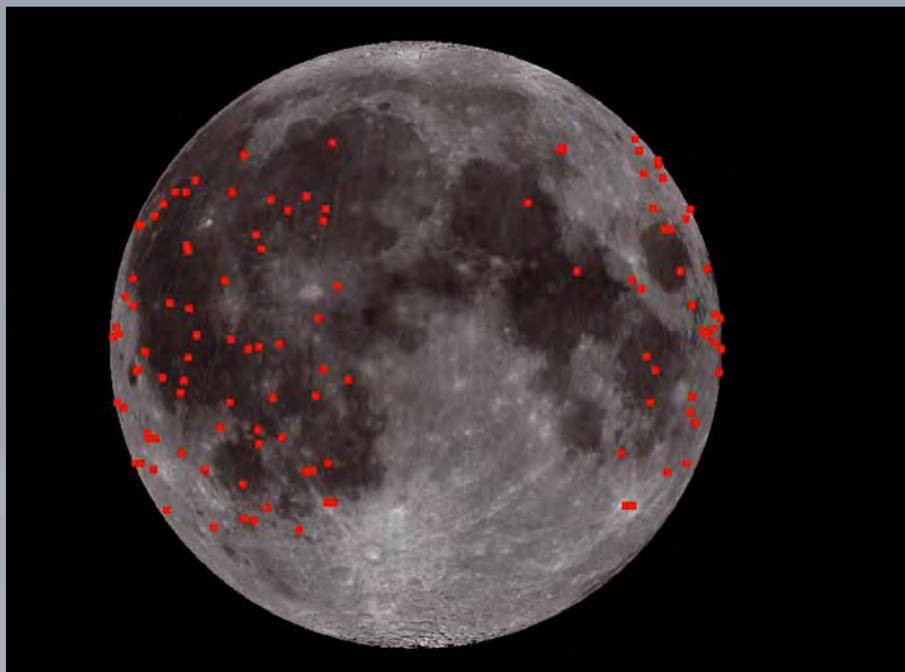
Abb. 1: Über 200 Einschlagblitze aus 200 Stunden Beobachtungszeit in vier Jahren. Auf der westlichen Mondseite (links) werden 1,45x mehr Treffer nachgewiesen.

tet sind. Sie können an einem weltweiten Projekt teilnehmen, in welchem die aktuell laufenden Beobachtungen aufgezeichnet und mitverfolgt werden können.

Eine verlässliche Statistik über Impakt-Blitze erfordert eine systematische und kontinuierliche Beobachtung, deren Durchführung von der Erde aus zunächst einen gravierenden Nachteil beinhaltet: Durch die große Entfernung von im Mittel 380000km können nur größere Ereignisse nachgewiesen werden. Andererseits kann der gesamte unbeleuchtete Teil des Mondes gleichzeitig überwacht werden, während eine Kamera im Mondorbit höchstens 3% der Oberfläche auf einmal erfassen kann. Für eine lückenlose Abdeckung der Beobachtungen müssen möglichst viele Stationen um die ganze Erde herum verteilt werden.

Je größer die Anzahl der Teilnehmer ist, desto mehr Vorteile ergeben sich:

- Das gesamte Projekt wird weniger abhängig vom Wettergeschehen. Es steigt die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens eine Station gute Sichtbedingungen hat.
- Bei einer guten räumlichen Abdeckung entlang des Erdglobus wird eine laufende Beobachtung bei Monduntergang von weiter westlich gelegenen Stationen fortgesetzt.
- Eine feinmaschige Abdeckung ist besonders hilfreich bei schmalen Sichel, denn dann ist die reine Beobachtungszeit zwischen Sonnenuntergang/-auf-



R. SIEGEL, NASA METEOROID ENVIRONMENT OFFICE

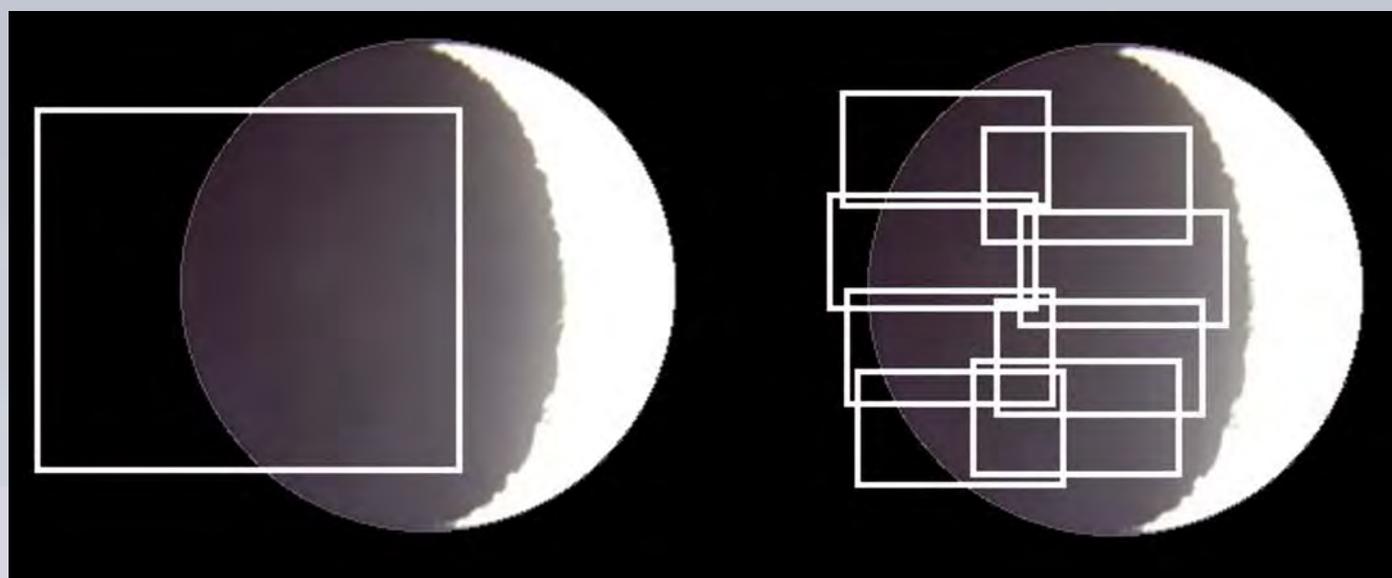
gang und Monduntergang/-aufgang sehr kurz.

- Für den zweifelsfreien Nachweis eines Blitzes sind mindestens zwei unabhängige Aufzeichnungen erforderlich, aber auch Einzelbeobachtungen unterstützen die Daten.
- Bei mehreren gleichzeitig aktiven Teleskopen kann das eingesetzte Bildfeld verkleinert werden. Dadurch wird eine höhere räumliche Auflösung erzielt und die Erkennbarkeit des Signals verbessert. Dies gilt sowohl für einen Einzelbeobachter, dem mehrere Teleskope zur Verfügung stehen, aber auch für räumlich getrennte Beobachter, wenn eine Koordination der Beobachtung über einen Projektserver möglich ist.

Ablauf einer Beobachtung

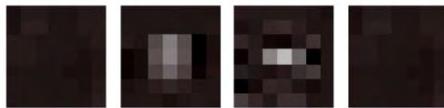
Die Beobachtung der Blitze kann nur auf der unbeleuchteten Seite des Mondes erfolgen, solange dieser am lokalen Beobachtungsort sichtbar ist. Daraus ergeben sich folgende Bedingungen:

- Günstige Zeit: Neumond bis Halbmond (zunehmende Sichel, abends, ca. fünf Nächte)
- Günstige Zeit: Halbmond bis Neumond (abnehmende Sichel, morgens, ca. fünf Nächte)
- Die Beobachtungsperiode umfasst ca. zwei Wochen pro Monat.
- Eine Einzelbeobachtung kann je nach Mondphase 1–6 Stunden betragen.
- Das Bildfeld beträgt im Idealfall ca. 20'.



R. SIEGEL, NASA METEOROID ENVIRONMENT OFFICE

Abb. 2: Die Bildfeldauswahl bei mehreren gleichzeitigen Beobachtern verbessert die Auflösung.



- Das Bildfeld wird so gewählt, dass der beleuchtete Teil der Sichel gemieden wird.
- Im Normalfall wird das maximal sinnvolle Bildfeld verwendet.
- Ein Projektserver kann je nach Anzahl der aktuellen Teilnehmer ein kleineres Bildfeld empfehlen.
- Die Beobachtungen werden auf Video aufgezeichnet.
- Im Video sollten Hintergrundsterne bis 12^m sichtbar sein.
- Das MPG-Format sollte wegen der Komprimierungsartefakte vermieden werden.

Ausrüstung

Die Beobachtung der Lunaren Impakt-Blitze erfordert ein Teleskop mit 200mm und mehr Öffnung einschließlich einer Nachführung. Weiterhin wird eine empfindliche Videokamera benötigt, z.B. eine Mintron oder Watec (B&W, 8 Bit) sowie ein genaues Zeitsignal.

Die normale Aufnahmezeit von 25fps oder 30fps ist ausreichend. Von Vorteil sind jedoch schnellere Kameras. Eine Peltier-Kühlung des Chips ist nicht unbedingt erforderlich. Die Aufzeichnung sollte als unkomprimiertes Video erfolgen (kein MPEG!).

Optional können Beobachtungen auch im Infrarotbereich durchgeführt werden, was jedoch einen höheren finanziellen Einsatz erfordert.

Nach Ende der Beobachtung

Zunächst werden mit Hilfe eines zur Verfügung gestellten Programms (vgl. Surftipps) Ereignisse gesucht. Das Programm übernimmt dabei die automatische Erkennung eines Blitzes und bestimmt den Zeitpunkt, die Helligkeit und den Ort des Blitzes im Koordinatensystem des Mondes. Nach der lokalen Speicherung der Informationen und Bilddaten werden die Daten an einen zentralen Projektserver übertragen und die aufgenommenen Videos vom Beobachter archiviert.

Selbst wenn die Software keine Einschlagblitze in den Aufnahmen findet, sollte das Videomaterial einige Zeit lang aufgehoben werden. Auf einer zentral verfügbaren Webseite werden alle Kandidaten gelistet, die weltweit gefunden werden. Diese Zeitpunkte sollten vom Beobachter visuell auf dem Videoband kontrolliert werden. Durch gezielte Suchen sind bereits einige Doppelbeobachtungen gefunden worden, die von der Software nicht erkannt wurden. Zudem ist dies eine Möglichkeit, sich auch dann an der Suche zu beteiligen, wenn man die Erkennungssoftware nicht laufen lassen kann. Wichtig ist das archivierte Video. Eine möglichst große Zahl von unabhängigen Beobachtern erhöht die Wahrscheinlichkeit, ein Ereignis zu bestätigen.

NASA 2010 Impact Candidates (last updated 01/06/2011)

#	UT Date	UT Time	Video Frames (1/30 s)	Probable Type	Telescopes
225	14 Dec 10	03:33:39	3	Geminid	8", three 14"
226	14 Dec 10	03:42:20	2	Geminid	three 14"
227	14 Dec 10	04:08:31	3	Geminid	two 14"
228	14 Dec 10	04:29:48	1	Geminid	two 14"
229	14 Dec 10	04:35:40	2	Geminid	three 14"
230	14 Dec 10	04:43:04	1	Geminid	three 14"
231	14 Dec 10	04:52:12	2	Geminid	two 14"
232	14 Dec 10	05:23:56	7	Geminid	two 14"

(Flash magnitudes typically range between 7 and 10.)

* Confirmation! Mr. Brian Cudnik captured Impact Flash #225 on his 8" telescope from Texas.

Abb. 4: Eine Impakt-Kandidatenliste der NASA.

Abb. 3: Ein Impakt-Blitz (rechts unten im oberen Bild). Die untere Reihe zeigt vier Einzelbilder im Detailausschnitt. Auf zwei Bildern ist der Lichtblitz zu sehen.

Projektserver

Am Projektserver werden alle Kandidaten analysiert und katalogisiert. Über ihn erfolgt die Kommunikation zwischen den Teleskopen zur Bestätigung von Ereignissen. Gleichzeitige Ereignisse von verschiedenen Stationen werden verglichen und identifiziert. Die Daten über alle ermittelten Zeitpunkte und Positionen werden gesammelt und bereitgestellt, um Bestätigungen von weiteren Teilnehmern zu ermöglichen. Daten von eindeutigen Ereignissen werden zur erneuten Prüfung per E-Mail verteilt.

Bewertung von Beobachtungen

Beobachtungen werden in vier Kategorien eingeteilt:

- **Bestätigt:** mindestens zwei unabhängige Beobachter, die mindestens 50km voneinander entfernt sind. Die Beobachtungen weichen max. 2 Zeitsekunden und 2° auf der Mondoberfläche voneinander ab.
- **Unbestätigt:** mindestens zwei unabhängige Beobachter, die weniger als 50km voneinander entfernt sind. Die Beobachtungen differieren um weniger als 5s und 5° auf dem Mond.
- **Möglich:** nur ein Beobachter, der Blitz ähnelt einem Impakt und ist auf mehr als zwei Bildern zu sehen
- **Kandidat:** jegliche Meldung von einem beliebigen Beobachter

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

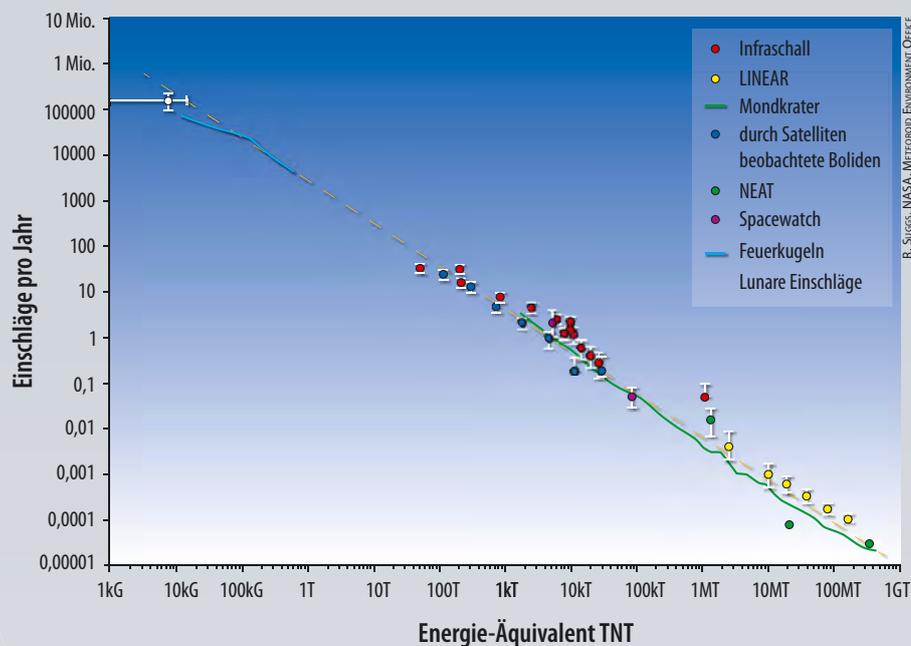


Abb. 5: Die Anzahl von Meteoroiden in Erdnähe in Abhängigkeit ihrer Energie. Impakt-Blitze auf dem Mond (links oben) sind häufige Ereignisse mit geringer Masse und Energie.

Materie im erdnahen Raum

Aus dem Weltraum stürzen beständig einzelne (sporadische) Körper auf Erde und Mond oder sie bewegen sich in sog. Meteorströmen durch das Sonnensystem. Diese entstehen durch Kollision oder Ausgasung von großen Mutterkörpern (Kleinplaneten oder Kometen) und kehren regelmäßig wieder. Über die Masse, Anzahl, spektrale Eigenschaften und Geschwindigkeiten der Partikel lässt sich auf Zusammensetzung, Bahneigenschaften und die Menge größerer Körper in den letzten Jahrhunderten schließen. Zusammen ergibt sich aus den Statistiken ein Überblick über das Verhalten der kleinen Objekte im Sonnensystem über große Zeiträume hinweg.

Die als Meteoroiden bezeichneten Partikel im erdnahen Raum können durch eine ganze Reihe von Techniken untersucht werden. Die meisten Kenntnisse über sie wurden bisher durch die Beobachtung nächtlicher Meteore mittels optischer Kameras vom Erdboden aus erzielt. Ihre Masse reicht von wenigen Milligramm bis zu mehreren Tonnen und das Material kann bröselig sein oder eine extreme Dichte besitzen. Nach derzeitigem Kenntnisstand scheinen sich im Besonderen die dichteren Objekte bevorzugt in retrograden Bahnen aufzuhalten, wodurch sie über die höchsten Kollisionsgeschwindigkeiten von bis zu 71km/s verfügen. Bedingt durch die Bewegung um die Erde werden auf der vorauslaufenden westlichen Seite des Mondes um einen Faktor 1,45 mehr Einschläge registriert als auf der nachlaufenden östlichen Seite. Insgesamt ergänzen die Ergebnisse für

Teilchen mit Massen ab 100g die anderen Werte aus Meteorbeobachtungen am unteren Ende der Skala bis zu den mehrere Kilometer großen Kleinplaneten.

Der kontinuierliche Nachweis von Meteoroiden kann weitere Fragen beantworten:

- Gesamtfluss von Teilchen im erdnahen Weltraum
- Variation der Impaktrate im Laufe der Zeit
- Identifizierung von Impakt-Gruppierungen
- Vergleich mit den Radianten bekannter Meteorschauer
- Vergleich mit theoretischen Radianten durch Bahnparameter bekannter Kometen oder Kleinplaneten
- Abhängigkeiten von Helligkeit und Häufigkeit der Blitze
- Vergleich mit der Umgebung anderer Planeten
- Kalibrierung (Masse und Geschwindigkeit vs. Impakt-Helligkeit)
- Vergleich mit Kraterstatistiken und (künftigen) seismischen Daten

Offene Fragen

Da Partikel aus Meteorströmen eine bekannte Geschwindigkeit besitzen, kann über die Lichtintensität auf die Masse und indirekt auf die Dichte und Größe der Teilchen geschlossen werden. Die systematische Beobachtung von Impakt-Blitzen auf dem Mond kann mit Daten von künftigen Raumsonden zusammen geführt werden. Mit einer Weitwinkelkamera im Mondorbit kann ein Gesichtsfeld von ca. 1000km Durchmesser abgebildet werden. Dieses Gebiet ist zwar deutlich kleiner als bei der Beobachtung von der Erde aus, dafür können aus dieser Entfernung sehr viel kleinere Impakte nachgewiesen werden. Durch die Zusammenführung dieser Daten kann die Populationskurve für Meteoroiden nach unten erweitert werden. Sobald wieder Seismometer auf dem Mond abgesetzt werden, können deren Daten mit den Positionen der Impakte verknüpft werden. Durch die bekannte Entfernung und das aufgezeichnete Signal ergeben sich dann weitere Eigenschaften sowohl der Impaktoren als auch des Mondinneren. Die Gefährdung von Mondstationen und Astronauten kann ebenfalls über die Häufigkeit der Impakte und ihrer Streuwirkung abgeschätzt werden.

Projekte

Die NASA, Frankreich und Spanien haben in den letzten Jahren eigene Suchprojekte entwickelt, die im Oktober 2010 auf einem Workshop vorgestellt wurden.

NASA: ALAMO (Automated Lunar and Meteor Observatory)

Frankreich: ILIAD (International Lunar Impacts Astronomical Detection)

Spanien: LION (Lunar Impact Observing Network)

Surftipps

Präsentationen des Lunar Impact Workshops 2010: euoplanet-na1.oaew.ac.at/?id=9#c62

Lunar Impacts Kandidatenliste der NASA: www.nasa.gov/centers/marshall/news/lunar/

ALPO Lunar Meteoritic Impact Search: alpo-astronomy.org/lunar/lunimpacts.htm

Software »LunarScan«: www.lunarimpacts.com/lunarscan15.zip

Der Sonne gefährlich nahe

Per Internet Kometen entdecken mit SOHO

VON RAINER KRACHT

Seit 1996 liefert die SOHO-Sonde Daten über den Sonnenwind, das interplanetare Magnetfeld und Bilder der unmittelbaren Sonnenumgebung. Bis dato sind in diesen Bildern mehr als 2000 bisher unbekannte Kometen gefunden worden. Fast alle dieser Kometen wurden von Amateuren gefunden, die die SOHO-Bilder aus dem Internet heruntergeladen hatten.

Das SOHO-Projekt

Die Sonnensonde SOHO wurde im Dezember 1995 als gemeinsames Projekt von ESA und NASA im Rahmen des Solar Terrestrial Science Program (STSP) gestartet. Sie erreichte im Februar 1996 ihre Bahn um den sog. L1-Punkt etwa 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt in Richtung Sonne. Im April 1996 begann der reguläre Betrieb von SOHO.

Eines der Instrumente an Bord der Sonde ist LASCO, der »Large Angle and Spectrometric Coronagraph«. Zwei LASCO-Kameras beobachten die direkte Sonnenumgebung mit einem Gesichtsfeld von 3° (C2-Kamera) und 15° (C3-Kamera). Die Sonne selbst wird dabei mit einer undurchsichtigen Scheibe abgedeckt. Die Bilder der LASCO-Kameras haben eine für heutige Verhältnisse geringe Auflösung von 1024×1024 Bildpunkten. Die schwächsten Sterne in den Bildern von LASCO C2 haben 9^m, LASCO C3 erreicht etwa 8^m.

Die ersten SOHO-Kometen

Die Entdeckungen der ersten SOHO-Kometen war keine große Überraschung. Die Vorgänger-Missionen SOLWIND (1979–1985) und Solar Maximum Mission (SMM, 1980–1989) hatten bereits einige sonnennahe Kometen entdeckt, die

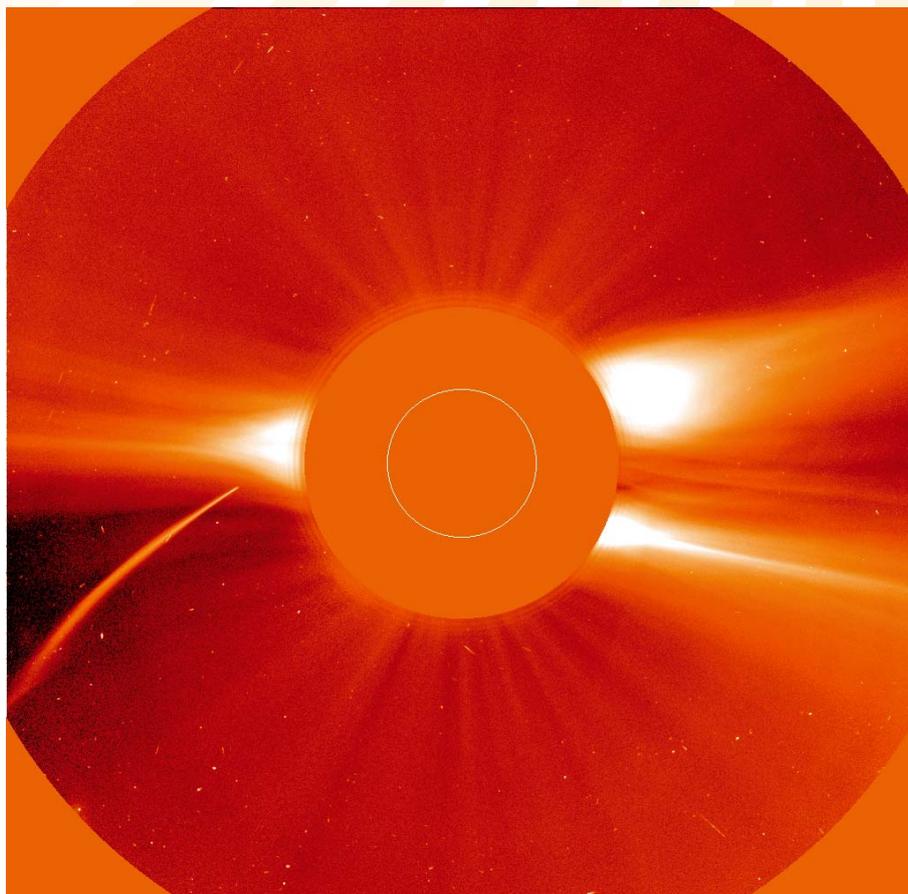


Abb. 1: Der Komet SOHO 6 auf seinem letzten Weg. Am 23. Dezember 1996 in einer Aufnahme der SOHO-LASCO-Kamera entdeckt, überlebte er die Annäherung an die Sonne nicht und teilte damit das Schicksal vieler Kometen der Sungrazer-Familie. Die Sonne wird durch eine große Blende abgedeckt, ihre Größe durch den weißen Kreis angedeutet.

LASCO SOHO CONSORTIUM, NRL, ESA, NASA

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

Abb. 2: Milchstraße und Kreutz-Komet C/1996 Y1 im Gesichtsfeld von LASCO-C3 vom 22. Dezember 1996. Durchmesser des Gesichtsfeldes etwa 15°. Der weiße Kreis in der Mitte zeigt den Ort und die Größe der Sonne. Sie ist von einer großen Blende abgedeckt, die von einem Pylon getragen wird. Sein Schatten ist nach links unten sichtbar. Hauptsächlich nach links und rechts sind sog. Streamer sichtbar – leuchtende Materie, die von der Sonne ausgestoßen wird. Unten und oben ist die Milchstraße im Sternbild des Schützen zu sehen. Dicht unter dem Schatten des Pylons befindet sich ein Komet der Kreutz-Gruppe (C/1996 Y1 SOHO). Besonders im oberen Bildteil sind einige Artefakte sichtbar, die durch den Einschlag von Teilchen des Sonnenwindes auf den CCD-Chip der LASCO-Kamera erzeugt werden.

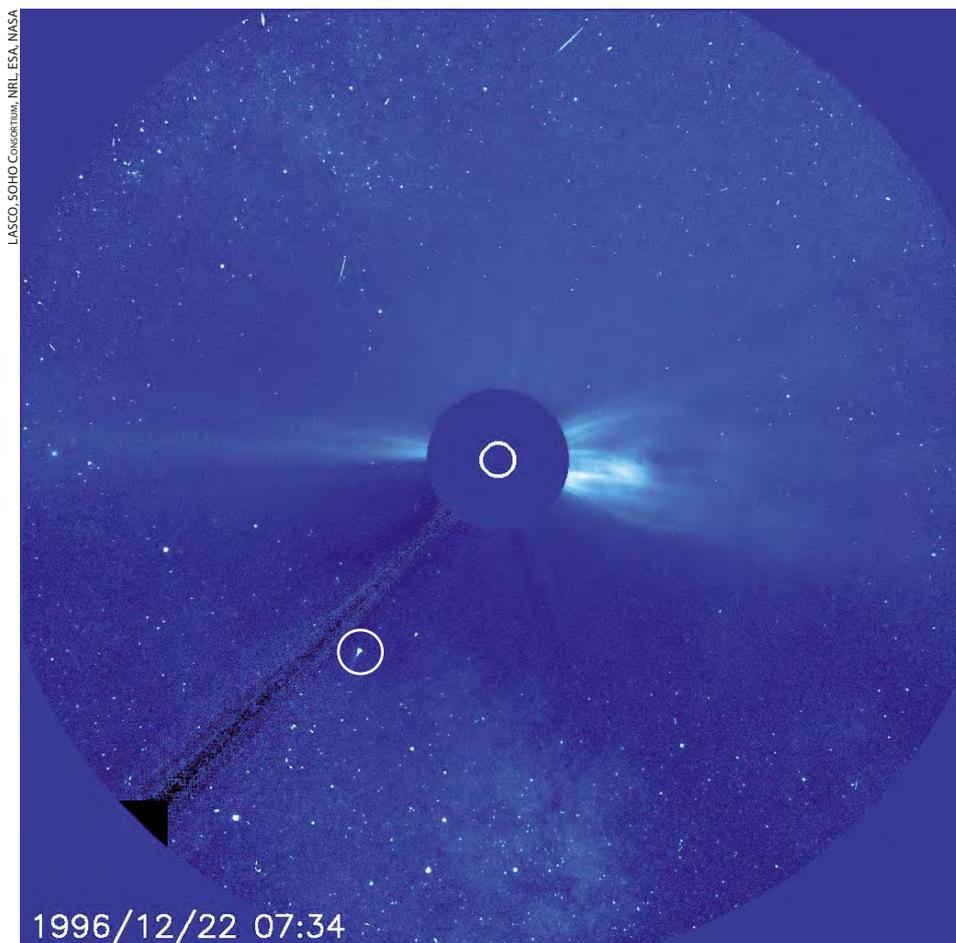
der Kreutz-Gruppe (s. Kasten) zugeordnet wurden. Die Empfindlichkeit ihrer Instrumente (Vidicon-Fernsehröhren statt CCD) war geringer, SOLWIND konnte Sterne bis 4^m sehen, SMM Sterne bis 6^m. SOHO-LASCO kann wesentlich schwächere Kometen entdecken. Die Sonnenphysiker des SOHO-Teams schenken den ersten Kreutz-Kometen in ihren Bildern wenig Beachtung, erst C/1997 H2 fand als erster Nicht-Kreutz-Komet seinen Weg zur Veröffentlichung auf einem Zirkular der Internationalen Astronomischen Union.

Ein Grund für die anfängliche Nichtbeachtung der Kreutz-Kometen mag die Tatsache sein, dass keiner der von SOLWIND, SMM oder SOHO gefundenen Kreutz-Kometen nach der größten Sonnennähe (Perihel) wiedergefunden wurde. Offenbar waren diese kleinen Fragmente bei ihrer Annäherung an die Sonne komplett verdampft. Nach dem Perihel fand sich keine Spur von ihnen. Es gab keinen Grund Beobachter zu alarmieren, damit sie nach einem neuen Kometen Ausschau halten.

Für C/1997 H2 wurden Vorhersagen für die Zeit nach dem Perihel veröffentlicht, erdgebundene Beobachtungen gelangten aber nicht. Ein Jahr später wurde der Nicht-Kreutz-Komet C/1998 J1 in den Bildern von SOHO-LASCO C3 gefunden und diesmal gelang die Wiederentdeckung mit erdgebundenen Teleskopen.

Amateure übernehmen die Entdeckungsarbeit

Im Frühjahr 1999 wurde ein Internetzugang für das Herunterladen der LASCO-Bilder eingerichtet. Seitdem sind die Bilder



in zwei Varianten erhältlich – als Rohdaten im astronomischen FITS-Format und als bearbeitete Bilder im GIF- oder JPEG-Format. Bei den bearbeiteten Bildern ist ein Mittelwert für die Helligkeit der Sonnenkorona abgezogen. Sie werden dadurch wesentlich kontrastreicher. Man kann die Milchstraße hinter der (abgedeckten) Sonne sehen!

Mit dem Internetzugang zu den LASCO-Bildern explodierte die Zahl der Kometenentdeckungen. Bis zum Ende des Jahres 1999 waren insgesamt 94 Kometen gefunden worden. Allein im Jahr 2000 kamen 71 Kometen aus den laufenden Bildern dazu. Außerdem wurden 114 neue Kometen in den archivierten Bildern von 1996–1999 gefunden (also mehr als vorher dort entdeckt worden waren).

Insgesamt hatte SOHO nun 280 Kometen entdeckt, davon 263 (94%) Kreutz- und 17 (6%) Nicht-Kreutz-Kometen. Brian Marsden, der damalige Direktor des Astronomischen Zentralbüros, vermutete, dass man einen kontinuierlichen Strom von Kreutz-Kometen sehen würde, wenn man noch kleinere Kometen entdecken könnte. Bis heute hat der Strom der Kreutz-Kometen in den SOHO-LASCO Bildern angehalten und er ist sogar noch etwas stärker geworden.



Abb. 3: Ikeya-Seki im Perihel im Oktober 1965. Er war einer der hellsten Kometen der Kreutz-Gruppe und mit bloßem Auge in Sonnennähe sichtbar, wenn man die Sonne mit der Hand abdeckte. Das Bild wurde am 21. Oktober 1965, dem Tag der größten Sonnennähe, mit einem 120mm-Koronografen aufgenommen.

Die Entdeckung der neuen Kometen-Gruppen

Erstaunlicherweise fanden sich unter den 17 bis Ende 2000 entdeckten Nicht-Kreutz-Kometen vier Paare mit jeweils ähnlichen Bahnen. Die beiden Komponenten

Die Kreutz-Gruppe

Die Kreutz-Gruppe besteht aus Kometen auf ähnlichen Umlaufbahnen, die der Sonne sehr nahe kommen und dabei sehr hell werden können. Zu ihr gehören die drei Taghimmel-Kometen von 1843, 1882 und 1965 (Ikeya-Seiki). Im 19. Jahrhundert erschienen zwei weitere Mitglieder der Gruppe in den Jahren 1880 und 1887. Heinrich Kreutz (1854–1907) fand heraus, dass die vier Kometen von 1843, 1880, 1882 und 1887 zusammengehören und Umlaufzeiten von mehreren hundert Jahren haben.

Im 20. Jahrhundert wurden von der Erde aus vier weitere Kometen dieser

Gruppe in den Jahren 1945, 1963, 1965 und 1970 entdeckt. Beobachtungen aus früheren Jahrhunderten zeigen eine Vielzahl von möglichen Kandidaten wie z.B. den hellen Kometen vom Jahr 1106, aber nur der Komet von 1668 gilt als sicheres Mitglied der Gruppe.

Die mit Koronografen (zur Beobachtung der unmittelbaren Sonnenumgebung) ausgestatteten Erdsatelliten SOLWIND und SMM entdeckten 1979–1989 weitere 18 Kometen der Gruppe. Die Sonden SOHO hat seit 1996 bisher rund 1600 meist kleine (geschätzte Durchmesser etwa 10m) Kreutz-Kometen entdeckt.

Seit 2008 gibt es ein paar Dutzend zusätzliche Entdeckungen durch die beiden STEREO-Sonden.

Man geht davon aus, dass alle Kreutz-Kometen von einem außerordentlich großen Kometen abstammen, der sich im Laufe von Jahrtausenden immer wieder geteilt hat und dessen Teile immer weiter zerfallen sind. Als Kandidat für den Ursprung der Kreutz-Gruppe gilt der Komet aus dem Jahre 371 v. Chr. Der griechische Historiker Ephorus berichtete, dass dieser extrem helle Komet in zwei Teile auseinandergebrochen sei.

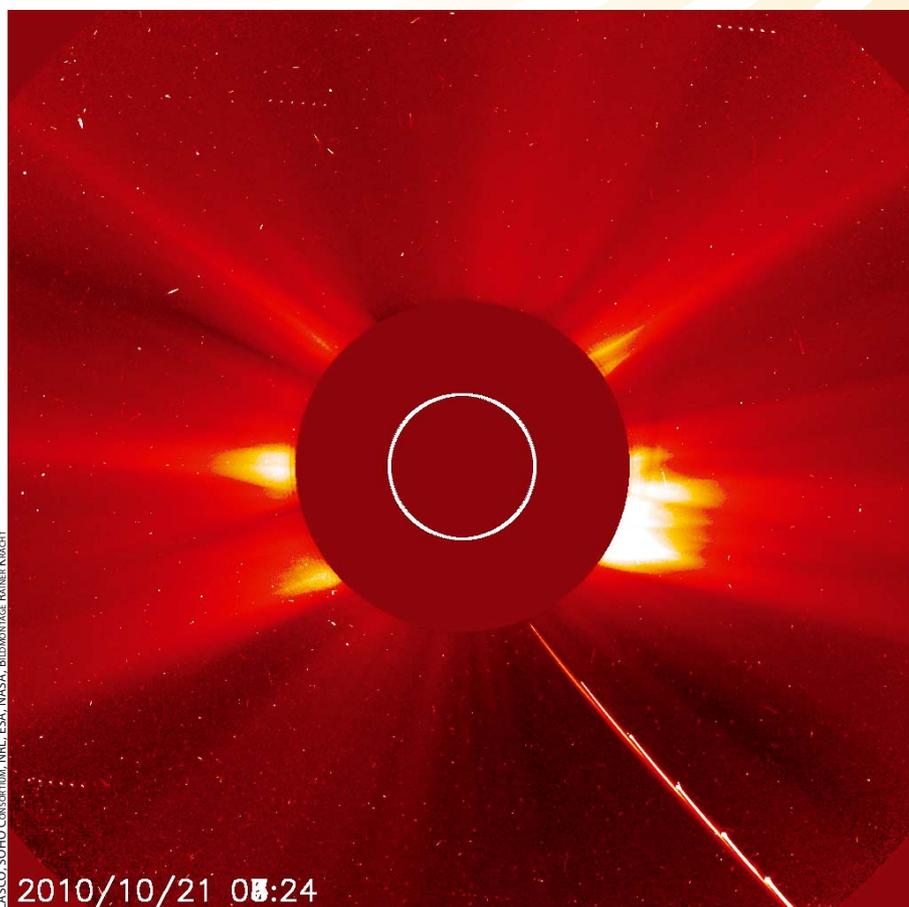


Abb. 4: Der helle Kreutz-Komet vom Oktober 2010. Sechs Bilder der SOHO-LASCO-C2 Kamera vom 21. Oktober 2010 addiert (Aufnahmen von 3:24, 4:24, 5:24, 6:24, 7:24 und 8:24 UTC). Durchmesser des Gesichtsfeldes etwa 3,5°. Der weiße Kreis in der Mitte zeigt den Ort und die Größe der Sonne. Um die Blende herum sind zahlreiche solare Streamer sichtbar. Der Komet befindet sich wenige Stunden vor der größten Annäherung an die Sonne in Auflösung. Sein Kopf wird von Bild zu Bild kleiner, zuletzt ist nur noch der Schweif sichtbar. Nach dem Periheldurchgang tauchte er nicht wieder auf.

ten der verschiedenen Paare hatten recht unterschiedliche Abstände. In einem Fall waren sie dicht beieinander in den gleichen Bildern zu sehen, in den anderen drei Fällen lagen jeweils 14 Stunden, vier

Tage und mehr als fünf Monate zwischen den Erscheinungen. Das war eine eigenartige Häufung von Kometen-Paaren, aber das Bild dahinter war noch völlig unklar.

Erst nachdem Ende 2001 ein besonderer Nicht-Kreutz-Komet gefunden wurde, begann die Lösung dieses Rätsels. Der deutsche Amateurastronom Maik Meyer bemerkte die Ähnlichkeit der Bahnelemente dieses neuen Kometen mit einem Kometen, der viereinhalb Jahre vorher in den SOHO-LASCO-Bildern gesehen worden war. Zunächst glaubte er nur ein neues Paar gefunden zu haben. Aber als er die Bahnelemente mit denen der übrigen Nicht-Kreutz-Kometen verglich, fiel ihm einer auf, der bis auf die Bahnneigung sehr ähnlich war.

Dieser Komet war nur knapp zwei Stunden lang von SOHO beobachtet worden. Es gab gerade einmal sieben LASCO-C2-Bilder, in denen er zu sehen war. Ein Bildpunkt von LASCO-C2 entspricht 12" (erdgebundene Beobachtungen haben gewöhnlich Genauigkeiten von weniger als 1"), die Bahnberechnung war entsprechend unsicher. Maik Meyer gelang eine neue Bahnberechnung, die zeigte, dass dieser Komet zu seinem zeitlich weitem Paar passte. Außerdem wurden die Beobachtungen durch die neue Bahn sogar etwas besser als durch die alte wiedergegeben. Das war die Geburtsstunde der Meyer-Gruppe (vgl. Kasten).

Nun begann die Neuberechnung der Umlaufbahnen der bisher gefundenen Nicht-Kreutz-Kometen. Möglicherweise gab es ja darunter noch mehr Kometen, für die aufgrund ihrer kurzen Beobachtungszeit nicht die richtigen Bahnelemente gefunden worden waren. Tatsächlich fand Maik Meyer auf diese Weise drei weitere Mitglieder seiner Kometen-Gruppe. Brian Marsden entdeckte, dass zwei der bereits bekannten Paare zusammengehören. Die-

se vier Kometen bilden den Kern der Marsden-Gruppe.

Eine neue Suche beginnt

Bisher hatte sich die Suche nach SOHO-Kometen auf die untere Bildhälfte konzentriert, denn dort wurden die zahlreichen Mitglieder der Kreutz-Gruppe gefunden. Die Kometen der Marsden-Gruppe waren aber über das ganze Bild verteilt entdeckt worden, die Meyer-Kometen sogar hauptsächlich im oberen Teil der SOHO-Bilder. Es begann nun eine systematische Suche nach bisher übersehenen Nicht-Kreutz-Kometen in den archivierten Bildern. Sie war außerordentlich erfolgreich. Bis zum Ende des Jahres 2002 wuchs die Meyer-Gruppe bis auf 37 Mitglieder, die Marsden-Gruppe auf 14 Mitglieder und dem Autor gelang die Entdeckung einer weiteren Kometen-Gruppe. Diese Kracht-Gruppe hatte Ende 2002 ebenfalls 14 Mitglieder. Sie ähnelt der Marsden-Gruppe, die Mitglieder der Kracht-Gruppe haben aber deutlich unterscheidbare kleinere Bahnneigungen.

Abb. 5: 96P/Machholz im Perihel am 8. Januar 2002. Bild der SOHO-LASCO-C3 Kamera vom 8. Januar 2002. Links oberhalb der Blende befindet sich 96P/Machholz, rechts unterhalb ist die Venus zu sehen. Er war 2002 besonders hell. Dies geschah durch einen Effekt, der Vorwärtsstreuung genannt wird. 2002 befand sich der Komet bei seiner größten Sonnennähe zwischen Sonne und Erde, was eigentlich ungünstig für die Beobachtung ist. Aber durch die Streuung des Sonnenlichts an feinen Staubteilchen kann die Helligkeit eines Kometen unter diesen Umständen um mehrere Größenklassen ansteigen. 96P/Machholz ist offenbar ein aktiver Komet, der die »richtigen Staubteilchen« produziert.

Die Meyer-Gruppe

Die Meyer-Gruppe ist mit mehr als 100 Mitgliedern die stärkste neue Kometen-Gruppe. Der stetige Fluss neuer Kometen ähnelt stark der Kreutz-Gruppe, aber kein bekannter Komet ist mit der Gruppe verwandt. Die große Zahl der Fragmente und ihre Verteilung über mindestens 15 Jahre könnte auf einen recht massereichen (und alten) Ursprungskometen hindeuten.

Die hohe Bahnneigung (etwa 72°) ist typisch für Kometen mit langen Umlaufzeiten. Hinzu kommt, dass die große Halbachse der Meyer-Bahnen ebenfalls stark gegen die Ebene der Ekliptik geneigt ist. Diese Neigung wird durch die heliozentrische Breite des Perihels beschrieben. Für die Kometen der Meyer-Gruppe beträgt sie durchschnittlich 53°. Zum Vergleich: 96P/Machholz hat eine Bahnneigung von 60°, die heliozentrische Breite seines Perihels beträgt aber nur knapp 13°. Die Kometen der Kracht- und der Marsden-Gruppe haben heliozentrische Perihelbreiten von 11° bzw. 10°. Vermutlich liegt die Umlaufzeit der Meyer-Kometen um die Sonne bei mindestens mehreren zeh Jahren.

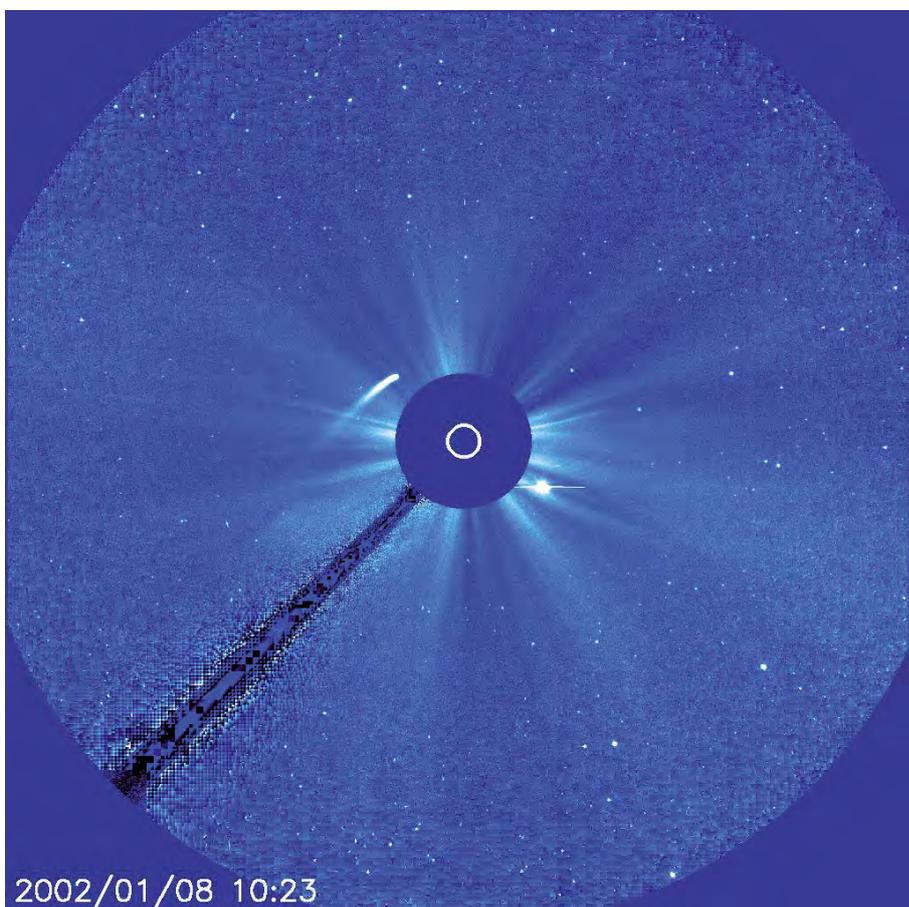
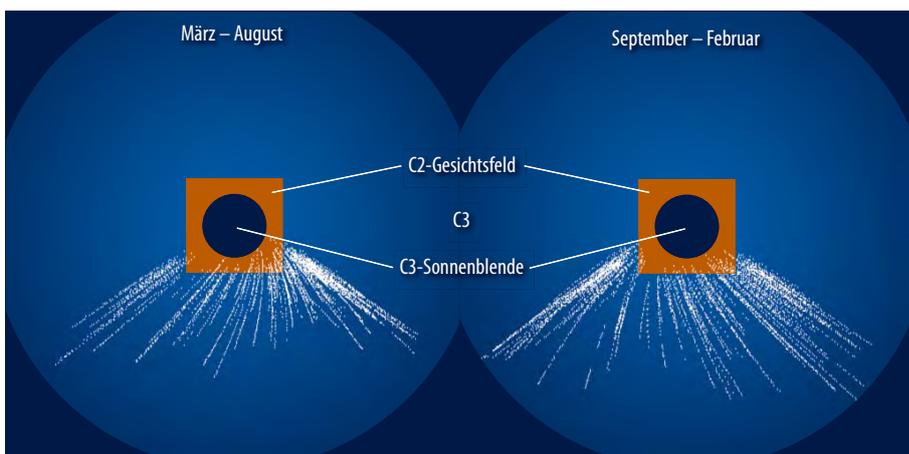


Abb. 6: Alle Positionen von Kreutz-Kometen 1996 bis 2004 in SOHO-LASCO-C3. Man sieht, dass die Kreutz-Kometen das Gesichtsfeld der C2-Kamera im Laufe des Jahres immer in der unteren Bildhälfte treffen, je nach Jahreszeit an verschiedenen Stellen: Von März bis August wandern die scheinbaren Bahnen von links nach rechts (links), von September bis Februar von rechts nach links (rechts). Wo der letzte Komet gefunden wurde, ist der nächste ganz in der Nähe. Die selteneren Nicht-Kreutz-Kometen können überall in den Bildern auftauchen.



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

Der Machholz-Komplex

Die Entdeckung der Kracht- und der Marsden-Gruppe im Jahr 2002 gehört zweifellos zu den interessantesten Ergebnissen der SOHO-Mission. Sie bilden zusammen mit 96P/Machholz und den Taghimmel-Arietiden den Machholz-Komplex. Hier gibt es einen relativ hellen, kurzperiodischen Kometen, einen starken Meteoroidenstrom (der die Erde trifft) und zwei neue Kometengruppen mit jeweils etwa drei Dutzend Erscheinungen in den SOHO-Bildern.

96P/Machholz ist in der Tat ein außerordentlich ungewöhnlicher Komet. Seine große Bahnneigung (60°) und seine geringe Periheldistanz ($0,12\text{AE}$) sind einzigartig unter den kurzperiodischen Kometen. Sein Spektrum ist so ungewöhnlich, dass sogar ein extrasolarer Ursprung vermutet wurde. Welche Auswirkungen zahlreiche sonnennahe Periheldurchgänge auf ein Kometenspektrum haben können, ist aber noch nicht untersucht worden.

Zu den offenen Fragen gehört auch, warum 96P/Machholz vor 1986 nicht gesehen wurde und welche anderen Himmelskörper möglicherweise Teil des Machholz-Komplexes sind. Mögliche Kandidaten sind der Meteorstrom der südlichen δ -Aquadriden und auch der als inaktiver Komet beschriebene Asteroid 2000 PG3, der wiederum mit bekannten Meteorströmen (den nördlichen und südlichen Pisciden und den Assoziationen γ -Arietiden und α -Pisciden) in Verbindung gebracht wird.

Einer der erst nachträglich im Bild-Archiv gefundenen Kometen der Marsden-Gruppe war im Juni 1999 dicht an der Erde vorbeigeflogen. Seine Bahn konnte recht genau bestimmt werden, immerhin gab es 76 Beobachtungen über einen Zeitraum von 40 Stunden. Die daraus berechnete Bahn zeigte eine größte Erdnähe von $0,024$ Astronomischen Einheiten ($3,6$ Mio. Kilometern) am 10. Juni 1999. Der Komet erhielt die Bezeichnung C/1999 J6.

Nun begann eine bemerkenswerte Detektiv-Arbeit. Der australische Amateurastronom David Seargent entdeckte, dass der Meteorstrom der Arietiden, der

sein Maximum am 8. Juni hat, auf einer ähnlichen Bahn um die Sonne läuft wie die Marsden-Kometen. Dies war der erste Hinweis darauf, dass die Kometen der Marsden-Gruppe Umlaufzeiten von nur wenigen Jahren haben könnten. Der Radiant der Arietiden liegt am Taghimmel, sie können nur per Radar beobachtet werden. Von den Taghimmel-Meteorströmen sind die Arietiden der stärkste Strom des Jahres.

Der Machholz-Komplex

Schon seit 1990 gab es die Vermutung, dass die Arietiden von dem kurzperiodischen Kometen 96P/Machholz stammen. Bestätigt wurde dieser Zusammenhang durch eine Arbeit von K. Ohtsuka, S. Nakano und M. Yoshikawa im Februar 2003 [2]. Sie zeigten durch die Integration der Bewegung von 96P, dass sich seine Bahn durch die störende Kräfte der Planeten langsam ändert und in wenigen hundert Jahren nacheinander die Bahnelemente der Marsden-Kometen, der Arietiden und der Kracht-Kometen annehmen wird. In einer ausführlicheren Untersuchung entwickelten Z. Sekanina und P. W. Chodas 2005 ein Modell zur Entstehung des Machholz-Komplexes [4]. Demnach könnten sich vor mehr als 1000 Jahren Teile von 96P/Machholz gelöst und eine beschleunigte Bahnentwicklung durchlaufen haben. Diese Teile zeigen dadurch schon heute Bahneigenschaften, die 96P/Machholz erst in einigen hundert Jahren haben wird.

96P/Machholz wurde 1986 von Don Machholz mit einem 29×130 Feldstecher entdeckt ($10^m - 11^m$). Die erste Bahnbestimmung ergab eine Parabelbahn mit einer Periheldistanz von $0,14\text{AE}$. Später stellte sich heraus, dass es sich um einen kurzperiodischen Kometen handelt (Periode $5,25$ Jahre, Bahnneigung 60° , Periheldistanz $0,13\text{AE}$). Das waren sehr ungewöhnliche Bahndaten für einen kurzperiodischen Kometen. Die geringe Periheldistanz war einzigartig unter den kurzperiodischen Kometen und die große Bahnneigung recht selten.

Nach der Arbeit von Ohtsuka u.a. konnte erwartet werden, dass die Marsden- und Kracht-Kometen ähnliche Umlaufzeiten wie 96P/Machholz haben, also etwa $5,3$ Jahre für einen Umlauf um die Sonne brauchen. Die beobachteten Bahnbögen dieser Kometen daraus direkt berechnen zu können. Es galt also einen der Kometen nach einem Umlauf um die Sonne wiederzufinden.



Abb. 7: C/1998 J1, einer der hellsten SOHO-Kometen und einer der wenigen von SOHO entdeckten Kometen, der auch von der Erde aus beobachtet wurde. Er wurde am 3. Mai 1998 in den Bildern der SOHO-LASCO-C3-Weitwinkelkamera gefunden und war dort für etwas mehr als fünf Tage sichtbar. Das Foto eines australischen Amateurs aus Oakey, Queensland zeigt den Kometen im Sternbild Orion. 20. Mai 1998, 8:36 UTC, 160mm-Refraktor.

Ein erstes passendes Paar wurde im Dezember 2004 gefunden. Brian Marsden zeigte, dass für die beiden Marsden-Kometen C/1999 J6 und C/2004 V9 eine gemeinsame Bahn mit einer Umlaufzeit von $5,5$ Jahren berechnet werden kann. Er beschrieb die Identität C/1999 J6 = 2004 V9 als »in hohem Maße möglich«. Die Neuberechnung der Bahn ergab, dass der schon oben erwähnte C/1999 J6 sich am 12. Juni 1999 der Erde sogar bis auf $0,0087\text{AE}$ ($1,3$ Mio. km) genähert hatte.

Die kurzen Bahnbögen und die Ähnlichkeit der Bahnelemente innerhalb einer Kometengruppe können aber dazu führen, dass eine Kometenerscheinung mit mehreren anderen Erscheinungen in der Gruppe verbunden werden kann. Die falsche Zuordnung von zwei Kometenerscheinungen zu einem Kometen führt aber zu einer falschen Bahnberechnung. Für eine sichere Bestimmung der Umlaufzeit müssen hier deshalb drei Erscheinungen eines Kometen miteinander verbunden werden. Dazu wären aber Beobachtungen über mindestens etwa elf Jahre nötig gewesen und die gab es noch nicht.

Die Bahnberechnung muss verfeinert werden

Am 17. September 2008 erschien in den LASCO-Bildern ein kleiner Komet (C/2008 S2), der sich keiner der bekannten Gruppen zuordnen ließ. Ein Vergleich der scheinbaren Bahnen und Geschwindigkeiten der anderen Nichtgruppen-Kometen, wie sie am 17. September von SOHO aus gesehen worden wären, zeigte eine mögliche Identität mit C/2004 X7. Es gelang dem Autor, eine gemeinsame Bahn für die beiden Kometen zu berechnen. Der vorhergehende Periheldurchgang sollte demnach am 18. Februar 2001 gewesen sein. Tatsächlich fand sich dort ein weiterer, bereits bekannter Nichtgruppen-Komet (C/2001 D1). Die gemeinsame Bahn aller drei Kometenerscheinungen führte zu einem weiteren Periheldurchgang am 1. Mai 1997.

Dort war noch kein SOHO-Komet gesichtet worden, aber die Suche in den archivierten Bildern erbrachte drei schwache, aber brauchbare Bilder des Kometen. Die gemessenen Positionen ergaben zusammen mit den Beobachtungen von C/2001 D1 eine gemeinsame Bahn. Auch die Positionen von C/2004 X7 passten dazu. Eine Verbindung aller vier Erscheinungen gelang

Abb. 8: Lichtkurven von P/2010 H3 – dem ersten, sicheren periodischen Komet der Marsden-Gruppe –, 2004 V9 und 1999 J6. Dreiecke zeigen SOHO-LASCO-C2-Beobachtungen durch ein Orange-Filter, Kreise C3-Beobachtungen durch ein Klarfilter, Sterne C3-Beobachtungen durch ein Orange-Filter. Die Differenz zwischen den C2- und C3-Beobachtungen beruht auf den unterschiedlichen Filtern, die benutzt wurden. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Filter sind die Lichtkurven bei allen drei Erscheinungen praktisch identisch und sie sind heller als alle anderen bisher beobachteten Kometen der Marsden-Gruppe.

Nicht-gravitative Kräfte

Dass die Bahnen der Kometen nicht nur von den Anziehungskräften der Sonne und der Planeten gesteuert werden, wurde schon 1819 entdeckt, als sich zeigte, dass der kurzperiodische Komet 2P/Encke nach jedem Umlauf um die Sonne etwa 0,1 Tage früher erschien als berechnet. Die handschriftlichen Berechnungen mit der Hilfe von Logarithmentafeln waren allerdings sehr aufwändig. Erst 1892 wurde ein Komet (5D/Borsen) gefunden, dessen Periheldurchgang 0,6 Tage später erfolgte als berechnet. Von nun an gab es Differenzen in beiden Richtungen, Kometen erschienen etwas zu früh oder zu spät im Vergleich zu der rein gravitativen Berechnung. Untersuchungen im 20. Jahrhundert haben gezeigt, dass die störenden Kräfte von den Kometen selbst verursacht werden. Aktive Kometen geben hauptsächlich in größter Sonnennähe Gas und Staub ab, der Rückstoß von verdampfendem Wasseris kann ihre Bahn verändern.

Kleine Kometen, die der Sonne sehr nahe kommen, sind dabei besonders stark von dieser Störung betroffen. Das Verhältnis von Oberfläche (der Quelle der störenden Kräfte) zu Volumen (Masse) der Kometen nimmt mit abnehmenden Durchmesser zu. Bei einem gleichen Anteil von aktiven Gebieten auf der Oberfläche wird ein kleiner Komet dadurch stärker beschleunigt als ein großer Komet. Als Ergebnis sind Abweichungen von sogar 10 Tagen in der berechneten Ankunftszeit von den kleinen, sonnennahen SOHO-Kometen möglich, wie das Beispiel des Marsden-Kometen P/1999 J6 = 2004 V9 = 2010 H3 gezeigt hat.

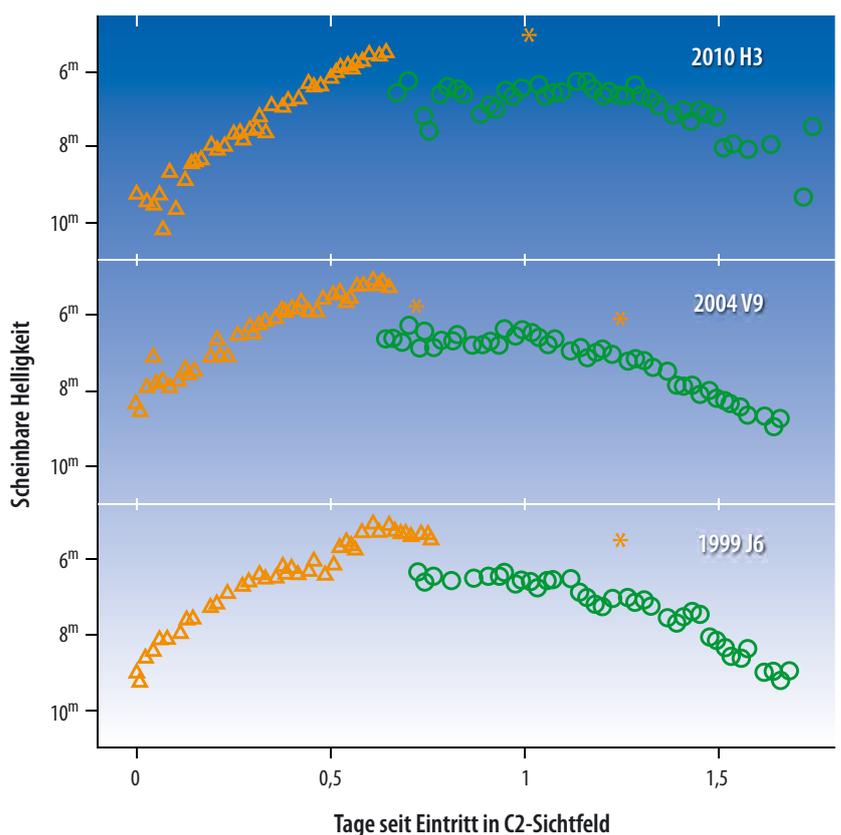
jedoch nicht. Nun gab es zwei Drillinge 1997-2001-2004 und 2001-2004-2008.

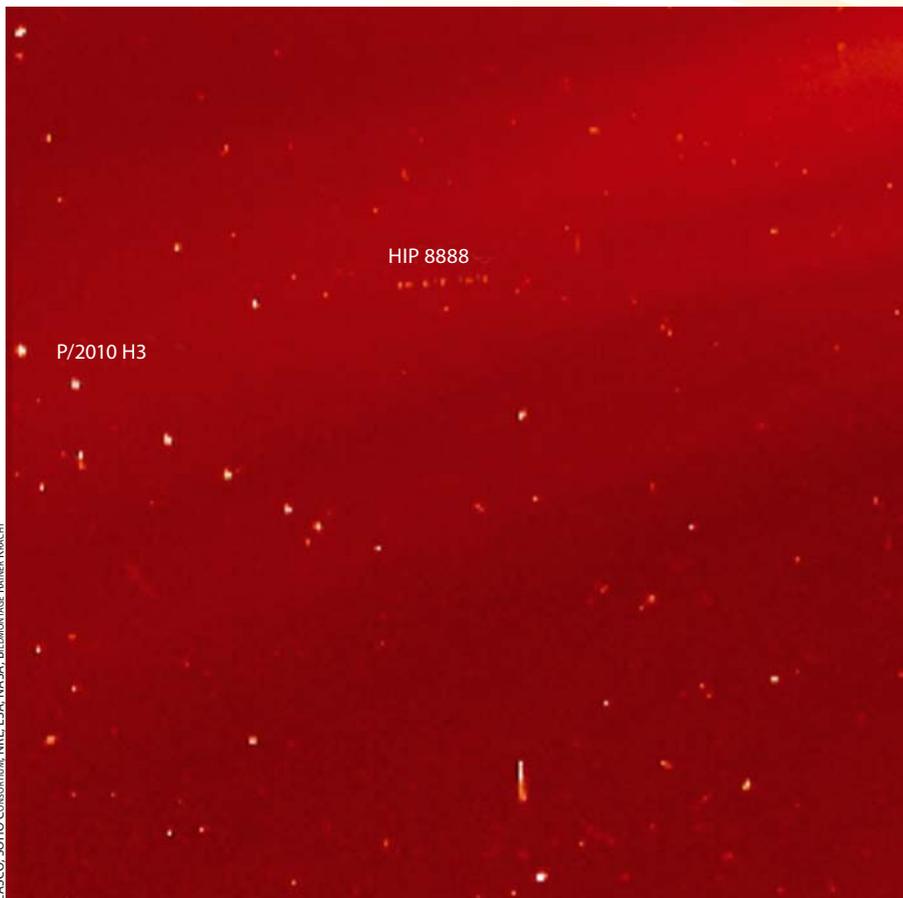
Etwas fehlte um die Verbindung aller Beobachtungen von 1997–2008 zu erreichen. Die kleinen, störenden Anziehungskräfte der Planeten konnten es nicht sein. Sie waren bereits berücksichtigt. Es blieben nur nicht-gravitative Kräfte (vgl. Kasten), die durch die Aktivität eines Kometen hauptsächlich in Sonnennähe entstehen können.

Es stellte sich heraus, dass in diesem Fall schon sehr kleine nicht-gravitative Kräfte ausreichten, um alle Beobachtungen des Kometen unter einen Hut zu bringen.

Neues von der Kracht-Gruppe

Die Kracht-Gruppe war bis Ende 2008 auf 33 Mitglieder angewachsen. Es gab nun Beobachtungen aus einem Zeitraum





LASCO-SOHO Consortium, NRL, ESA, NASA, Bildmontage: Rainer Knaack

Abb. 9: P/2010 H3 in sechs Bildern von SOHO LASCO C2, addiert, ausgeschnitten und zweifach vergrößert. Der Komet bewegt sich nach links oben zum Rand des Gesichtsfeldes. Der einzige Stern im Bild ist HIP 8888, er ist etwa 7^m hell und bewegt sich von links nach rechts. Durch die Addition der Bilder zeigt sich eine Unmenge von Artefakten, hauptsächlich erzeugt von energiereichen Teilchen des Sonnenwindes. Sie sind in jedem Bild vorhanden und können wie Sterne oder Kometen aussehen. Erst durch den Vergleich mehrerer Bilder können schwache Sterne und Kometen sicher identifiziert werden. Aufnahmen vom 19. April 2010 11:54, 12:06, 12:30, 12:54, 13:31 und 13:54 UTC.

von zwölf Jahren. Bei einer Umlaufzeit um die Sonne von fünf bis sechs Jahren entsprechend der Periode von 96P/Machholz sollte sich damit die Identifikation von drei zueinander passenden Erscheinungen desselben Kometen finden lassen. Zwar ließen sich z.B. die Beobachtungen von 1996 und 2002 miteinander verbinden und führten zu Vorhersagen für das Jahr 2008, aber die vier Kracht-Kometen des Jahres 2008 erschienen nicht zu den vorher berechneten Zeitpunkten. Das war dann doch ziemlich beunruhigend. Immerhin gab es einen Fall, in dem ein Kracht-Komet 2008 nur wenige Stunden nach der vorhergesagten Zeit in den LASCO-C2 Bildern auftauchte.

Diese Zeitdifferenz konnte wiederum mit kleinen nicht-gravitativen Kräften erklärt werden. Eine solche Lösung (C/1996 X3 = 2002 S7 = 2008 N4) wurde in den Zirkularen des Minor Planet Center (das ja auch für die Kometen zuständig ist) Anfang Mai 2009 veröffentlicht. Offen blieb, wo denn die zeitlich zu C/1996 X3 sehr nahen Kometen C/1996 X4 und X5 geblieben waren (das

waren sogar die beiden helleren des Trios X3/X4/X5).

Einen kleinen Lichtblick lieferte der hellste Kracht-Komet des Jahres 2008 (C/2008 R7). Er war mit $5^m,5$ sogar in den Bildern der COR2-Kamera der 2006 gestarteten Sonnen-Sonde STEREO-A zu sehen. Diese Kamera ist für die Bedürfnisse der Sonnenphysiker optimiert (z.B. ist die helle Natrium-Emission der sonnennahen Kometen ausgefiltert), hat aber ein größeres Auflösungsvermögen als SOHO-LASCO. Außerdem befinden sich STEREO-A und B nicht am L1-Punkt zwischen Erde und Sonne wie SOHO, sondern etwa auf der Erdbahn: der Erde voraus (STEREO-A) und der Erde folgend (STEREO-B), beide Sonden entfernen sich langsam von der Erde. Daraus ergab sich für C/2008 R7 eine wesentlich genauere Bahnbestimmung als für die übrigen Kometen der Kracht-Gruppe.

Der bis dahin hellste Komet der Kracht-Gruppe war C/2002 S11 mit ebenfalls $5^m,5$. Die Vermutung liegt nahe, dass C/2002 S11 = 2008 R7 ist. Die Beobachtungen die-

ser beiden Kometen lassen sich in der Tat verbinden und führen mit der Integration von nur gravitativen Kräften auf ein Perihel Ende 1996. Für eine Zusammenführung der Beobachtungen von einem der Kometen C/1996 X3/X4/X5 mit C/2002 S11 = 2008 R7 werden aber wesentlich stärkere nicht-gravitativ Kräfte benötigt als bis dahin in den Bahnrechnungen der SOHO-Kometen benutzt wurden.

Eine vorzeitige Rückkehr

Bis zum Jahresende 2008 hatte die Marsden-Gruppe 34 Mitglieder, unter denen einige zueinander passende Paare waren. Aber zu keinem Paar ließen sich Bilder von einem weiteren Periheldurchgang in den SOHO-Daten finden. Leider war die SOHO-Mission in den ersten zwölf Jahren nicht völlig reibungslos verlaufen. Es gab zwei ernste Krisen, die einen Datenausfall von mehreren Monaten zur Folge hatten und seit einer Störung der Steuerung der Hochleistungs-Sendeantenne gibt es im Abstand von drei Monaten Ausfälle von einigen Stunden oder mehreren Tagen. Es war durchaus möglich, dass einige der »fehlenden« Kometen in einem dieser Datenlöcher verschwunden waren.

Unter den möglichen Identitäten von Kometen der Marsden-Gruppe gab es zwei, die als besonders sicher gelten können. Die beiden Marsden-Kometen C/1996 V2 und C/2002 V5 sind die beiden einzigen mit einer Bahnneigung von mehr als 30° und ihre Beobachtungen lassen sich mit guter Genauigkeit mit einer gemeinsamen Bahn darstellen. Der nächste Periheldurchgang sollte am 9. November 2008 sein, das war aber am Beginn einer Störung des Datenempfangs. Der Komet wurde nicht gefunden.

Einen weiteren, sehr guten Kandidaten bildeten die beiden bisher hellsten Marsden-Kometen C/1999 J6 und C/2004 V9 (beide wurden mit einer größten Helligkeit von 5^m beobachtet). Auch für diese beiden Kometen konnte eine gute gemeinsame Bahn berechnet werden. Die Wiederkehr war für den 1. Mai 2010 vorhergesagt. Die Überraschung war groß als schon am 19. April 2010 ein heller Marsden-Komet (C/2010 H3) in den Bildern von SOHO-LASCO auftauchte. Das war 12 Tage zu früh!

Eine erste Bahnberechnung verband die Beobachtungen von C/2010 H3 mit denen von C/2004 V9. Helligkeitsmessungen von Matthew M. Knight zeigten, dass alle drei Kometen (C/1999 J6, 2004 V9, 2010 H3) ähnliche Lichtkurven hatten. Der Komet war hell genug um in den Weitwinkel-Aufnahmen von STEREO-A bis 61 Stunden

nach dem Perihel sichtbar zu sein. Seine Bahn war nun genauer bestimmt als von irgendeinem anderen Marsden-Kometen.

Alle drei Erscheinungen des Kometen konnten schließlich mit der Hilfe von relativ großen nicht-gravitativen Kräften miteinander verbunden werden. Dies ist die erste sichere Verbindung von drei Erscheinungen eines Kracht- oder Marsden-Gruppen Kometen. Die Umlaufzeit um die Sonne beträgt 5,4 bis 5,5 Jahre, sehr nahe an der von 96P/Machholz mit 5,3 Jahren. Das war eine schöne Bestätigung für den Zusammenhang zwischen 96P/Machholz, den Marsden- und den Kracht-Kometen und den Arietiden. Aber zweifellos sind mehr Beobachtungen notwendig um die Geschichte und Dynamik des Machholz-Komplexes zu verstehen.

Wie geht es weiter?

Die im Februar 2010 gestartete Sonnen-sonde Solar Dynamics Explorer (SDO vgl. interstellarum 75) hat einige der Aufgaben von SOHO übernommen. Dadurch ist zusätzliche Zeit für die Übertragung von LASCO-Bildern frei geworden. Statt wie bisher pro Stunde drei C2- und zwei C3-Bilder, werden seitdem meist fünf C2- und fünf C3-Bilder gemacht.

Schwache Kometen nahe am Hintergrundrauschen können dadurch leichter gefunden werden. Außerdem steigt die Qualität der Bahnrechnungen, da das geringe Auflösungsvermögen der LASCO-Kameras teilweise durch eine höhere Anzahl von Beobachtungen ausgeglichen werden kann.

Auf der anderen Seite wird kräftig gespart. Die Bilder werden nicht mehr rund um die Uhr übertragen, sondern meistens an Bord der SOHO-Sonde gespeichert und dann in drei relativ kurzen Zeitfenstern von den Antennen des Deep Space Networks der NASA in Australien, Spanien und Kalifornien abgerufen.

Die Weiterverarbeitung erfolgt auf zwei Schienen. Die meist schnellere geht über die Computer des Naval Research Laboratory (NRL), von dort können die Bilder in der Regel wenige Minuten nach dem Empfang heruntergeladen werden. Die NASA braucht für die Verarbeitung der Bilder etwas mehr Zeit, ist aber zuverlässiger (deren Computer fallen nicht so häufig aus).

Der Wettlauf um die erste Meldung

Wenn ein Komet in den Bildern auftaucht, heißt es schnell zu sein. Datum, Uhrzeit und die x-y-Bildkoordinaten des Objekts müssen über ein Online-Formular

an das NRL geschickt werden und erscheinen dann sofort auf einer NRL-Webseite. Der erste korrekte Eintrag gewinnt den Entdeckungs-Status. Alles was dann dazu von anderen Entdeckern mehr als 20 bis 30 Sekunden später beim NRL ankommt, gilt nicht mehr, da die Entdeckung ja schon veröffentlicht und bekannt war.

Wenn die Entdeckung von einem Mitarbeiter des NRL bestätigt wird, dann werden die x-y-Koordinaten des Objekts und der Referenzsterne gemessen und an das Astronomische Zentralbüro (CBAT) geschickt. Dort werden aus diesen Angaben in einem ersten Schritt die Himmelskoordinaten (Rektaszension und Deklination) berechnet. In einem zweiten Schritt werden die Bahnelemente bestimmt. Die Ergebnisse werden in einem Zirkular (M.P.E.C) veröffentlicht. Der Name aller SOHO-Kometen ist SOHO. Immerhin werden die Namen der Entdecker in den Zirkularen genannt.

Auf Entdeckungsjagd gehen

Um einen neuen SOHO-Kometen zu finden, braucht man hauptsächlich viel Geduld (und reichlich Zeit). Jedes Jahr werden etwa 100 neue Kometen der Kreutz-Gruppe entdeckt, die meisten davon in der C2-Kamera, wenn sie gerade in das Gesichtsfeld der Kamera hineinkommen. Besonders häufig sind diese Entdeckungen in den Monaten von April bis Juni und Oktober bis Dezember. In diesen Monaten erreichen die Kreutz-Gruppen Fragmente ihre größte Helligkeit im C2-Gesichtsfeld. Manchmal werden dann drei Kometen an einem Tag gefunden.

Niemand kann rund um die Uhr alle SOHO-Bilder herunterladen und nach neuen Kometen suchen. Und so teilen sich die Kometenjäger hauptsächlich aus China, Japan, Europa und den USA die Beute, wenn sie gerade online sind und die unteren Ränder der C2-Bilder nach möglichen Kometen absuchen.

Was wird noch gebraucht? Erfahrung und Urteilsvermögen: Nicht alles, was für den Anfänger wie ein möglicher Komet aussieht, ist auch einer. Ein realer Komet sollte in mindestens fünf aufeinander folgenden Bildern sichtbar sein, sein Aussehen und seine Helligkeit sollten sich nur in vernünftiger Weise ändern und seine Bewegung sollte keine Sprünge machen. Was das bedeutet wird am einfachsten sichtbar, wenn man sich die Bilder bereits bestätigter SOHO-Kometen ansieht. Es ist eine gute Idee, die Bilder der letzten etwa zehn bestätigten SOHO-Kometen anzuse-

hen, bevor man eine eigene, erste Entdeckung mitteilt.

Was man sonst noch braucht: einen Computer mit Internetzugang. Ein Programm, mit dem man x-y-Koordinaten in einem Bild messen kann, das macht z.B. das kostenlose Programm XnView. Einen Taschenrechner (oder gute Kopfrechenfertigkeiten), um die Geschwindigkeit der Kandidaten zu berechnen. Wenn der letzte, bestätigte Kreutz-Komet mit 60 Bildpunkten pro Stunde ins C2-Bild hineingekommen ist, dann sind gemessene Geschwindigkeiten von 40 oder 80 Bildpunkten pro Stunde das Aus für den Kandidaten.

Hält man sich an diese Regeln, so ist es nur eine Frage der Zeit (und Geduld) bis man seinen ersten SOHO-Kometen entdeckt hat.

- [1] Bailey, M. E., Chambers, J. E., Hahn, G.: Origin of sungrazers: a frequent cometary end-state, *Astron. Astrophys.* 257, 315 (1992)
- [2] Ohtsuka, K., Nakano, S., Yoshikawa, M.: On the Association among Periodic Comet 96P/Machholz, Arietids, the Marsden Comet Group, and the Kracht Comet Group., *Publ. Astron. Soc. Japan* 55, 321 (2003)
- [3] Hönig, S. F.: Identification of a new short-period comet near the sun, *Astron. Astrophys.* 445, 759 (2006)
- [4] Sekanina, Z., Chodas, P. W.: Origin of the Marsden and Kracht Groups of Sunskirting Comets, *Astrophys. J.* 161, 551 (2005)
- [5] Knight, M. M.: Studies of SOHO Comets, Digital Repository at the University of Maryland, hdl.handle.net/1903/8735 (2008)

Surftipps

- Aktuelle Bilder von SOHO-LASCO: sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html
- Guide to SOHO Comet Hunting (von Sebastian Hönig): www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/shoenig/Comets/Entries/2008/7/10_SOHO_comet_hunt.html
- Formular zur Meldung von SOHO-LASCO Kometen: sungrazer.nrl.navy.mil/index.php?p=cometform
- Aktuelle Meldungen von SOHO-LASCO Kometen: sungrazer.nrl.navy.mil/index.php?p=recent
- Mailingliste der SOHO Kometenjäger: tech.groups.yahoo.com/group/sohohunter/
- Aktuelle Bilder von STEREO-A und STEREO-B: secchi.nrl.navy.mil/sccimages/
- Minor Planet Electronic Circulars (MPECs auch für Kometen): minorplanetcenter.org/mpec/RecentMPECs.html

Kometen *entdecken*

Sind die Zeiten für Amateure vorbei?

VON BURKHARD LEITNER

Seit dem 18. Jahrhundert, als begonnen wurde Kometen nach ihren jeweiligen Entdeckern zu benennen, war das Entdecken von Kometen war in den letzten beiden Jahrhunderten ein fruchtbares Betätigungsfeld für Hobbyastronomen - aber wie sieht die Situation heute aus und welche Möglichkeiten bleiben dem Amateur? Was kann man angesichts wachsender professioneller Konkurrenz noch erreichen und gibt es Tipps, die einem die Suche erleichtern?

Geschichte der Kometenentdeckung

Kometen und ihr plötzliches Auftauchen wurden zu allen Zeiten und in vielen Teilen der Welt sorgfältig beobachtet, besonders ihrer astrologischen Bedeutung wegen. Lange blieb es aber bei Zufallsentdeckungen heller Kometen mit freiem Auge. Im Jahre 1680 begann dann ein neues Zeitalter: Gottfried Kirch glückte die erste teleskopische Kometenentdeckung. Aber trotz des Einsatzes optischer Hilfsmittel blieb die Anzahl der Kometenentdeckungen zunächst weiter unverändert. Im Durchschnitt wurde nur alle paar Jahre ein Komet entdeckt. Erst ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhundert, anlässlich der ersten vorausgesagten Wiederkehr des Kometen Halley, wurde begonnen, systematisch nach Kometen zu suchen: Es kam nun zu einem regelrechten Wettstreit, wer mehr dieser »Himmelswanderer« finden könnte; in Frankreich etwa zwischen den Astronomen Charles Messier (13 Kometen) und Pierre Méchain (9 Kometen), in England war Caroline Herschel zur selben Zeit sehr erfolgreich (8 Kometen). Dennoch konnte die maximale Entdeckungsrate von drei neuen Kometen pro Jahr – die bereits im Jahre 1618 erreicht wurde – nicht übertroffen werden. Die erste Hälfte des 19. Jh. war die große Zeit des Jean-Louis Pons. Der ehemalige Hausmeister am Observatorium in Marseille entdeckte in 26 Jahren ebenso viele Kometen. In den Jahren 1825 und 1826 gelangen mit seiner Hilfe neue Rekorde in der Anzahl der Entdeckungen: Von den acht neu entdeckten Kometen dieser beiden

Jahre gingen sechs auf das Konto von Pons. Ein weiterer Meilenstein der Kometenentdeckung kam mit dem Einsatz der Fotografie, als Edward Barnard 1892 die erste fotografische Entdeckung vermelden konnte. Bis weit ins 20. Jh. hinein blieb allerdings der Blick durch ein Teleskop das Mittel der Wahl. Erst in den 1930er Jahren begannen sich visuelle und fotografische Entdeckungen die Waage zu halten und nach dem 2. Weltkrieg wurde professionelle Kometenentdeckung praktisch ausschließlich auf fotografischem Wege gemacht. Für die Berufsastronomen waren diese Entdeckungen aber nur noch Nebenprodukte ihrer tatsächlichen Arbeit, etwa wenn beim Erstellen des Palomar Sky Survey 11 Kometen gefunden wurden.

Pionierzeit der Amateurentdeckungen

In den 1950er Jahren begannen goldene Zeiten für Hobbyastronomen, als Teleskope (zunächst vorwiegend im Selbstbau) erschwinglich und damit verbreitet wurden. Besonders in Japan florierte die Jagd nach Kometen. Pionier der Kometenentdeckung war dort Minoru Honda, der zwischen 1940 und 1968 nicht weniger als 12 Entdeckungen machte. In den 1960er Jahren folgten Tsutomu Seki (6 Kometen) und Kaoru Ikeya (5 Kometen). In den 1970er und 1980er Jahren kamen verstärkt Entdeckungsmeldungen von der Südhalbkugel. Einer der erfolgreichsten Amateure dort ist der Australier William Bradfield, der allein zwischen 1972 und 1989 14 Kometen entdeckte. Mit Ende der 1970er Jahre begann aber auch das Interesse

Abb. 1: Komet C/2002 O4 (Hönig) am 5.8.2002 – der bis dato letzte von Deutschland entdeckte Komet.

der professionellen Astronomie an Kometen wieder zu steigen, denn die systematische Suche nach Asteroiden und Kometen sollte die potentielle Gefahr eines plötzlich auftauchenden Himmelskörpers für die Erde minimieren. In Australien etablierte sich zu dieser Zeit das Siding Spring Observatorium, das bis heute eine der erfolgreichsten Stätten der Kometenentdeckung überhaupt ist: Zunächst mit Malcolm Hartley, heute besonders mit Robert McNaught (57 Kometen) und Gordon Garradd (17 Kometen) arbeiten dort sehr erfolgreiche Entdecker. Auch in den USA wurde die Kometenentdeckung in diesem Zeitraum von Berufsastronomen und Amateuren vorangetrieben. Das Ehepaar Carolyn und Gene Shoemaker entdeckte am Palomar Observatorium ab 1983 insgesamt 32 Kometen, viele davon gemeinsam mit ihrem Kollegen David H. Levy. Ihre bekannteste gemeinsame Entdeckung wurde D/1993 F2 (Shoemaker-Levy), der im Sommer 1994 beim Auseinanderbrechen und Aufprall auf Jupiter beobachtet werden konnte. Der erfolgreichste Amateur aus den USA ist der Kalifornier Donald Machholz, der von 1978 bis heute 11 Kometen fand.

Vom 18. Jahrhundert, als begonnen wurde Kometen nach ihren jeweiligen Entdeckern zu benennen, bis ins ausgehende 20. Jahrhundert war das Entdecken dieser Himmelskörper also immer auch ein fruchtbares Betätigungsfeld für Amateurastronomen. Als Lohn für die zeitaufwändige Arbeit winkte

MICHAEL JÄGER

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterver-



Abb. 2: Komet P/1998 (Jäger) wurde fotografisch von einem Amateur entdeckt (a). Michael Jäger wurde damit der einzige Kometenentdecker seit über 100 Jahren aus Österreich (b).

Entdeckung Jägers fest. P/1998 (Jäger) stellte sich als kurzperiodisch mit einer Umlaufzeit von knapp 15 Jahren heraus. Er wird im März 2014 zu seiner ersten Wiederkehr im Perihel erwartet.

In Deutschland gab es ebenfalls nur eine einzige Amateur-Kometenentdeckung nach 1946. Nachdem er etwa fünf Jahre systematisch nach Kometen gesucht hatte, entdeckte der Physikstudent Sebastian Hönig am 22. Juli 2002 doch recht zufällig »seinen« Kometen. Beim Beobachten von Kugelsternhaufen im Sternbild Pegasus geriet plötzlich ein etwa 12^m heller Nebelfleck ins Blickfeld seines 10"-SCT. Nach nur 20 Minuten konnte er bereits eine Bewegung des möglichen Kometen feststellen. Es war ein sehr spontaner Beobachtungsabend im Odenwald gewesen, so musste in Ermangelung von Papier das Etikett einer Wasserflasche als Skizzenblock dienen. Darauf fertigte Hönig eine grobe Zeichnung der hellsten Sterne und der Position des Kometen. Am nächsten Tag wurde dann zuhause vor allem eines überprüft: Gab es einen bereits bekannten Kometen an der fraglichen Stelle? Nachdem dies ausgeschlossen wurde, versendete Hönig seine Entdeckungsmeldung per E-Mail an das Central Bureau for Astronomical Telegrams (CBAT). Schlechtwetter und Mondlicht verhinderten jedoch eine Bestätigung der Entdeckung für einige Zeit, erst nach fünf langen Tagen Wartezeit kam die erlösende Nachricht. Der schon fast wieder verloren geglaubte Komet wurde u. a. von K. Kadato und Michael Jäger wieder aufgefunden und als C/2002 O4 (Hönig) bekannt gegeben.



nun immerhin, seinen Namen mit dem neuen Schweifstern in Verbindung bringen zu dürfen. Es gab aber auch immer wieder Versuche, die Arbeit der Amateur-Kometenentdecker finanziell zu entlohnen. Ende des 19. Jh. stiftete der Geschäftsmann Hulbert Warner etwa eine Prämie von 200\$ für jeden von den USA aus entdeckten Kometen. Seit 1999 wird der mit ca. 20000\$ dotierte Edgar Wilson Award vergeben, ein Preis der alljährlich unter allen erfolgreichen Hobby-Kometenentdeckern aufgeteilt wird.

Entdeckungen im deutschsprachigen Raum

Der deutschsprachige Raum konnte in den letzten fünfzig Jahren nur äußerst selten Entdeckungen vermelden. Zwischen 1969 und 1975 entdeckte Luboš Kohoutek an der Hamburger Sternwarte insgesamt fünf Kometen (s. S. 36). Der aus der damaligen Tschechoslowakei emigrierte Astronom ist damit der erfolgreichste Kometenentdecker von deutschem Boden seit Friedrich Winnecke (12 Kometen in der zweiten Hälfte des

19. Jh.). Besonders der 1973 entdeckte C/1973 E1 (Kohoutek) sorgte für einiges Aufsehen, als er in den Medien kurzerhand zum »Kometen des Jahrhunderts« ausgerufen wurde, diesen hohen Erwartungen dann aber nicht gerecht werden konnte. In der Schweiz entdeckte Paul Wild zwischen 1957 und 1990 am Observatorium Zimmerwald nahe Bern sieben Kometen, der interessanteste von ihnen ist der von der Raumsonde »Stardust« untersuchte 81P/Wild. Die einzige Kometenentdeckung des 20. Jh. in Österreich gelang hingegen einem Amateur: Der bekannte Astrofotograf Michael Jäger wollte am 23. Oktober 1998 mit seiner 250mm-Schmidt-Kamera den Kometen 52P/Harrington-Abell aufnehmen. Zu seiner Überraschung fand sich auf den Bildern aber noch ein weiterer potenzieller Komet mit einer Helligkeit von 12^m.5. Zur Bestätigung seiner Entdeckung machte er am folgenden Abend eine weitere Aufnahme, die nun auch die merkliche Bewegung des fraglichen Objektes zeigte. Nach weiteren nationalen (Sternwarte Davidschlag) und internationalen Beobachtungen stand schon am nächsten Tag die

Professionelle Suchprogramme

Visuelle Entdeckungen wie jene von Hönig sind in den letzten 15 Jahren immer seltener geworden, zu groß ist die Konkurrenz der professionellen Durchmusterungen auf der Suche nach erdnahen Himmelskörpern. Begonnen hat das Zeitalter dieser Suchprogramme im großen Stil im Jahre 1995. NEAT (Near-Earth Asteroid Tracking) war das erste davon. Das Gemeinschaftsprojekt von NASA, JPL und der Air Force startete im Dezember 1995 und bis zur Einstellung im April 2007 wurden von den Standorten Hawaii und Palomar Mountain aus 54 Kometen gefunden. Noch wesentlich erfolgreicher war das 1996 in Betrieb genommene LINEAR-Programm (Lincoln



Abb. 3: Der bislang letzte Kometenentdecker aus Deutschland: Sebastian Hönig.

Near-Earth Asteroid Research), das mit bis jetzt 201 Kometen als erfolgreichster Kometenentdecker aller Zeiten gilt. Mit diesen so genannten »Surveys« stieg auch die Anzahl der jährlichen Kometenentdeckungen erstmals explosionsartig an. War die Zahl der jährlichen Entdeckungen bis Mitte der 1990er Jahre nur sehr langsam angestiegen – die meisten neuen Kometen fand man etwa 1991 mit 21 Kometen – wurden 1997 bereits über 100 jährliche Entdeckungen registriert, 2004 erstmals über 200. In den letzten Jahren kamen weitere erdgebundene, aber auch satellitengestützte Suchsysteme hinzu. Mit der Entwicklung der Raumfahrt wurde und wird auch vom Weltraum aus nach Kometen Ausschau gehalten. Die erste Entdeckung gelang mit C/1979 Q1 SOLWIND im Zuge der Sonnenbeobachtung mit einem Koronografen, seit 1995 ist das Sonnenobservatorium SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) im Einsatz. Auf Aufnahmen dieses Satelliten haben vorwiegend Amateure inzwischen über 2000 sonnennahe Kometen gefunden (vgl. S. 56). Seit Anfang 2010 entdeckte das Infrarot-Weltraumteleskop WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) ca. 20 Kometen. Viel verspricht man sich zukünftig auch vom neuesten Survey – dem noch in der ersten Ausbaustufe befindlichen Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System) auf Hawaii, das bisher aber erst einen Kometen gefunden hat.

Angesichts dieser enormen Konkurrenz stellt sich natürlich schon seit einigen Jahren die Frage, wie sinnvoll und erfolgversprechend es für Amateure noch ist, sich auf die mühevollen und zeitaufwändige Suche nach Kometen zu machen. Bald nachdem er 2002 seinen ersten Kometen entdeckt hatte, fragte der japanische Hobbyastronom Shigeki Murakami, ob Kometenjäger noch eine Zukunft haben werden. Viele seiner Kollegen hatten Anfang des 21. Jahrhunderts mit der Kometensuche aufgehört, zu

gering schienen die Aussichten auf Erfolg zu sein. Seine Analyse inklusive einer Computersimulation von Entdeckungen ergab allerdings einige interessante Rückschlüsse. Zum einen dürften die Chancen, von der Südhalbkugel aus einen Kometen zu entdecken um einiges größer sein als auf der nördlichen Hemisphäre (weniger Konkurrenz durch Suchprogramme und andere Amateure). Zum anderen kommt er zu dem Schluss, dass eine Erhöhung der Grenzgröße seines Teleskops von 10^m auf 12^m die Chancen um 50% steigern würde.

Murakami nutzte die Antworten aus seiner Analyse bestens: Er entdeckte mit seinem 460mm-Teleskop erst im November 2010 seinen zweiten Kometen P/2010 V1 (Ikeya-Murakami).

Welche Möglichkeiten für Entdeckungen bleiben dem Amateur?

Entdeckungen auf fremden Aufnahmen

Die wohl einfachste Methode auch heute noch Kometen zu entdecken, bietet sich über die im Internet frei verfügbaren aktuellen Aufnahmen der Sonnensonden SOHO (LASCO und SWAN) und STEREO (Näheres dazu siehe S. 56). Der Nachteil dieser Kometensuche ist, dass die gefundenen Objekte praktisch niemals von der Erde aus sichtbar werden und auch nicht den Namen des Entdeckers bekommen.

Auch auf schon älteren Archiv-Bildern können manchmal noch Kometen aufgefunden werden. Zum Beispiel gelangen dem Deutschen Maik Meyer mehrere Vor-Entdeckungen von Kometen auf archivierten Survey-Bildern (NEAT, Palomar-DSS).

Entdeckungen mit ferngesteuerten Teleskopen

Auch ohne eigene Ausrüstung vor Ort oder bei anhaltendem Schlechtwetter kann man sich auf die Suche nach neuen Schweifsternen begeben: Es gibt mittlerweile einige ferngesteuerte Teleskope rund um den Glo-

bus, die man per Internet bedienen kann. Das bekannteste unter ihnen ist das bestens ausgebaute GRAS (Global-Rent-A-Scope)-Netzwerk. Dort werden derzeit an drei Standorten, nämlich Mayhill (New Mexico), Victoria (Australien) und Nerpio (Spanien), zwölf Teleskope gegen entsprechende Gebühr angeboten. In Mayhill stehen noch weitere Teleskope, die von überall aus gesteuert werden können: Auch das Tzec Maun Observatorium und das ISON-NM-Observatorium befinden sich hier. Von letzterem aus wurde über ferngesteuerte Aufnahmen der wahrscheinlich interessanteste Komet des Jahres 2011 – C/2010 X1 (Elenin) – von einem Amateur aus Russland entdeckt.

Es gibt auch Hobbyastronomen, die sich als eigene kleine Entdecker-Teams formieren. Den »La Sagra Sky Survey« gibt es seit 1995, zunächst wurde von Mallorca aus beobachtet, später übersiedelten die drei 450mm-Teleskope nach Südspanien, in die La Sagra Berge. Die Gruppe besteht aus nur vier Mitgliedern, eines ist vor Ort, die anderen bedienen die Teleskope ferngesteuert bzw. werten die gewonnenen CCD-Bilder aus. Inzwischen wurden bereits vier Kometenentdeckungen gemacht, allein drei davon im Jahre 2009.

Entdeckungen mit Hilfe automatisierter digitaler Astrofotografie

Ein eigenes fotografisches Suchprogramm (auch ganz ohne Teleskop!) auf die Beine zu stellen, ist besonders seit der Einführung von erschwinglichen digitalen Spiegelreflexkameras einfacher geworden. Vorreiter in diesem Bereich ist der australische Amateur Terry Lovejoy, der 2007 als erster einen Kometen mit einer solchen Kamera fand. Begonnen hatte er mit seiner systematischen Suche gut zwei Jahre vorher. Etwa zwei Monate nach der ersten Entdeckung fand er gleich noch einen weiteren neuen Kometen. Lovejoy verwendet zwei parallel montierte Kameras, die jeweils mit einem 200mm-Teleobjektiv versehen sind. Ausrichtung und Auslösung werden softwareseitig automatisiert und per PC gesteuert. Die gewonnenen Aufnahmen erreichen Grenzgrößen von etwa 13^m0 und werden nach der ebenfalls automatisierten Bearbeitung mit dem Programm IRIS astrometrisch ausgewertet und nach verdächtigen Objekten durchsucht.

Ein weiterer Australier, Vello Tabur, hat, nachdem er in den 1990er Jahren noch zwei Kometen visuell entdeckt hatte, inzwischen ebenfalls sein eigenes fotografisches Suchsystem. Er verwendet eine CCD-Kamera und ein 100mm-Objektiv. Die Vorteile der CCD-Technik bestehen seiner Ansicht nach

darin, dass auch bei Mondlicht und am Dämmerungshimmel gesucht werden kann. Tabur hat wie Lovejoy praktisch den gesamten Arbeitsablauf von der Belichtung bis zur Auswertung automatisiert. So werden die fertigen Aufnahmen etwa von Referenzaufnahmen subtrahiert und neue Objekte sind damit leicht auffindbar. 2003 gelang ihm mit diesem System dann auch ein erster Erfolg – C/2003 T3 (Tabur).

Entdeckungen visuell

Die visuelle Kometenjagd gehört wohl zur schwierigsten und zeitaufwändigsten Methode. Wie schwierig es ist, zeigen die Entdeckungszahlen. Seit 2005 gab es lediglich noch drei visuelle Entdeckungen, zwischen 2007 und 2009 keine einzige. Es ist für die visuelle Kometensuche jedenfalls keine besonders komplexe Ausrüstung nötig. Klassische Entdeckungsinstrumente sind etwa Großferngläser, aber auch azimutal montierte Newtonteleskope oder Dobsons sind gut geeignet. Computergesteuerte Fernrohre haben den Vorteil, dass man ein fragliches Objekt leichter identifizieren kann. Zu diesem Zweck verwenden einige Kometenjäger auch digitale Teilkreise. Um den Himmel rasch durchsuchen zu können, ist ein möglichst großes Gesichtsfeld ideal. Sternkarten (gedruckt oder elektronisch) sind unerlässlich, um den potenziellen Kometen von Deep-Sky-Objekten zu unterscheiden. Wichtig für den Fall eines Fundes ist noch Schreibzeug und Papier bei der Hand zu haben, um in einer Skizze die Position des Objektes eintragen zu können. Die wichtigste Eigenschaft für den angehenden Kometenentdecker ist jedoch eine gehörige Portion Geduld. Der Kalifornier Don Machholz investierte jährlich bis zu 550 Stunden in seine Suche und es dauerte etwa 1700 Stunden oder vier Jahre bis er 1978 seinen ersten Kometen fand. Auch David Levy benötigte über 900 Stunden bis er zum ersten Mal erfolgreich war. Bei Kaoru Ikeya dauerte es nach seinen Entdeckungen in den 1960er Jahren ganze 35 Jahre bis er 2002 wieder einen Kometen – 153P/Ikeya-Zhang – fand. Es gibt natürlich auch glücklichere: Alan Hale und Thomas Bopp entdeckten 1995 ihren berühmten Kometen unabhängig voneinander beim Beobachten des Kugelsternhaufens M 70.

Sollte man sich zu einer regelmäßigen Suche entschließen, gibt es ein paar Dinge, auf die es sich zu achten lohnt: Zum ersten ist es sinnvoll, den Suchgebieten der automatischen Durchmusterungen ein wenig auszuweichen. Das kann man vor allem, wenn man in recht geringem

Sonnenabstand den Himmel durchsucht. Bereiche unter 70° Elongation werden etwa kaum mehr von automatischen Suchprogrammen überwacht. Die besten Chancen bieten sich also am westlichen Abendhimmel, sobald es ausreichend dunkel wird, bzw. am östlichen Morgenhimmel bevor die Dämmerung zu hell wird. Statistisch gesehen stehen die Chancen am Morgenhimmel allerdings wesentlich besser. Man muss also nicht unbedingt nächtelang den Himmel durchforsten, es kann auch genügen, an jedem klaren Abend oder Morgen etwa ein bis zwei Stunden Zeit zu investieren. Auch das Band der Milchstraße wird aus verständlichen Gründen von den Surveys ausgespart, hier ist die Suche durch die hohe Sterndichte natürlich auch für Amateure besonders erschwert. Ebenfalls ausweichen sollte man hellem Mondlicht, die beste Zeit für die Kometensuche ist daher kurz nachdem der Mond den Abendhimmel verlässt, bzw. kurz vor Neumond, wenn er dann am Morgenhimmel nicht mehr entscheidend stört. Das Absuchen des Himmels sollte möglichst gleichmäßig geschehen, ein systematisches Durchschwenken in horizontalen oder vertikalen Streifen verhindert das Übersehen einer bestimmten Stelle. Horizontales Suchen ist von der Durchführung her zwar einfacher, vertikal sollen die Augen aber verdächtige Objekte leichter aufspüren können.

Tipps für visuelle Kometenbeobachter

Zunächst sollte man versuchen die genaue Position des Objektes festzustellen und ausschließen, dass es sich um einen Reflex (Geisterbild eines hellen Sternes) oder ein Deep-Sky-Objekt handelt (vor allem Kugelsternhaufen oder Galaxien sehen schwachen Kometen oft recht ähnlich). Kann man eine scheinbare Bewegung feststellen und wie groß ist diese? Ebenso ausschließen muss man, dass es ein bereits bekannter Komet ist. Es gibt auf der Seite des Minor Planet Center (vgl. Surftipps) eine nach Rektaszension sortierte Liste, auf der alle beobachtbaren bekannten Kometen geführt werden. Sollte das entdeckte Objekt noch immer unbekannt sein, kann man versuchen, andere Kometenbeobachter oder -fotografen für eine Beobachtungsbestätigung zu gewinnen oder selbst in der nächsten Nacht eine weitere Beobachtung versuchen. Ist man von einer Entdeckung überzeugt, sollte man das CBAT der IAU per E-Mail informieren (cbatiau@eps.harvard.edu). Folgende Informationen sollte man bereitstellen: Datum und Zeit (UT) der Beobachtung, Position des möglichen Kometen (R.A., Dekl.), geschätzte Helligkeit, Aussehen (Koma-



Abb. 4: Der Edgar Wilson Award wird jedes Jahr unter den Amateur-Entdeckern vergeben.

durchmesser), benutztes Instrument, geographischer Ort, Name und Adresse.

Wenn also die Aussichten auch gering scheinen, mit etwas Glück und viel Geduld und Ausdauer (manchmal auch nur mit viel Glück), kann auch heute noch der Traum vieler Hobbyastronomen – einen Kometen selbst zu entdecken – in Erfüllung gehen.

Surftipps

- Minor Planet Center:
minorplanetcenter.net
- Liste der aktuell bekannten Kometen:
minorplanetcenter.net/#comets
- Katalog der Kometenentdeckungen von Maik Meyer:
www.comethunter.de
- Sebastian Hönig: www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/shoenig/Comets/Comets.html
- Michael Jäger:
www.cometpieces.at
- La Sagra Sky Survey:
www.minorplanets.org/OLS/LSSS.html
- Terry Lovejoy: www.pbase.com/terrylovejoy/search_program
- Don Machholz:
thecomethunter.com/index.html
- Shigeki Murakami: homepage3.nifty.com/cometsm/index.html
- Tsutomu Seki: www.comet-web.net/~tsutomu-seki
- Vello Tabur:
members.pcug.org.au/~vello

DIE NADEL IM HEUHAUFEN FINDEN

Die Technik der Entdeckung von Kleinplaneten

VON STEFAN KARGE

Es gibt derart viele Kleinplaneten, dass auch Amateure eine reelle Chance haben, selbst zum Entdecker zu werden (vgl. Beitrag S. 30). Auf dem Weg dahin gilt es jedoch das Zusammenspiel zwischen Teleskop, Kamera und Software optimal aufeinander abzustimmen.

Wenn heute Neuentdeckungen gelingen, so sind dies zumeist kleine Körper aus dem Hauptgürtel, im Größenordnungsbereich von etwa 1 km – 3 km im Durchmesser. Die Helligkeiten bei den Amateur-Entdeckungen liegen in einem Bereich zwischen 18^m und 20^m. Das stellt erhebliche Anforderungen an das Material, den Beobachter und die äußeren Bedingungen. Die Qualität des Nachthimmels entscheidet über die Beobachtungsmöglichkeiten und die Ergebnisse. Dunkler Himmel ist durch nichts zu ersetzen. Je größer die erreichbare Grenzgröße, desto höher die Wahrscheinlichkeit einer Neuentdeckung. Aber auch Beobachter in Großstadtnähe können, trotz stärkerer Himmelsaufhellung, wichtige Arbeit leisten – beispielsweise bei der Bahnverfolgung hellerer bekannter Kleinplaneten aus dem Hauptgürtel oder hellerer Erdbahnkreuzer. Neuentdeckungen sind aber auch hier nicht ausgeschlossen.

Was kann man beobachten?

Während einer Belichtungsreihe bewegen sich die Kleinplaneten auf ihrer Bahn weiter, während die Sterne ihre Position im fotografischen Gesichtsfeld nicht verändern. Ziel der Kleinplanetenbeobachtung ist die hoch-

präzise Positionsvermessung eines Kleinplaneten in Relation zum umgebenden Sternfeld (Astrometrie) [1]. Daraus werden anschließend Bahnelemente generiert, die ein sicheres Wiederauffinden ermöglichen. Am Ende des mehrjährigen Prozesses steht die

Nummerierung des Kleinplaneten. Damit wird für alle Beobachter angezeigt: Die Bahnelemente dieses Kleinplaneten sind von hoher Genauigkeit.

Neben den Objekten des Hauptgürtels gibt es Kleinplaneten mit stark exzentrischen

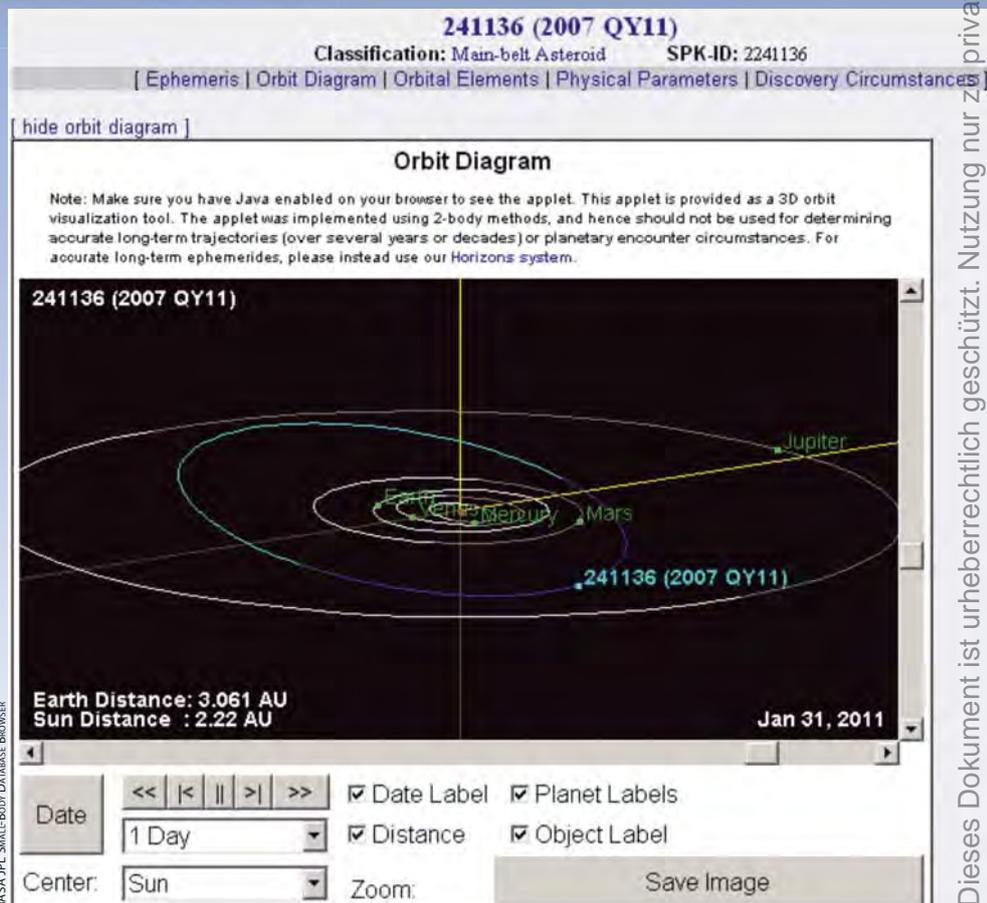
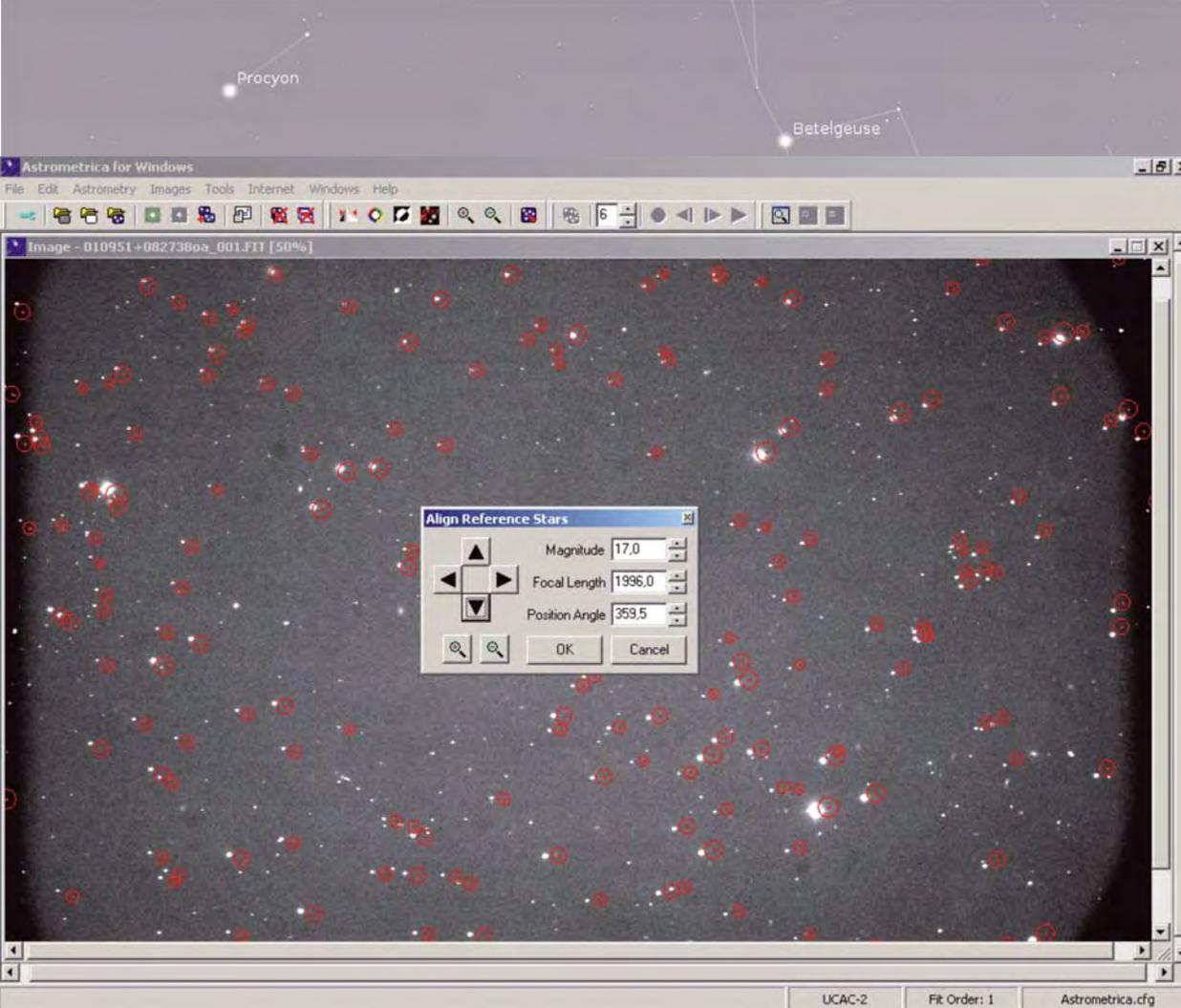


Abb. 1: Die Umlaufbahn des Kleinplaneten 241136 (2007 QY₁₁), entdeckt am 25.8.2007 von S. Karge und R. Kling am Taurus Observatorium



S. KARGE, R. KLING

Abb. 2: Das fotografierte Sternfeld, wie es in Astrometrica dargestellt wird. Die kleinen roten Kreise sind die Positionen der Sterne aus dem Referenzstern-Katalog UCAC-2. Durch Drehen und Verschieben muss das Katalog-Sternmuster exakt mit den Sternen des Bildes überlagert werden. Nach erfolgreicher Überlagerung ist das Bild astrometrisch geeicht und eingemessen. 15.10.2007, 21:28 UTC, CCD-Aufnahme, 600mm-Cassegrain bei 2000mm, 240s, Station B01.

Umlaufbahnen, die zeitweise weit ins innere Sonnensystem vorstoßen können, wie z.B. Marsbahnkreuzer und Erdbahnkreuzer. Es muss nicht betont werden, wie wichtig eine Überwachung gerade solcher Körper ist, die der Erde sehr nahe, ja gefährlich nahe kommen können. Diese Objekte werden als Near Earth Objects bezeichnet, kurz NEO. Solche Objekte zu entdecken, bzw. sie unter strenger Beobachtung zu halten, hat hohe Relevanz, sowohl für die Raumfahrt, als auch für die Sicherheit auf der Erde. Eine weitere Gruppe von Kleinplaneten sind die Jupiter-Trojaner. Sie bewegen sich zusammen mit Jupiter auf dessen Umlaufbahn um die Sonne, eilen ihm aber im Lagrangepunkt L4 und L5 um 60° voraus bzw. hinterher.

Die Konkurrenz der Beobachter ist groß

Da Kleinplaneten und Kometen im Falle einer Kollision mit der Erde ein erhebliches Risiko darstellen, gibt es weltweit eine große Zahl von Beobachtungsstationen von Amateuren und Profis, die den Himmel ständig unter Beobachtung haben. Das hat seine Vor- und Nachteile. Ein Vorteil ist z.B., dass an-

dere Beobachter die eigene Neuentdeckung weiter verfolgen können, während an der heimischen Station keine Beobachtungen möglich sind. Nachteil wäre z.B., wenn sich nachträglich herausstellt, dass die vermeintliche Neuentdeckung bereits vorher von einer anderen Station gefunden wurde. Besonders aktiv sind vor allem die professionellen Suchprogramme, wie Catalina Sky Survey, LINEAR (Lincoln Near-Earth Asteroid Research), Spacewatch und andere. Die Seite »Sky Coverage« bietet einen Überblick über den Umfang der konkurrierenden Mitbeobachter. Sie wird vom Minor Planet Center (MPC) in Cambridge (USA) gepflegt, wo im Auftrag der Internationalen Astronomischen Union alle weltweiten Beobachtungen und Positionsmessungen gesammelt und verwaltet werden. Das MPC rechnet aus diesen Daten Bahnen und veröffentlicht diese über seine Homepage (vgl. Surftipps):

- per Internet über den Minor Planet & Comet Ephemeris Service
- als Datei »MPCORB«

Die Datei »MPCORB« hat einen Umfang von etwas über 100MB und wird täglich aktualisiert. Sie kann auch über die Webseite der Fachgruppe Kleinplaneten der VdS abge-

ruft werden. Nähere Bahninformationen zu einem bestimmten Kleinplaneten erhält man beim Minor Planet & Comet Ephemeris Service des MPC. Damit wird eine Ephemeride zusammen mit der Helligkeit, der Bewegungsrichtung sowie der Bewegungsgeschwindigkeit angezeigt. Zusätzlich ist es möglich, die Bahnelemente sowie die Residuen auszugeben, also alle bestehenden Messungen zuzüglich deren Genauigkeit und Stations-Code. Dazu werden auf dieser Seite zwei Markierungen gesetzt:

1. Punkt unten bei »MPC 8-line« im Block »Format for elements output«
2. Häkchen ganz unten bei »Show residuals blocks«

Eine weitere interessante Quelle ist der NASA JPL Small-Body Database Browser (vgl. Surftipps). Hier wird, zusätzlich zur Erstellung einer Ephemeride, die Bahn z.B. eines Kleinplaneten in einem gesonderten Fenster angezeigt (Orbit Diagram, Abb. 1). Bevor aber mit der Kleinplanetenbeobachtung überhaupt begonnen werden kann, muss bei der Internationalen Astronomischen Union (IAU), Abteilung Minor Planet Center (MPC), ein »Observatory Code« beantragt werden (vgl. S. 30). Erst nach dessen Erteilung werden Positionsmessungen beim MPC überhaupt akzeptiert und verarbeitet. Dem MPC obliegen außerdem auch die Vergabe einer vorläufigen Kennung (Designation) bei Neuentdeckungen, die Nummerierung und letztlich auch die Benennung von Kleinplaneten. Ein Namensvorschlag kann vom Entdecker bzw. von den Entdeckern beim MPC eingereicht werden. Weitere Hinweise und Anleitungen finden sich in einer Beobachtungsanleitung des MPC (vgl. Surftipps).

Ausrüstung

Bei der Wahl des Teleskops geht es primär darum, in kurzer Zeit möglichst viel Licht zu sammeln. Ziel sind möglichst kurze Belich-

Abb. 3: Das fotografierte Sternfeld in Astrometrica

zusammen mit den aus dem Referenzstern-Katalog UCAC-2 in Übereinstimmung gebrachten Referenzsternen (grün) sowie den aus der Datei MPCOrb geladenen Positionen und Bezeichnungen der im Feld befindlichen Kleinplaneten (rot). Im Zentrum sichtbar ist die Position von 2010 RV₃₇ (= SKRK200), entdeckt am 4.9.2010 von S. Karge und R. Kling am Taunus Observatorium (Station B01). 4.9.2010, 22:54 UTC, CCD-Aufnahme, 600mm-Cassegrain bei 2000mm, 120s.

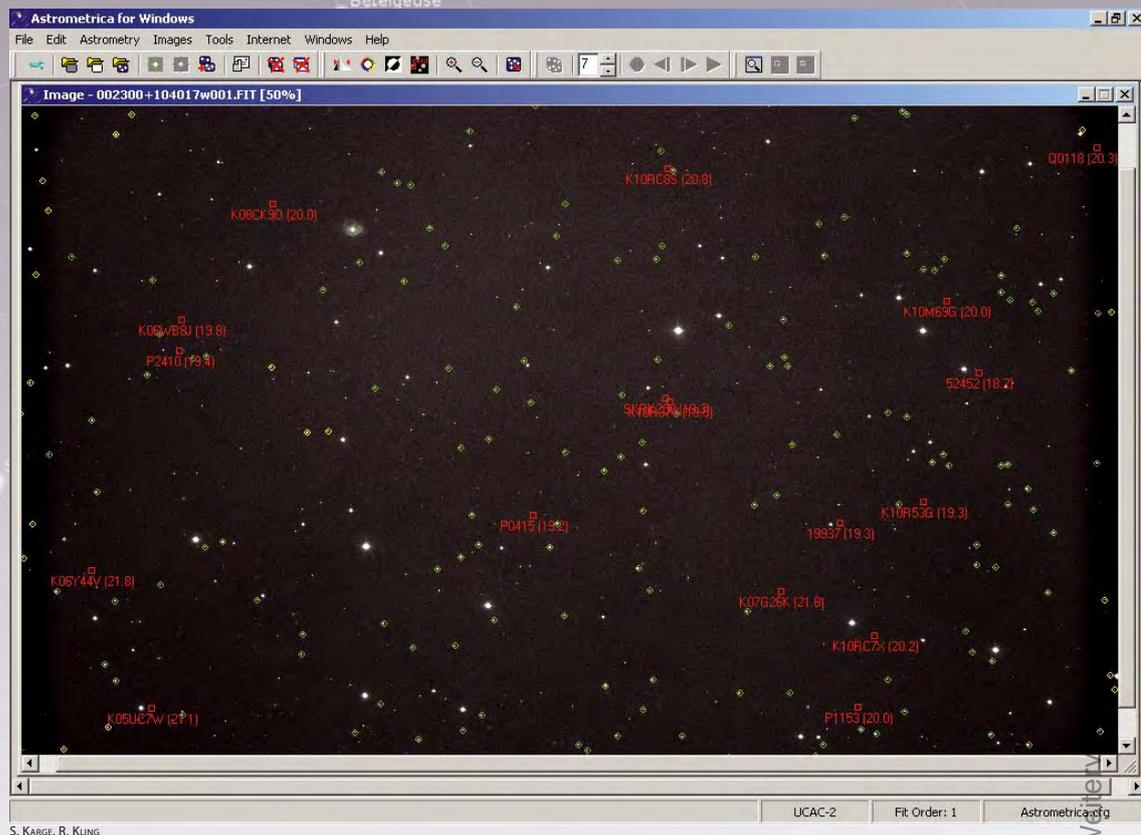
tungen mit großer Tiefe, gepaart mit größtmöglichem Gesichtsfeld auf dem CCD-Chip. Je größer also die Optik, desto mehr Licht fällt auf den CCD-Chip, und desto kürzer fallen die Belichtungsreihen aus. Dadurch steigt die Anzahl der Gesichtsfelder pro Nacht und damit auch die Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung. Als sinnvolle Untergrenze kann hier vielleicht eine Öffnung von 250mm (10") genannt werden, besser 300mm oder 350mm Öffnung.

Beim Öffnungsverhältnis sollten möglichst schnelle Systeme zum Einsatz kommen, also große Öffnungsverhältnisse zwischen etwa $f/2$ und $f/5$, maximal $f/6$. Schmidt-Cassegrain-Optiken mit $f/10$ oder $f/11$ sollten durch geeignete Brennweiten-Verkürzungsoptiken (Focal Reducer) auf $f/6$, oder besser $f/5$, optimiert werden.

Der elektronische Detektor ist die CCD-Kamera. Der in der Kamera eingebaute monochrome CCD-Chip wird unter die Umgebungstemperatur abgekühlt, womit das Signalrauschen vermindert wird und die Quanteneffizienz steigt. Die Belichtungszeit sollte so gewählt werden, dass der Kleinplanet noch punktförmig abgebildet wird, während gleichzeitig ein gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis erreicht wird (je nach Brennweite etwa 1min – 4min). Die Aufnahmen erfolgen ungefiltert. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, können mehrere Einzelpixel zu größeren Gruppen wie 2er-, 4er- oder 9er-Gruppen zusammengefasst werden (Binning). Je größer die Pixelgruppen jedoch sind, desto schlechter wird die Messgenauigkeit!

Strategie und Planung

Zur Beobachtung von Kleinplaneten gehört natürlich auch ein Plan. Zu berücksichtigen gilt: Wie lang ist die fotografisch



nutzbare Nacht? Wie lang ist eine Belichtungsreihe? Wann ist der optimale Zeitpunkt für welches Objekt? Die größte Helligkeit eines Kleinplaneten wird in der Oppositionsstellung erreicht. Nur in dieser Zeitspanne ist er fotografisch nachweisbar. Vor allem im Hinblick auf Neuentdeckungen gilt, dass ein Objekt möglichst häufig beobachtet werden muss, um die Genauigkeit der Bahn zu erhöhen, damit er nicht wieder verloren geht. Die Suche nach neuen Kleinplaneten verlängert sich also in die zweite Nachthälfte, in östlicher Richtung. Die maximale Helligkeit eines Objektes ist zwar noch nicht erreicht, aber die Dauer des Beobachtungsfensters verlängert sich entsprechend.

Die Bahnen der Kleinplaneten konzentrieren sich um die Bahnebene der Planeten, also fast genau zur Ekliptik. Hier ist folglich die Objekt-Dichte am größten. Neuentdeckungen sind aber auch etwas abseits der Ekliptik möglich. Das geplante Gesichtsfeld sollte im Vorfeld mit einem Planetariumsprogramm oder dem Digital Sky Survey (DSS), der im Internet über die Europäische Südsternwarte oder das Space Telescope Science Institute (MAST) verfügbar ist, geprüft werden.

Fotografische Felder mit auffällig hellen Sternen sollten gemieden werden. Die resultierende Streuung, durch die Atmosphäre und durch das Teleskop, vermindert zum einen die erreichbare Grenzgröße, zum anderen ist das weitläufige Areal um die hellen Sterne als Suchgebiet untauglich. Ähnliche Einschränkungen gelten im Bereich

der Milchstraße. Die Sterndichte ist meist derartig hoch, dass das Identifizieren eines schwachen Kleinplaneten fast unmöglich wird. Sollte man hier dennoch fündig werden, so wird die genaue Vermessung der Einzelpositionen sehr schwierig, weil ständig ein angrenzendes Sternchen mit in den Messkreis hereinreicht.

Software

Astrometrica

Die wohl wichtigste Software bei der Positionsvermessung heißt »Astrometrica« (vgl. Surftipps). Mit deren Hilfe werden die eigenen Bilder, ein umfassender Referenzstern-Katalog, sowie die Position aller bekannten Kleinplaneten (aus der Datei »MPCOrb«) zusammengeführt und angezeigt (Abb. 3). Als Referenzstern-Katalog eignet sich z.B. der UCAC-2 Katalog, bzw. seine neueste Version, der UCAC-3 (vgl. Surftipps), der entweder von der CD-ROM oder direkt über das Internet eingelesen wird. Nach der Eingabe relevanter Daten bezüglich Pixelgröße, Stationscode, Teleskoptyp, Name des Beobachters, Orientierung des Bildes usw. wird die erste Aufnahme geladen. Anschließend wird der entsprechende Bildausschnitt aus dem Sternkatalog dazu geladen, und erscheint als Muster aus kleinen roten Kreisen vor den Sternen der Aufnahme (Abb. 2). Die kleinen roten Kreise sind die aus dem Referenzsternkatalog stammenden Sternpositionen. Nun muss dieses Katalog-Sternmuster manuell verschoben und gedreht werden, bis es zu

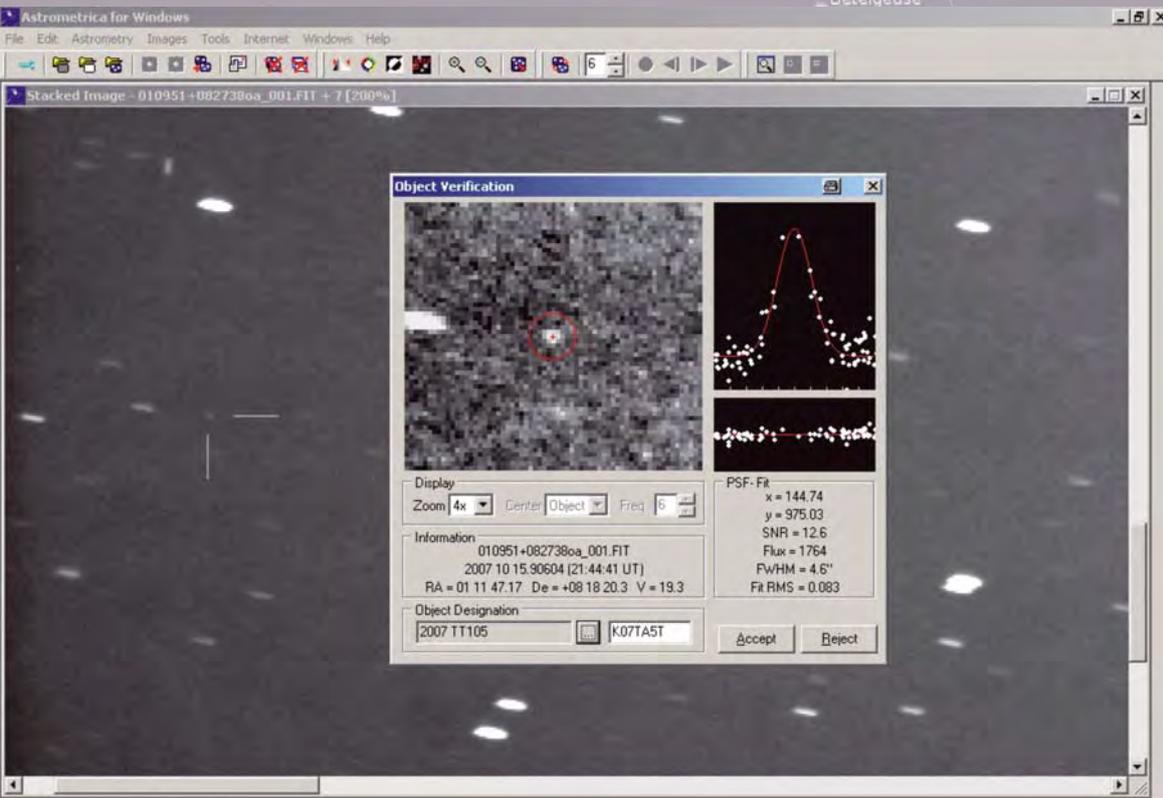


Abb. 4: Mit der Funktion »Track & Stack« wurden hier insgesamt acht Bilder auf die Bahnbewegung des Kleinplaneten 2007 TT₁₀₅ überlagert. Während der Kleinplanet sternförmig bleibt (markiert durch Striche) sind die Sterne zu Strichspuren geworden. Im Zentrum der Abbildung ist eine Positionsmessung dargestellt – mit dem Kleinplaneten im roten Messkreis. 2007 TT₁₀₅ wurde entdeckt am 15.10.2007 von S. Karge und R. Kling am Taunus-Observatorium (Station B01). 15.10.2007, 21:28 – 22:02 UTC, CCD-Aufnahme, 600mm-Cassegrain bei 2000mm, 8×240s.

läufigen Bahn (Abb. 6). Starke Ausreißer (Fehler >1") können so ermittelt werden.

S. KARGE, R. KLING

einer exakten Überlagerung mit den Sternen des Bildes kommt. Nach erfolgreicher Überlagerung speichert das Programm nun die Zentrumskoordinaten, sowie die Position aller Referenzsterne im aktuellen Bildfeld. Das Bild ist damit astrometrisch geeicht und eingemessen. Wird nun ein Kleinplanet vermessen, so wird seine Position mit hoher Präzision in Relation zu den im vorigen Schritt geeichten Sternpositionen gespeichert, und in der Datei »MPCReport.txt« abgelegt. Die Formatierung dieses Messprotokolls (Report) entspricht exakt der vom Minor Planet Center (MPC) vorgeschriebenen Formatierung, und wird 1:1 in dieser Form als Beobachtungsergebnis beim MPC per E-Mail (mpc@cfa.harvard.edu) eingereicht. Der maximale Messfehler bei Hauptgürtelobjekten darf einen Wert von 1,5" nicht übersteigen (in der Regel <1"), bei Near Earth Objects ist die Toleranz etwas größer. Bei der Meldung an das MPC sind sowohl die Formatierung als auch der maximale Messfehler strikt einzuhalten, da anderweitig die Annahme und Verarbeitung dieses Datensatzes verweigert wird. Astrometrica eignet sich auch als Werkzeug zur Erstellung von Summenbildern. Durch das Aufaddieren der Bilder steigt die erreichbare Grenzgröße durch das bessere Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Dafür enthält Astrometrica die Funktion »Track & Stack«. Die Einzelaufnahmen werden gruppenweise addiert. Wichtig ist, dass bei dieser Addition die Hauptbewegungsrichtung und die mittlere scheinbare Geschwindigkeit der Kleinplaneten im fotografierten Gesichtsfeld

berücksichtigt werden. Diese Art der Bildstapelung führt zu dem Effekt, dass die Sterne nun leicht strichförmig werden, die Kleinplaneten dagegen nahezu punktförmig bleiben (Abb. 4).

Das schwache Licht der Kleinplaneten wird somit auf die gleichen Pixel des CCD-Chips aufaddiert, wodurch eine bessere Grenzelligkeit bei den bewegten Objekten erreicht wird. Bei der Auswertung werden die einzelnen addierten Bildstapel (Stacks) als Film wiedergegeben (Blink-Komparator). Die sternförmigen Kleinplaneten »springen« schrittweise um einen kleinen Betrag, während die Sterne als ortsfeste kleine Striche erkennbar sind (Abb. 5).

Find Orb

Das Programm Find Orb (vgl. Surfipps) ist eine Freeware von Project Pluto, in der auch das Planetariumsprogramm Guide entwickelt wurde. Find Orb ermöglicht die Erstellung erster Bahnelemente, und damit einer vorläufigen Bahn, aus den ersten Positionsmessungen eines neu entdeckten Kleinplaneten. Auf deren Basis kann dann, in einer weiteren Nacht, an der von Find Orb prognostizierten Position nach der Neuentdeckung gesucht werden. Eine weitere Anwendung von Find Orb ist die Beurteilung der Messgenauigkeit. Die von Astrometrica erstellte Datei »MPCReport.txt« wird in Find Orb geladen und der zu prüfende Kleinplanet wird ausgewählt. Angezeigt werden nun die Einzelmessungen, sowie die Abweichungen von der von Find Orb daraus erstellten, vor-

Planetariumsprogramme zur grafischen Darstellung

Etablierte Planetariumsprogramme, wie z.B. Easy Sky, Guide, TheSky oder ähnliche, erleichtern die Planung durch die grafische Darstellung der Position und Bewegung von Kleinplaneten im fotografischen Gesichtsfeld der Kamera, zusammen mit den Sternpositionen aus dem Guide Star Catalog (GSC). So lassen sich die geplanten Gesichtsfelder optimieren. Außerdem lassen sich, je nach Programm, die von Find Orb generierten Bahnelemente einer Neuentdeckung mit einem Editor in die Datei MPCOrb hineinkopieren und können so anschließend dargestellt werden.

Praxis

Vorbereitung und Datenaufnahme

Es ist wichtig, sich intensiv mit den einzelnen Arbeitsschritten und Programmabläufen vertraut zu machen. Deshalb hier noch einmal die einzelnen Arbeitsschritte in chronologischer Reihenfolge: Die Vorbereitung auf die Nacht beginnt mit dem Herunterladen der aktuellsten MPCOrb und der Auswahl der zu beobachtenden Objekte. Die Kamera hat eine feste Markierung am Flansch des Teleskops und ist damit gut in Ost-West-Richtung ausgerichtet. Bei rechteckigen Chipformaten ist die längere Seite in Ost-West-Richtung orientiert. Außerdem ist noch die aktuelle Zeit der CCD-Kamera bzw. der Kamera-Steuersoftware mit dem offiziellen Zeitsignal aus Braunschweig zu

synchronisieren, beispielsweise durch die Zeitsynchronisation via Network Time Protocol (NTP) [2]. Nun geht es ans erste Gesichtsfeld gemäß Ablaufplan.

Auswertung und Prüfung

Wie bereits oben beschrieben werden in Astrometrica mit der Funktion »Track & Stack« mehrere Bildstapel im Blinkkomparator als Film animiert. Stück um Stück wird nun das Bildfeld abgesucht. Hier und da bewegen sich bereits bekannte Kleinplaneten im Bildfeld, zusammen mit der roten Positionsmarkierung und der jeweiligen Bezeichnung (Abb. 3). Bewegt sich nun ein noch nicht registriertes Objekt im Bildfeld, so wird das Objekt mit einem eigenen vorläufigen Namen oder Kürzel versehen (6–7-stellig) und vermessen. Die Prüfung erfolgt anschließend in Find Orb, denn die Messfehler der neu generierten Bahn zeigen, ob die gemessenen Positionen tatsächlich zu einem sich gleichmäßig bewegenden Kleinplaneten passen können oder ob man einem Bildfehler aufgesessen ist (Messfehler $<1''$). Die nächste Prüfung erfolgt online über den »Minor Planet Checker«, der über die Internetseite des MPC erreichbar ist. Hier lässt sich überprüfen, ob sich zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Position ein zwischenzeitlich bekannt gewordener Kleinplanet befunden hat oder nicht. Wird hier kein Objekt angezeigt, so könnte es sich vielleicht tatsächlich um eine Neuentdeckung handeln. Nun erfolgt die Meldung an das Minor Planet Center (mpc@cfa.harvard.edu). Zu beachten gilt, dass das MPC »Plain Text« vorschreibt, also einen E-Mail-Inhalt, der ausschließlich aus Text besteht ohne unsichtbare HTML-Blöcke oder Ähnliches. So etwas wird vom MPC als möglicher Spam eingestuft und abgelehnt.

Bahnverfolgung

Als Entdecker gilt, wer als erster Beobachtungen aus mindestens zwei Nächten in einer Opposition gemeldet hat. In der nächsten klaren Nacht erfolgt also die Nachbeobachtung. Mit Find Orb oder online über den »New Object Ephemeris Generator« auf der Internetseite des MPC wird aus den Positionsmessungen der ersten Nacht eine vorläufige Bahn generiert. Diese prognostizierte Position, zum Aufnahmezeitpunkt in der 2. Nacht, wird möglichst zentrisch ins Bildfeld des Teleskops gestellt. Im Ergebnis bleiben nur zwei Möglichkeiten:

Fall 1: Das gesuchte Objekt ist nicht auszumachen – weder an der eingestellten Position, noch im gesamten Bildfeld. Das könnte mehrere Ursachen haben. Entweder ist man bei der Auswertung der ersten Nacht, trotz Prüfung, einem wie auch immer gearteten Bildfehler aufgesessen. Oder es war tatsächlich ein echter Kleinplanet, dessen Bahnunsicherheiten aber mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur Entdeckungsnacht immer größer werden und der deshalb vielleicht knapp außerhalb des fotografierten Bildfeldes stand. Vielleicht wurde aber auch in der 2. Nacht nicht die nötige Grenzgröße erreicht wie in der 1. Nacht. Der gesuchte Kleinplanet wäre zwar im Feld, könnte aber nicht nachgewiesen werden.

Fall 2: Ein wenig neben der gerechneten Position bewegt sich tatsächlich ein fragliches Objekt. Nach dessen Vermessung erfolgt die Prüfung, wie oben beschrieben. Die Positionsmessungen der 1. Nacht werden mit denen der 2. Nacht in der Datei »MPCReport.txt« zusammenkopiert und in Find Orb geladen (Abb. 6). Sind die gefundenen Abweichungen überdurchschnittlich groß, so kann es sich nicht um ein und

dasselbe Objekt handeln. Die Bahnbögen aus der 1. Nacht und der 2. Nacht passen einfach nicht zusammen. Halten sich aber die Fehlerabweichungen in engen Grenzen, so handelt es sich, mit hoher Wahrscheinlichkeit, um die gesuchte Neuentdeckung aus der 1. Nacht. In der Tat lässt sich eine vorläufige Bahn generieren, die gut zu den Messungen der 1. Nacht wie auch der 2. Nacht passt. Auch diese Messungen der 2. Nacht werden beim Minor Planet Center eingesandt.

Der Großrechner beim MPC prüft die eingereichten Messungen und verlinkt die Beobachtungen der 1. Nacht mit denen der 2. Nacht. Gleichzeitig wird geprüft, ob weitere Beobachtungen vorliegen, die zu einer nun vom MPC generierten vorläufigen Bahn passen. Liegen zu diesem Zeitpunkt keine weiteren Messungen vor, so vergibt das MPC eine vorläufige Designation. Sie besteht aus der Jahreszahl der Entdeckung, sowie dem Tag der Entdeckung, codiert in Buchstaben und Zahlen, (Beispiel: 2009 UQ18 = Entdeckung am 18.10.2009). Ab jetzt erscheint die Neuentdeckung auf der Homepage des MPC, zusammen mit einer vorläufigen Ephemeride. Eine Suche im Minor Planet Checker oder dem Minor Planet & Comet Ephemeris Service ergäbe: Hier existiert ein neu entdeckter Kleinplanet, mit nur wenigen Tagen Bahnbogen, Nachbeobachtungen dringend erwünscht!

Bahnverbesserung und Nummerierung

Das nächste Ziel ist eine möglichst häufige Nachbeobachtung des neu entdeckten Kleinplaneten, um die Genauigkeit der Bahn zu verbessern. Gelingt dies nur unzureichend, so besteht die Gefahr, dass er wieder verloren geht. Die Genauigkeit der Bahn wird ausgedrückt durch eine vom MPC vergebene Unsicherheitszahl. Diese

Abb. 5: Die Abbildung zeigt die scheinbare Bewegung von vier Kleinplaneten im fotografierten Feld, markiert durch Pfeile. Die Bewegung erscheint jeweils als kurze Spur aus drei Kleinplaneten-Positionen. In Astrometrica als Film animiert (Blink-Komparator), würden die Kleinplaneten von Bild zu Bild um einen kleinen Betrag von Position zu Position springen. Mit der Funktion »Track & Stack« wurden zunächst jeweils zwei Aufnahmen gestackt. Anschließend wurden drei dieser 2er-Stacks übereinander kopiert. 15.10.2007, 21:28 – 21:53 UTC, CCD-Aufnahme, 600mm-Cassegrain bei 2000mm, 3x(2x240s), Station B01.



S. Künze, B. Kling

Unsicherheitszahl reicht von U9 (sehr schlecht) bis U0 (sehr gut). Je häufiger also der Kleinplanet beobachtet wird, desto genauer wird seine Bahn. Darüber hinaus muss der Kleinplanet in den folgenden Oppositionen erneut wieder gefunden und vermessen werden. Mit zunehmender Anzahl der beobachteten Oppositionen verbessert sich schrittweise auch die Unsicherheitszahl. Wird die Bahngenauigkeit als sehr sicher eingestuft, so erfolgt die Nummerierung des Kleinplaneten.

Die Umlaufbahn ist dann von höchst möglicher Genauigkeit und auch der Entdeckerstatus ist nun gesichert. Nach der Nummerierung kann der Kleinplanet benannt werden.

Der Entdeckerstatus

Bezüglich des Entdeckerstatus veröffentlichte das Minor Planet Center im Jahr 2010 eine neue Regelung. Zitat: »The discovery observation will be that observation which is the earliest-reported observations at the opposition with the earliest-reported second-night observation.« [3]. Es bekommt also derjenige den Entdeckerstatus, der als erster Messungen aus einer Nacht aus einer Opposition beim MPC gemeldet hat, wenn in der gleichen Opposition auch in einer zweiten Nacht (oder mehr) von ihm oder anderen Stationen Messungen gemeldet wurden. Wenn eine vermeintliche Neuentdeckung mit einer früheren Beobachtung derselben Oppositionsperiode verbunden werden kann, so geht der Entdeckerstatus an diese Station verloren. Das gilt unabhängig davon, ob für die zwei Nächte eine Designation vergeben wurde oder nicht bzw. ob sie als One-Nighter oder Two-Nighter (von gleichen oder unterschiedlichen Sternwarten) eingereicht wurden. Die vergebene Designation bleibt aus buchhalterischen Gründen bestehen. Durch diese Neuregelung sind die professionellen Durchmusterungen klar im Vorteil. Durch ihr systematisches Absuchen des Himmels sowie ihrer hohen Empfindlichkeit (21^m) wird eine Vielzahl von Einzelmessungen produziert. Zudem schlummern viele Beobachtungen dieser Durchmusterungen in den Archiven. Bei genauerer Kenntnis einer Bahn – bei einer vermeintlichen Neuentdeckung – können diese dann nachträglich zugeordnet werden. Nach der alten Regel wurden die Amateure bevorzugt. Solange noch keine Designation existierte, konnte man, durch

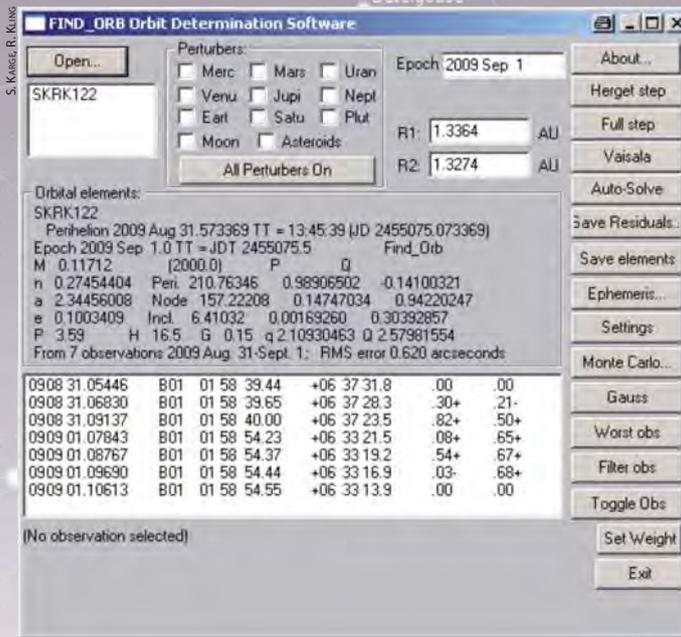


Abb. 6: Screenshot des Programms Find Orb. Im unteren Teil aufgelistet sind insgesamt sieben Positionsmessungen aus zwei Nächten des seinerzeit neu entdeckten Kleinplaneten mit der vorläufigen Kennung SKRK 122. In den beiden rechten Spalten sind die Abweichungen in Bogensekunden zu der von Find Orb generierten vorläufigen Bahn ablesbar. Auf Basis dieser Messungen wurde die Designation 2009 QM₃₇ vergeben. 2009 QM₃₇ wurde entdeckt am 31.8.2009 von S. Karge und R. Kling am Taunus Observatorium.

Einreichen von Messungen aus zwei Nächten, eine solche bekommen. Ältere Einzelmessungen wurden dann dieser Kennung zugeordnet, ohne dass der Entdeckerstatus verloren ging. Nur wenn noch ältere Designationen gefunden wurden, entstand eine Situation, bei der der Entdeckerstatus an die ältere Entdeckung verloren gehen konnte.

Fazit

Es ist also gar nicht so leicht, einen Kleinplaneten zu entdecken. Außerdem ist es ein langer Weg von der Entdeckung eines Kleinplaneten bis zu seiner endgültigen Nummerierung. Die Hauptarbeit bei der Kleinplanetenbeobachtung liegt bei der Aufbereitung des Bildmaterials sowie der Datenauswertung. Der Beobachter bringt fast die ganze Nacht vor dem Bildschirm, um die begehrten schwachen Signale aus dem Bildrauschen heraus zu präparieren. Für die Amateure hat sich die Situation durch die Neuregelung bezüglich des Entdeckerstatus verschärft, wie auch durch die neuen professionellen Beobachtungsstationen, wie z.B. Pan-STARRS. Trotzdem ist die Kleinplanetenbeobachtung eine interessante und spannende Sache, auch wenn es zunehmend schwerer wird, neue Kleinplaneten zu entdecken. Aber auch bei der Nachverfolgung leisten die Amateure wissenschaftliche Arbeit im großen Verbund. Außerdem gibt es hier eine enge Zusammenarbeit zwischen Profi- und Amateur-Astronomen. Wer sich für das Thema Kleinplanetenbeobachtung interessiert, dem sei abschließend noch die Homepage der Fachgruppe Kleinplaneten der Vereinigung der Sternfreunde empfoh-

len. Hier finden sich viele weitere Links und Informationen, darunter auch die Entdeckungen von Kleinplaneten der Fachgruppebeobachter.

- [1] Lehmann, G., Kandler, J.: Astrometrie mit der CCD-Kamera, www.kleinplanetenseite.de/Aufsatz/astromet.htm (2001)
- [2] Mills, D.: Network Time Protocol Projekt, www.ntp.org
- [3] Spahr, T. B.: Editorial Notice, MPEC 2010-U20, www.minorplanetcenter.org/mpec/K10/K10U20.html (2010)

Surftipps

Minor Planet Center (MPC): www.minorplanetcenter.org/iau/mpc.html
 Fachgruppe Kleinplaneten der VdS: www.kleinplanetenseite.de
 NASA JPL Small-Body Database
 Browser: ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi
 Anleitung zur Astrometrie von Kleinplaneten (engl.): minorplanetcenter.org/iau/info/Astrometry.html
 Sternkataloge UCAC-2 und UCAC-3: www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/ucac
 Astrometrica: www.astrometrica.at
 Find Orb: www.projectpluto.com/find_orb.htm
 Verschlüsselung der Designation nach alter und neuer Art: www.minorplanetcenter.net/iau/info/OldDesDoc.html
 Physikalischer Verein in Frankfurt am Main: www.physikalischer-verein.de
 Entdeckungen am Taunus-Observatorium (B01): www.erwinschwab.de/TO_discoveries_MPs.htm

Wie macht die Digitalfotografie Neuentdeckungen möglich?

Zu jeder Zeit konnte sich die Wissenschaft der Astronomie darauf verlassen, dass besonders erfindungsreiche, begabte und fleißige Amateure wertvolle Erkenntnisse beitragen. Dass das auch heute noch gilt, ist unter anderem der digitalen Aufnahmetechnik zu verdanken, die seit geraumer Zeit auch dem Amateur zur Verfügung steht. Die Astrofotografie im Allgemeinen und die Ableitung wissenschaftlich relevanter Erkenntnisse aus dem gewonnenen Bildmaterial im Besonderen profitieren von der Digitalfotografie.

Lineare Signalerfassung

Ein digitaler Bildsensor arbeitet, ganz im Gegensatz zu einer chemischen Filmemulsion, in weiten Bereichen linear, d.h. dass das empfangene Signal direkt proportional zur verwendeten Belichtungszeit ausfällt. Das versetzt den Fotografen in die Lage, die Stärke des Signals unmittelbar zu bestimmen. Ein fotografischer Film hingegen leidet unter einem so genannten Reziprokfehler, der auch als »Schwarzschildeffekt« bezeichnet wird, benannt nach dem deutschen Physiker und Astronomen Karl Schwarzschild. Damit gemeint ist ein immer stärker werdender Verlust der Lichtempfindlichkeit einer Filmemulsion im Laufe einer langen Belichtungszeit. Nicht alle Filme sind davon in gleichem Maße betroffen, aber bei gängigen Fabrikaten kann die Lichtempfindlichkeit nach nur einer Minute Belichtungszeit bereits auf weniger als die Hälfte gesunken sein! Das bedeutet, dass die Messung der Absolutstärke eines empfangenen Signals mit einem großen Kalibrierungsaufwand verbunden ist.

Unter »Signal« wird hier das Licht eines Himmelskörpers verstanden, dessen Stärke auf die Helligkeit des Körpers schließen lässt. Photometrie nennt sich dieser Vorgang, der – entsprechende Messgenauigkeiten vorausgesetzt – eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen erlaubt. Ein Beispiel ist die Überwachung und Neuentdeckung von Veränderlichen Sternen, denn deren Zahl ist so groß, dass die Profiastronomen sie nicht ständig unter Beobachtung haben

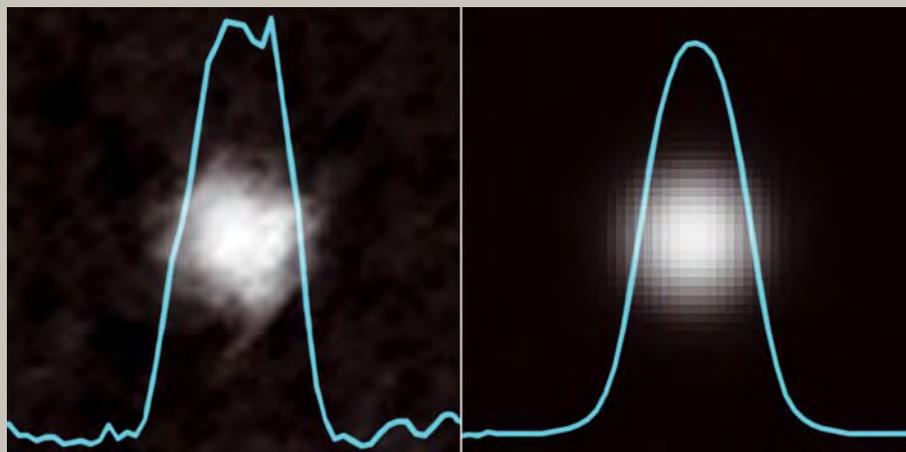


Abb. 1: Vergleich einer Sternabbildung auf chemischem Film (links) und einem Digitalsensor (rechts) in starker Vergrößerung. Beim Film wird das Filmkorn, bei der Digitalaufnahme werden die Pixel sichtbar. Das gemessene Helligkeitsprofil (blaue Kurve) zeigt, dass durch die Filmkörnigkeit das Helligkeitsmaximum und damit die Position des Sterns im Vergleich zur Digitalaufnahme weniger gut zu bestimmen ist.

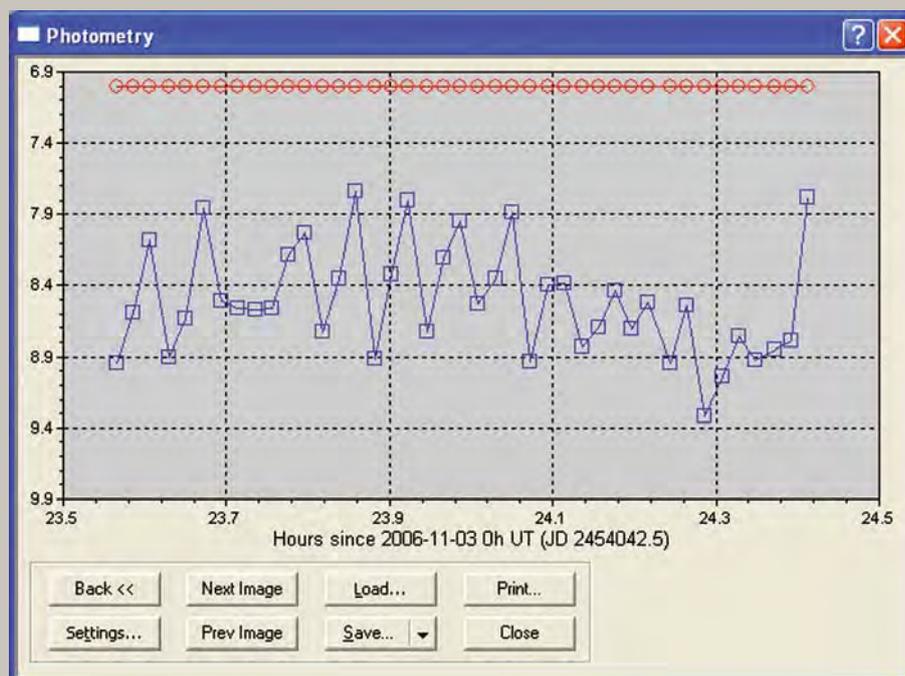


Abb. 2: Durch eine Software automatisch ermittelte Helligkeitskurve eines Sterns (blau). Ein weiterer, nicht veränderlicher Stern (rote Kurve) diente der Software zur Kalibrierung.

können. Ein weiteres ist die Suche nach extrasolaren Planeten nach dem Prinzip der »Transitmethode«, d.h. dass beim Durchgang eines großen Planeten vor

seiner Heimatsonne diese sich ein wenig verdunkelt. Solche Messungen liegen durchaus in der Reichweite von Amateurastronomen.

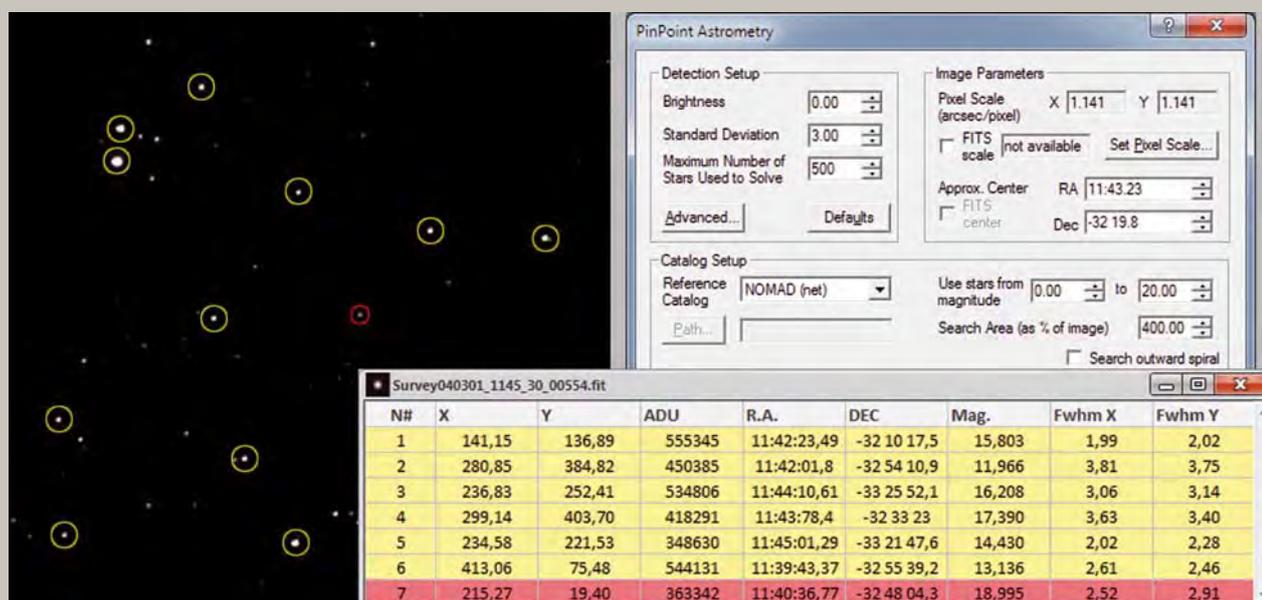


Abb. 3: Durch Software entdeckte, potenzielle Neuentdeckung (rot markiert). Die von der Software gelb markierten Sterne sind automatisch ermittelte Referenzsterne, die mit Sternkarten abgeglichen werden. Dadurch ist auch eine Helligkeits- und Positionsbestimmung des unbekanntes Objekts möglich – bei zeitlich versetzten, mehreren Beobachtungen sogar eine Bahnbestimmung.

Kein Schwellenwert

Während ein Digitalsensor theoretisch jedes einzelne Photon registrieren kann, zeigen Filme einen Schwellenwert. Er definiert die Mindestlichtmenge, die erreicht sein muss, damit der Film überhaupt eine Reaktion zeigt. Die digitale Bildaufzeichnung ist daher im Vorteil, wenn es darum geht, sehr lichtschwache Objekte zu erfassen oder die Konturen eines Objekts vor einem durch künstliches Licht aufgehellten Himmel herauszuarbeiten. Wissenschaftliches Arbeiten und Entdeckungen werden für Amateure durch die Digitalfotografie erleichtert, weil sich die erreichbare Grenzgröße an den meist suboptimalen Beobachtungsorten signifikant verbessert.

Einfache Vermessung möglich

Astrometrie nennt sich die Positionsbestimmung von Gestirnen. Wer sich als Amateur in dieses Thema einarbeitet, kann auf Entdeckungen hoffen: Novae, Supernovae, Kometen und Kleinplaneten werden aufgespürt, indem Himmelsaufnahmen mit Sternkar-

ten verglichen werden. In den Sternkarten nicht verzeichnete Objekte können eine Neuentdeckung sein. Die digitalen Daten einer Fotografie lassen sich leicht vermessen, so dass es selbst Amateuren möglich ist, diesen Prozess weitgehend zu automatisieren. Bei sorgfältiger Vorgehensweise ist die Entdeckung eines unbekanntes Kleinplaneten für einen Amateur nur eine Frage der Zeit.

Be»rechen«barkeit der Ergebnisse

Jedem Digitalfoto liegen Zahlen zugrunde, die Helligkeitswerte repräsentieren. Alle nachträglichen Bildoperationen, die mit »Berechnungen« im engeren Sinne zu tun haben, werden aufgrund dessen erleichtert oder ermöglicht. Als Beispiele seien das Aufsummieren mehrerer Einzelbilder und die Bildkalibrierung genannt. Nicht vergessen werden dürfen »digitale Filter« und Bearbeitungsmethoden, die manche Strukturen sichtbar werden lassen, etwa der Larson-Sekanina-Algorithmus zur Untersuchung von Feinstrukturen bei Kometen oder spezielle

Bildbearbeitungen für Aufnahmen von totalen Sonnenfinsternissen, um die Korona in ihrer ganzen Ausdehnung darzustellen. Die Computer mit den notwendigen Rechenleistungen und der entsprechenden Software stehen dem Amateur zur Verfügung.

Schnelle Verfügbarkeit

Ein Digitalfoto kann nach seiner Erstellung sofort analysiert, weiterverarbeitet und ausgewertet werden. Das gestattet dem Fotografen, auf schnell ablaufende Prozesse zu reagieren, etwa, um bei einer neu entdeckten Nova sogleich mit nachfolgenden Beobachtungen zu beginnen. Zudem kann das digitale Bildmaterial schnell zur Auswertung oder zu anderen Zwecken publiziert und verschickt werden, um zum Beispiel potenziellen anderen Entdeckern zuvor zu kommen! Nicht zuletzt hilft die sofortige Verfügbarkeit aufgenommener Digitalfotos dem Amateur, seine Lernkurve steiler verlaufen zu lassen, denn Fehler werden schneller erkannt und können zeitnah abgestellt werden.

Einer unter Vielen

Entdeckung Veränderlicher Sterne in Online-Datenbanken

VON KLAUS BERNHARD

Die Beobachtung Veränderlicher Sterne führt nicht nur in der Astrophysik zu sehr wertvollen Erkenntnissen, sondern es ist auch eine schöne persönliche Erfahrung, den ständigen Wandel im Universum mitzuerleben. Besonders reizvoll ist, ähnlich wie bei Kometen oder Kleinplaneten, die Suche nach noch unbekanntem Veränderlichen. Objekte mit größeren Amplituden wie Zwergnovae sind mit etwas Glück in Deep-Sky-Aufnahmen zu finden, wenn die Aufnahmen aus unterschiedlichen Nächten verglichen werden. Aber auch die großen über das Internet verfügbaren Kataloge bergen ungeahnte Schätze.

Für eine systematischere Vorgangsweise können mit einem computergesteuerten Teleskop in verschiedenen Nächten jeweils eine größere Anzahl an gleichen Himmelsfeldern aufgenommen werden. Eine geeignete Software stellt anschließend auch geringe Helligkeitsschwankungen fest. Auf diese Weise gelang es mir, mit einem 8"-SCT und einer Starlight SX CCD-Kamera zwischen 1997 und 2004 von einem Balkon in Linz (fst 4^m0) aus insgesamt 160 Veränderliche Sterne zu entdecken, die im IBVS und im BAV-Rundbrief veröffentlicht wurden.

Riesige Datenbanken

Bei dieser Art der Veränderlichensuche ist allerdings insgesamt ein beträchtlicher Aufwand erforderlich. Zum Glück für die Amateurastronomen suchen neuerdings professionelle Observatorien in jeder klaren Nacht große Himmelsfelder ab und machen die Messwerte kostenlos im Internet zugänglich. Diese Millionen von Lichtkurven sind ein Eldorado für Amateure, die sich dem so genannten »Data-mining«, dem Suchen nach Informationen in großen Datenbanken widmen! Einige Teleskopsysteme überwachen sehr große Bereiche des Himmels, wie der »All Sky Automatic Survey« (gesamter Südhimmel bis zur Deklination von +28°) und das »Robotic Optical Transient Search Experiment« (gesamter Nordhimmel bis zur Deklination von -30°). Andere Projekte umfassen kleinere Himmelsfelder, aber dafür mit einer größeren Genauigkeit. Beispiele sind bodengestützte Missionen wie OGLE und SuperWasp oder Astro-

metriesatelliten wie COROT und Kepler. Insgesamt verbergen sich in diesen umfangreichen Datenbanken viele tausend Veränderliche, die noch niemand erkannt und klassifiziert hat.

Die Möglichkeiten des Datamining werden im Folgenden am Beispiel des in Chile situierten All Sky Automated Survey (ASAS) vorgestellt, der in jeder klaren Nacht den südlichen Sternhimmel bis zur 14. Größenklasse aufnimmt. Die derzeit öffentlich zugänglichen ASAS-Daten stammen zum Großteil von zwei CCD-Kameras in Verbindung mit 200mm-Objektiven bei Blende 2,8.

Vorgehensweise bei der Entdeckung von Veränderlichen in der ASAS-Datenbank

Auf der ASAS-Homepage (vgl. Tab. 1) sind zunächst unter »Catalogues« und weiter unter »The ASAS-3 Photometric V-band Catalogue« die Koordinaten des Suchfeldes einzugeben. Als Beispiel wählen Sie R. A. 20^h 0^m und Deklination -30° und geben »20:00:00,-30:00:00« ein. Um eine größere Anzahl an Sternen zu erhalten, ist ein Suchradius von 6000" günstig, danach drücken Sie »Search«.

Nach ein paar Sekunden »Bedenkzeit« erscheint eine lange Liste von über 47000 Sternen. Bei einer solch großen Anzahl ist die Wahrscheinlichkeit recht hoch, dass sich Veränderliche Sterne darunter befinden, vielleicht sogar noch unbekannt. Da die Durchsicht aller einzelnen Lichtkurven zu mühsam wäre, sollte die Liste in ein Tabellenkalkulations-Programm kopiert und anschließend nach zunehmender Helligkeit sortiert werden. Wäh-

Abb. 1: Veränderliche Sterne lassen sich mit typischen Amateurateleskopen und einer CCD-Kamera fotografisch entdecken (im Bild Teleskop des Autors). Lohnender ist aber die Durchforstung von Katalogen im Internet vom warmen Wohnzimmer aus.



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

Datenbanken für Data-Mining im Internet (Auswahl)	
Name	Adresse
All Sky Automatic Survey (ASAS)	www.astrouw.edu.pl/asas
Robotic Optical Transient Search Experiment (ROTSE)	skydot.lanl.gov
The Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE)	ogle.astrouw.edu.pl
The Automatic Sky Survey	www.tass-survey.org
SuperWasp	www.wasp.le.ac.uk/public
Kepler	kepler.nasa.gov/Science/ForScientists/dataarchive
Corot	idoc-corot.ias.u-psud.fr/index.jsp



len Sie nur jene mit einer Durchschnittshelligkeit von heller als $12^m,5$ aus. Als nächsten Schritt sind die verbliebenen Sterne nach der Anzahl der Beobachtungen »Nobs.« zu ordnen. Nun werden alle Einträge mit weniger als 100 Einzelbeobachtungen entfernt, da für die Typ- und Periodenbestimmung eine größere Anzahl an Beobachtungen empfehlenswert ist. Zuletzt führen Sie eine Sortierung der verbliebenen Sterne nach »mag err«, also der Streuung der Helligkeitsmesswerte, durch.

Große Werte von »mag err« weisen auf Veränderlichkeit hin. Die Lichtkurven mit den höchsten Streuungen können dann im ASAS-Photometrikatalog im Detail durchgesehen werden. So stößt man etwa bei ASAS 200657-2835.6 auf eine schöne Lichtkurve, die auf einen langperiodischen Mirastern hindeutet (Abb. 3).

Ein veränderliches Objekt gefunden, was nun?

Wenn bei einem dieser Himmelsobjekte die Helligkeit deutlich schwankt, stellt sich als nächstes die Frage, ob die Veränderlichkeit schon bekannt ist. Dies lässt sich auf Knopfdruck durch Eingabe der Koordinaten in Datenbanken wie AAVSO VSX klären. Ist das Objekt unbekannt, haben Sie einen neuen Veränderlichen entdeckt. Das oben angeführte Beispiel ist aber leider schon als Mirastern in AAVSO VSX erfasst! Um einen tatsächlich neuen Veränderlichen zu finden, müssten daher noch weitere Sterne mit verhältnismäßig großer Streuung der Helligkeiten durchgesehen werden. Möglicherweise sind Helligkeitsschwankungen schon bekannt, aber es wurde noch kein Typ oder keine Periode bestimmt. Auch hieraus können sich interessante Betätigungsfelder ergeben.

Die weitere Vorgehensweise soll hier nur skizziert werden, da Details den Rahmen dieses Artikels sprengen würden. Zunächst sollte die Periode und somit die

Abb. 2: Die Teleskope des All Sky Automated Survey am Las Campanas Observatory in Chile [5].

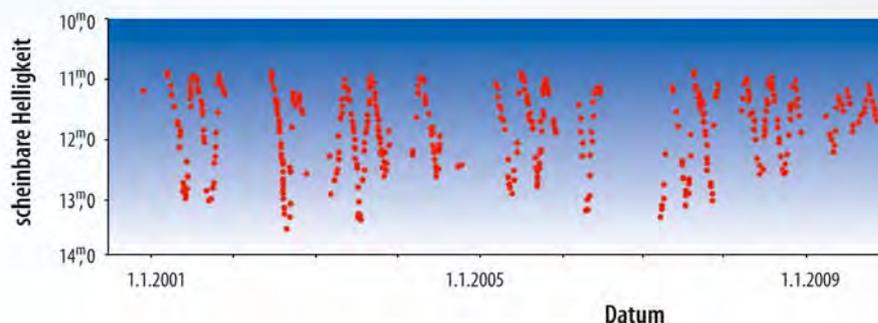


Abb. 3: Lichtkurve des langperiodischen Mirasterns ASAS 200657-2835.6.

reduzierte Lichtkurve mit Programmen wie Period04 (vgl. Surftipps) bestimmt werden. Die Lichtkurve und weitere Daten wie Farbinformationen ermöglichen eine Klassifizierung und eine anschließende Publikation in einem Fachjournal. Dabei unterstützt Sie gerne die Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne (BAV, vgl. Surftipps).

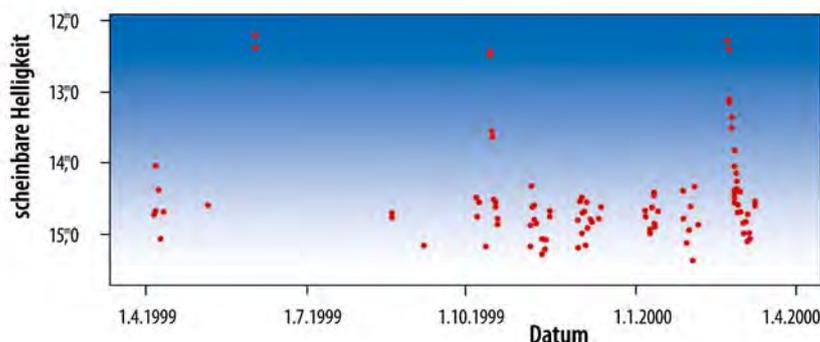
Für die Erstellung eines Suchprogramms kann der Phantasie freien Lauf gelassen werden. Wenn Sie beispielsweise langperiodisch veränderliche Rote Riesensterne finden möchten, verwenden Sie Spektralkataloge aus dem Datenbanksystem VizieR als Grundlage für eine Koordinateneingabe in den Photometrikatalog des ASAS.

Eigene Ergebnisse beim »Datamining«

Auf Grund der überragenden Möglichkeiten des Internets habe ich mich seit 2004 mit dem »Datamining« intensiv beschäftigt, und das Teleskop am Balkon »eingemottet«. Ein erstes Beispiel war eine internationale Zusammenarbeit zur Identifikation von pulsierenden Sternen in der Datenbank des ROTSE-1 (Robotic Optical Transient Search Experiment), die zur Entdeckung von 160 RR-Lyrae-Sternen führte [1].

Ein anderer Ansatz war die Erforschung von Objekten, die starke Strahlung im Röntgenbereich aufweisen und daher in Katalogen des Satelliten ROSAT vermerkt

Abb. 4: Lichtkurve der Zwergnova 1RXS J053234.9+624755 aus den Daten des Robotic Optical Transient Search Experiment-1.



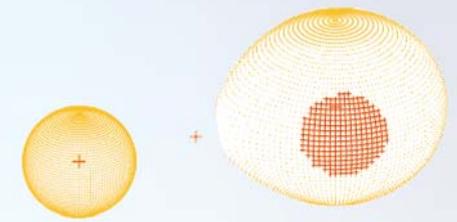
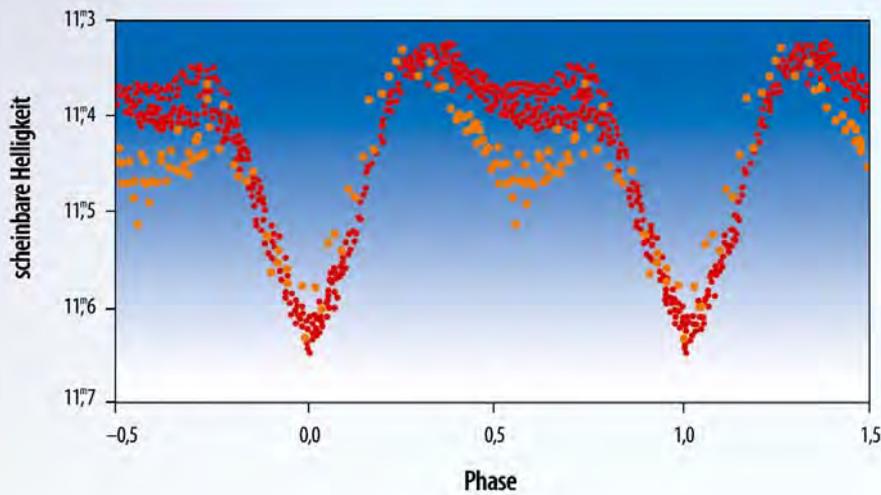


Abb. 5: Reduzierte Lichtkurve von GSC 3377-296 (links) und Simulation des Doppelsternsystems bei Phase 0,5 mit dem Programm Binary Maker 3 (rechts).

sind. Röntgenstrahlung ist ein Indikator für extreme Vorgänge bei Sternen, wie sehr hohe Temperaturen. Eine Durchsicht von Objekten in der ROTSE-1-Datenbank mit Gegenstücken im Röntgenbereich führte zu der sehr interessanten Lichtkurve von 1RXS J053234.9+624755 (Abb. 4). Eindeutig sind drei Ausbrüche in der Lichtkurve von 1RXS J053234.9+624755 4 zu sehen, meine erste Zwergnova war entdeckt! In einer internationalen Zusammenarbeit wurden die Eigenschaften des aus einem Weißen Zwerg und einem Riesenstern bestehenden Doppelsternsystems näher erforscht [2]. Besonders interessant ist der Umstand, dass die Ausbrüche ziemlich regelmäßig in einem Abstand von ca. 133 Tagen erfolgen. Dies deutet auf einen sehr gleichförmigen Massenstrom vom Riesenstern zur Akkretionsscheibe des Weißen Zwerges hin. Bei Erreichen einer bestimmten Masse in der Akkretionsscheibe wird diese instabil, was zu dem starken Aufleuchten führt.

Auch (Doppel-)sterne, die auf Grund einer enorm schnellen Rotation sehr starke Magnetfelder und somit weit größere Fle-

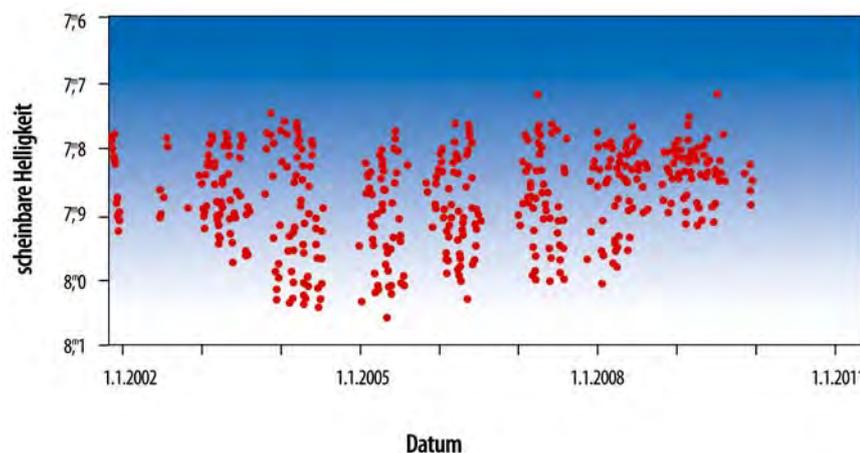
cken als unsere Sonne entwickeln, können durch ihre Röntgenstrahlung entlarvt werden: Im Jahr 2007 entdeckte ich im Internet einen der kürzestperiodischen und somit aktivsten Doppelsterne überhaupt mit einer Periode von nur 0,422467 Tagen, GSC 3377-296 [3]. Die reduzierten Lichtkurven aus Beobachtungen durch meinen BAV-Kollegen Dr. Gerold Monninger zeigten deutliche Änderungen der Lichtkurve innerhalb weniger Monate: Dies sind Hinweise auf das Entstehen und Vergehen der Flecken, deren riesige Ausmaße in einer Simulation mit dem Programm Binary Maker 3 deutlich werden (Abb. 5).

Gerade bei Riesensternen mit Flecken ergeben sich oft kuriose Lichtkurven, wie bei GSC 08210-00226 (=NSV 18506), der in Zusammenarbeit mit dem argentinischen Sternfreund Sebastian Otero kürzlich publiziert wurde [4]: Schön zu sehen ist in den immerhin schon acht Jahre umfassenden ASAS-Daten, dass die Rotationsperiode (=Abstand der Maxima) immer gleich bleibt (Abb. 6), während sich das Ausmaß der Flecken (=Amplitude) im Laufe der Zeit deutlich ändert.

Fazit

Auch ohne eigenes Fernrohr können im Internet unbekannte Veränderliche Sterne per Knopfdruck entdeckt und klassifiziert werden. In umfangreichen Datenbanken verbergen sich noch viele interessante Himmelsobjekte.

- [1] Wils, P., Lloyd, C., Bernhard, K.: A catalogue of RR Lyrae stars from the Northern Sky Variability Survey, MNRAS 368, 1757 (2006)
- [2] Bernhard, K. et al.: A new bright U Gem Variable identified with the X-Ray Source 1RXS J053234.9+624755, IBVS, 5620 (2005)
- [3] Lloyd, C., Bernhard, K., Monninger, G.: GSC 3377-0296 is a New Short-Period Eclipsing RS CVn Variable, IBVS, 5772 (2007)
- [4] Bernhard, K., Otero, S.: New RS CVn Variables in the NSV Catalogue, Peremennye Zvezdy 10, 27 (2010)
- [5] Pojmanski, G.: The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0 h – 6 h Quarter of the Southern Hemisphere, Acta Astronomica 52,397 (2002)



Surftipps

Astrometrica: www.astrometrica.at
 Veränderlichendatenbank bei der AAVSO: www.aavso.org/vsx
 Programm zur Analyse von Zeitserien, Period04: www.univie.ac.at/tops/period04
 Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne: www.bav-astro.de
 VizieR Service: vizier.u-strasbg.fr/cgi-bin/VizieR

Abb. 6: Lichtkurve des Riesensterns NSV 18506 aus den Daten des All Sky Automated Survey.

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

Ein Mann, drei Teleskope, 138 Supernovae

Ein Interview mit dem Supernova-Entdecker Tom Boles

VON DANIEL FISCHER

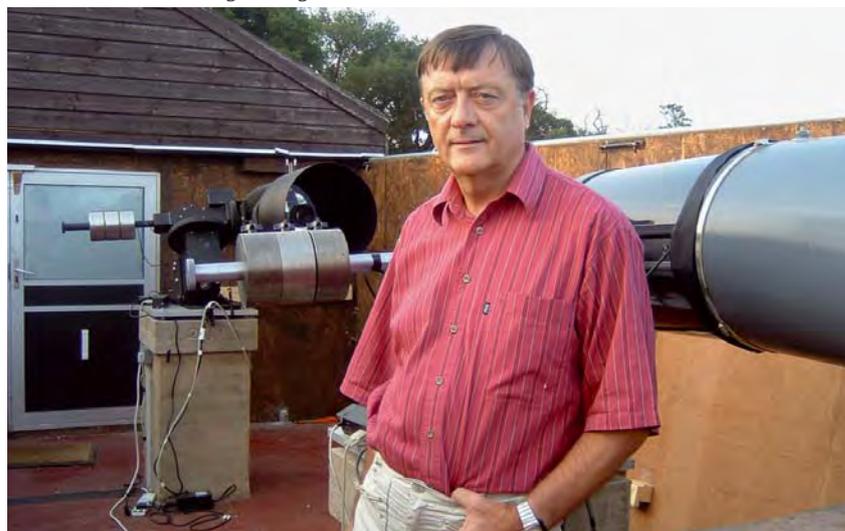
Im kleinen Dorf Coddham in der Grafschaft Suffolk im Osten Englands betreibt der Amateurastronom Tom Boles eine unerhört erfolgreiche Supernova-Suche: Ganz allein, auf eigene Kosten, und dem berühmten britischen Wetter trotzend, hat er in den vergangenen 15 Jahren mit seinen drei Teleskopen und CCD-Kameras 138 Supernovae als erster melden können. Die Teleskope mit jeweils 356mm Öffnung und 512×512-Pixel-Kameras (Apogee AP7) sitzen in einer Schiebedachhütte bzw. in einer Kuppel, die auch stärkerem Wind trotzen. Ein Interview vom Februar 2011 erhellt die Hintergründe.

interstellarum: In nur anderthalb Jahrzehnten haben Sie 138 Supernovae entdeckt – das ist Rekord für einen individuellen Beobachter, richtig?

Tom Boles: Meine letzte Entdeckung war die SN 2010js in UGC 4295, einer Galaxie im Uppsala-Katalog, am 7. November letztes Jahr – das war die Nummer 138. Im neuen Jahr habe ich bisher noch nichts finden können. Der erste Fund war mir 1997 gelungen, aber da hatte ich schon ein Jahr lang gesucht: Es hat also fast 15 Jahre gedauert, bis die heutige Zahl erreicht war.

Soweit ich weiß, habe ich mehr Supernovae entdeckt als jede andere Einzelperson in der Geschichte – wobei die Betonung auf Einzelperson liegt. Einige der großen Durchmusterungen haben natürlich noch viel mehr gefunden als ich. Den bisherigen Rekord hielt Fritz Zwicky mit 123: Den überholte ich im August 2009. Aber auf meinen Lorbeeren ruhe ich mich nicht aus: Mehrere gute Beobachter sind mir dicht auf den Fersen.

Abb. 1: Kein Mensch auf diesem Planeten hat je mehr Supernova-Explosionen aufgespürt: der Amateurastronom Tom Boles, geboren 1944 in Schottland, in seiner Sternwarte in East Anglia, England.



interstellarum: Hat es Fälle gegeben, wo sie eine Supernova entdeckten – und dann erfahren mussten, dass sie jemand anderer knapp »geschlagen« hat?

Tom Boles: Mehr als die Hälfte der Entdeckungen, die ich mache, hat bereits jemand Anderer gemeldet – das ist heute ganz normal. Der weltweite Wettbewerb mit großen professionellen Himmelsdurchmusterungen nimmt jedes Jahr zu. Solche Funde zähle ich natürlich nicht mit. Sobald das Central Bureau of Astronomical Telegrams (CBAT) in den USA eine Meldung herausgegeben hat, können keine weiteren Ansprüche mehr geltend gemacht werden. Ich habe allerdings mehrere Entdeckungen gemacht, die unabhängig waren und zu einer ähnlichen Zeit wie von anderen Beobachtern stattfanden, aber bevor diese veröffentlicht wurden: Die zählen alle als Entdeckungen.

interstellarum: Gab es unter ihren Entdeckungen ungewöhnliche Fälle, die auch in der

Fachwelt für besonderes Aufsehen gesorgt haben?

Tom Boles: Mein Lieblingsfall ist da die SN 2003L. Damals was das die zweitenergiereichste Supernova, die je entdeckt worden war (nach SN 1998bw). Das war besonders befriedigend, weil die Geschwindigkeit der Ejekta und damit der Explosion selbst besonders gering ausfiel: Das passt nicht zu den aktuellen Theorien über den Mechanismus energiereicher Supernovae. Man schlug vor, dass es eine neuartige Familie von Supernovae geben könnte, aber seither sind keine vergleichbaren Beispiele mehr entdeckt worden.

Große Teleskope rund um die Welt verfolgten SN 2003L, inklusive des Radioteleskops VLA in New Mexico, des Röntgensatelliten Chandra und des Satelliten Konus-Wind. Dabei ging es darum, einen Zusammenhang mit einem Gamma Ray Burst zu belegen, der ein paar Tage vorher statt-



Abb. 2: Blick in die Schiebedachhütte der Sternwarte von Tom Boles mit zwei der drei 14"-SCT auf Paramount-Montierungen – das dritte befindet sich daneben in einer Kuppel. Der Supernovajäger ist extra in eine dunkle Gegend im Osten von England gezogen, um die Supernovasuche zu optimieren.

gefunden hatte: Mit 80% Sicherheit ist das auch gelungen.

interstellarum: *Waren Sie schon Ko-Autor von wissenschaftlichen Veröffentlichungen über Supernovae als Ergebnis Ihrer Arbeit?*

Tom Boles: Ja, und die aufregendste betrifft eine Supernova, die ich nicht einmal entdeckt habe. Davon kann man etwas lernen. Dieses Beispiel ist die SN 2006jc, die einzige Supernova, die ich kenne, die zweimal aufgefunden wurde. Im Jahr 2004 strahlte der Stern vermutlich als Luminous Blue Variable auf, dann explodierte er 2006 als »richtige« Supernova. Ich archiviere auf CD und DVD jedes Bild, das ich seit 1996 gemacht habe, bis jetzt etwa 500000 Aufnahmen. Anhand dieser Bilder und meiner Aufzeichnungen konnte ich nachweisen, dass sich dieser Stern in den zehn Jahren vor der Explosion völlig stabil verhielt. Das resultierte in einer gemeinsamen Veröffentlichung [1], sehr nützlich bezüglich der Entwicklung bestimmter Supernovae vor ihrer Explosion.

interstellarum: *Was hat Sie zur Supernova-Jagd gebracht, im Gegensatz etwa zur Kometen- oder Nova-Suche?*

Tom Boles: Der Hauptgrund ist mein intensives Interesse an Kosmologie und dass Supernovae als mächtiges Werkzeug so gut dazu passen. Supernovae des Typs Ia können als Standardkerzen benutzt werden, um

enorme Entfernungen im Kosmos zu messen, und sie waren es, mit denen zuerst die Beschleunigung der kosmischen Expansion entdeckt wurde. Als ich begann, wollte ich auch das Teleskop und die Kamera nutzen, die ich hatte: Für Kometen und Novae hätte das nicht gepasst, das Gesichtsfeld war zu klein. Aber wer heute anfängt, für den könnte das ein produktives Feld sein, dank der Großfeld-CCD-Chips, die heute für Amateure verfügbar sind.

interstellarum: *Ist es immer noch so dramatisch wie am Anfang, wenn Sie eine neue Supernova entdecken?*

Tom Boles: Es ist nicht mehr derselbe »Thrill«, aber es ist genau so aufregend. Wenn Sie Ihre erste Entdeckung machen, sind Sie voller Anspannung, ob Sie auch alles korrekt überprüft haben. Jedes Mal wenn ich eine Entdeckung mache, versuche ich zu beweisen, dass es keine Supernova ist. Auf die Weise reduziere ich die Gefahr, dass ich für das Nachverfolgen einer Fehlbeobachtung wertvolle Teleskopzeit verschwende. Die erste Entdeckung kann also aufregend wie voller Stress sein, später mit Erfahrung kann man es mehr genießen.

interstellarum: *Beschreiben Sie bitte eine typische Beobachtungsnacht. Wie arbeiten Ihre drei Teleskope, wie viel ist Handarbeit, was ist automatisiert, und woher kommt die Steuerungssoftware?*

Surftipps

Tom Boles' Homepage: www.coddenhamobservatories.org

Greanova: www.srcf.ucam.org/~dcf21/software.shtml

Astronomer-Netz: theastronomer.org

Tom Boles: Eine typische Nacht beginnt damit, dass ich die drei CCD-Kameras an die Teleskope setze, die Dächer der beiden Sternwartengebäude öffne und die CCD-Chips bis etwa 40°C unter die Umgebungstemperatur kühle, während die Teleskope die Lufttemperatur erreichen. Das kann schon mal über eine Stunde dauern, bevor irgendetwas beginnt. Wenn die Teleskope thermisch stabilisiert sind, richte ich sie alle in den Zenit und mache Aufnahmen mit 1s Belichtungszeit, um den bestmöglichen Fokus zu erreichen.

Dann lade ich ein Skript, eine Liste der Galaxien und erforderlichen Belichtungszeiten, in meine Steuerungssoftware und starte die Teleskope. Typischerweise benutze ich Integrationszeiten von 60s mit 5s Pause dazwischen, damit die Montierung ausschlagen kann. Ich benutze ein kommerzielles Programm von Software Bisque, The Sky: Es kann eine Menge und entspricht gut meinen Anforderungen. Von allen etwa 50 Aufnahmen überspiele ich die Bilder über LAN in die Wohnung, wo es warm und gemütlich ist.

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



Abb. 3: Drei der Supernova-Entdeckungsaufnahmen von Tom Boles aus dem vergangenen Jahr mit den Supernovae SN 2010gm, 2010hb und 2010hf.

gen können. Heute kann ich als IAU-Mitglied direkt auf die »unconfirmed objects«-Seite des CBAT schreiben und die größeren Teleskope und Spektrografen darauf aufmerksam machen, dass es da einen Verdächtigen gibt. Zunächst muss man feststellen, dass dieser noch nicht gemeldet wurde. Dann prüfe ich die Web-Ressourcen, um Kleinplaneten, Veränderliche etc. auszuschließen.

Ich nehme den Kandidaten noch einmal auf, um zu sehen, ob er sich bewegt hat oder nur ein Artefakt des Bildes war. Ich habe da eine lange Checkliste zum Durchgehen. Die ist schon nötig, da es oft schon kurz vor dem Zubettgehen ist und ich müde bin und leicht Fehler machen kann. Ich überprüfe auch die historischen Bilder der DSS I und II und 10 bis 20 meiner archivierten Bilder, um zu sehen, ob da irgendetwas war. Ein gutes Beobachtungsbuch macht das leichter.

Die Meldung geht gleichzeitig an das CBAT und The Astronomer. Falls nötig, kann [dessen Koordinator] Guy Hurst Freiwillige alarmieren, um das Objekt in der folgenden Nacht zu bestätigen. Eine Beobachtung in einer zweiten Nacht ist immer erforderlich, und wenn das Wetter schlecht ist, kommt man ohne Hilfe nicht aus.

interstellarum: *Wie vergleicht sich Ihre Suchstrategie (und Erfolgsrate) mit anderen Supernova-Suchprogrammen, speziell solchen professioneller Astronomen?*

Tom Boles: Das kann ich nicht sagen, da nur die Entdeckungen, aber nicht die Anzahl der Aufnahmen der anderen veröffentlicht werden. Ich entdeckte eine Supernova auf etwa jedem 4000. Bild, das ich aufnehme – macht rund 110 Stunden Arbeit pro Entdeckung, habe ich mal ausgerechnet. Die größte Herausforderung ist das Klima im Vereinigten Königreich: Ich bekomme nicht die Zahl der klaren Nächte, die ich gerne hätte.

interstellarum: *Sie schreiben auf Ihrer Homepage, dass Sie eigens umzogen und Ihre Sternwarte gezielt in Coddenham bau-*

ten, »wegen der geringen Lichtverschmutzung und der erhöhten Zahl wolkenloser Nächte im Jahr« – wie signifikant ist dieser Effekt?

Tom Boles: Generell kann man sagen, dass das Wetter im Vereinigten Königreich normalerweise vom Atlantik her kommt. Das bedeutet, dass Regen erst im Westen und dann im Osten fällt. Je weiter eine Sternwarte im Süden und Osten liegt, desto weniger Wolken bekommt sie normalerweise. Die Zahl der klaren Nächte ist wichtiger als besonders dunkler Himmel. Allerdings waren die vergangenen drei Jahre wolkiger als üblich. Ob das ein kurzzeitiger Effekt oder das Ergebnis eines längerfristigen klimatischen Wandels ist, muss man sehen.

interstellarum: *Betreiben Sie noch andere Astronomie, oder widmen sie alle »dunkle Zeit« der Supernova-Jagd?*

Tom Boles: Manchmal schaue ich mir etwas interessantes an, das am Himmel stattfindet, aber normalerweise spezialisiere ich mich auf die Supernovae. Der Hauptgrund ist, dass ich eine ausgesprochen gute Ausrichtung für meine Teleskope brauche, die für das Gewicht der CCD-Kameras optimiert sind. Wenn ich etwas verändere, selbst wenn es nur der Einbau von Filterrädern ist, verändert sich die Genauigkeit der Ausrichtung und ich muss langwierige Korrekturen durchführen.

interstellarum: *Würden Sie Ihr System jetzt als ausgereift beschreiben, oder würden Sie – sofern möglich – gewisse Dinge anders machen.*

Tom Boles: Raum für Verbesserungen gibt es immer. Ich würde mir größere CCD-Chips wünschen, und vielleicht die neuesten Versionen der Paramount-Montierungen holen. Meine drei Exemplare sind frühe Prototypen, die hergestellt wur-

Die eigentliche Arbeit beginnt, wenn ich diese Bilder mit ihren Gegenstücken aus meiner Bibliothek mit 12000 Galaxienaufnahmen vergleiche. Die ist im Laufe der vergangenen 15 Jahre entstanden und enthält jeweils die besten Bilder, die mir von jeder der Galaxien gelungen sind. Eine Beobachtungsnacht kann im britischen Winter bis zu 13 Stunden dauern, wobei die Teleskope zusammen 135 Bilder pro Stunde erzeugen. Danach kommt ein Aufwärmprozess, der wieder eine Stunde dauert, bevor die Kameras abgeschaltet und abgenommen werden können.

interstellarum: *Mit welcher Software blinken Sie die Bilder visuell?*

Tom Boles: Ich benutze ein Programm namens Grepnova. Das ist Freeware von Dominic Ford von der Universität in Cambridge. Es wurde für die Suche nach Supernovae entwickelt und speziell nach meinen Anforderungen programmiert. Ich kann dieses Programm zum Ausrichten und Blinken sehr empfehlen: Man kann es kostenlos herunterladen (vgl. Surfipps). Dominic möchte als Gegenleistung lediglich wissen, ob Sie es erfolgreich einsetzen.

interstellarum: *Wie ist der Ablauf nach einer möglichen Entdeckung, und spielt das Netzwerk von »The Astronomer« eine Rolle dabei?*

Tom Boles: Das Netzwerk war extrem wichtig, um zu lernen, wie und an wen man Entdeckungen meldet. Ohne diese großartige Unterstützung hätte ich gar nicht anfan-

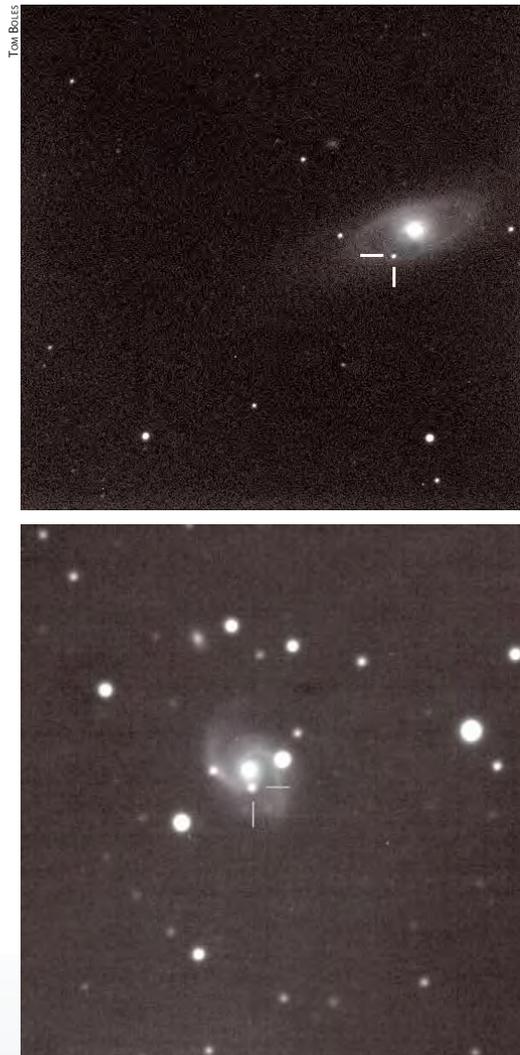


Abb. 4: Zwei frühere Funde von Tom Boles: SN 1999ev und SN 2004fz.

der darüber nachdenken.

Immer wieder habe ich in letzter Zeit gelesen, dass Amateure übertrumpft werden würden und keinen Beitrag mehr leisten könnten – das ist nie eingetreten. Amateure sind flexibel, erfindungsreich und ändern ihr Verhalten, um Resultate zu bekommen. So lange sie das Beobachten lieben, behalten sie die Kontrolle.

interstellarum: *Würden Sie anderen Amateurastronomen auf der Suche nach einer sinnvollen Aufgabe raten, in Ihre Fußstapfen zu treten? Und falls nicht in Sachen Supernovae: Nützen die Lektionen, die Sie beim Aufbau Ihres Systems gelernt haben, auch für andere Suchprogramme?*

den lange bevor es die ME-Version gab. Das alles kostet Geld, und da ich jetzt im Ruhestand bin, ist es unwahrscheinlich, dass es so weit kommen wird.

interstellarum: *Das Durchmusterungs-Teleskop Pan-STARRS nimmt allmählich Fahrt auf, und noch bessere sollen folgen – fürchten Sie, dass die Ihnen bald alle Supernovae wegschnappen werden, oder ist Ihre Suchstrategie so einmalig und schnell, dass Sie die Supernovae immer noch als erster sehen werden?*

Tom Boles: Vor ein paar Jahren habe ich mich vor Pan-STARRS tatsächlich gefürchtet. Die Spezifikation des Systems hat sich seit dessen ersten Entwürfen aber geändert, mit nur einem Teleskop – da bin ich inzwischen beruhigt. Wenn das LSST [Large Synoptic Survey Telescope] gebaut wird (davon gehe ich aus) oder der SNAP-Satellit gestartet wird (was ich nicht glaube), muss ich wie-

Tom Boles: All die Techniken, die ich einsetze, können auch für Kometen und Novae angewendet werden. Es gibt auch Near Earth Objects und Transneptune, wo noch gute Arbeit möglich ist. Novae sind wohl das Gebiet, das heute am meisten vernachlässigt wird. Man schätzt, dass jedes Jahr allein am Nordhimmel eine zweistellige Zahl heller Novae übersehen wird: Das wäre ein fruchtbares Betätigungsfeld. Auch möchte ich niemand davon abhalten, nach Supernovae zu suchen, es sind genug für alle da. Und ich helfe gerne.

interstellarum: *Herzlichen Dank für das Interview!*

[1] Pastorello, A. et al.: A giant outburst two years before the core-collapse of a massive star, *Nature* 447, 829 (2007)

Zwei Amateuraufnahmen, die Geschichte schrieben

23.1.2004, Jay McNeil, M 78



McNeils Nebel, entdeckt vom Amateurastronom Jay McNeil am 23. Januar 2004, ist ein Reflexionsnebel, der einen neugeborenen Stern umgibt. Original Entdeckungsaufnahme Jay McNeil.

»Eine typische Hochwinternacht in West-Kentucky. Eine Kaltfront war gerade durchgezogen, so dass der Himmel klar war, aber die Temperatur schnell sank. Ich hatte gerade einen gebrauchten 3"-Apochromat von Takahashi gekauft, und es war erst die dritte Gelegenheit das Teleskop zu nutzen. Ich wollte ein Objekt fotografieren, das die Weitfeld-Möglichkeiten des Geräts mit meiner CCD-Kamera zeigte, so fiel die Wahl auf die Nebellandschaft um M 78 in Orion.

Ich machte eine Serie von Aufnahmen, insgesamt 90 Minuten Luminanz und je 20 Minuten RGB. Weil ich am nächsten Tag früh raus musste, war die Aktion nett und kurz.

Aufgrund beruflicher Verpflichtungen vergingen einige Tage. Am 29. Januar schließlich begann ich mit dem Addieren und Bearbeiten der Bilder. Fast sofort fiel mir ein seltsamer, kleiner elongierter Fleck auf der Luminanzaufnahme auf. Da ich das Gebiet gut kannte, war mir bald klar, dass ich einen solchen Fleck an dieser Stelle zuvor noch nicht gesehen hatte.

Ich begann Aufnahmen aus dem DSS herunterzuladen und mit meinem Bild zu vergleichen. Zu meiner großen Überraschung war der Nebelfleck dort nicht zu sehen. Hatte ich tatsächlich eine Entdeckung gemacht?

Ich sandte mein Bild und ein paar Informationen an Brian Skiff, Berufsastronom am Lowell Observatory in Flagstaff. Er reagierte bereits nach wenigen Minuten und sagte, ich solle das Bild an Bo Reinpurth in Hawaii weiterleiten, der gerade an ähnlichen Objekten arbeite. Keine 24 Stunden später war mein Nebel mit dem 2,2m-Teleskop in Hawaii aufgenommen worden und Reinpurth hatte eine Beobachtung mit dem 8m-Gemini-Nord-Teleskop beantragt, einem der größten der Erde. Der Gedanke, dass all dies von meinem Dreizöller ausging, bis zu einem Instrument mit 300 Tonnen bewegter Masse, ist absolut beeindruckend – umso mehr, als alles in weniger als 48 Stunden passierte.«

■ Jay McNeil

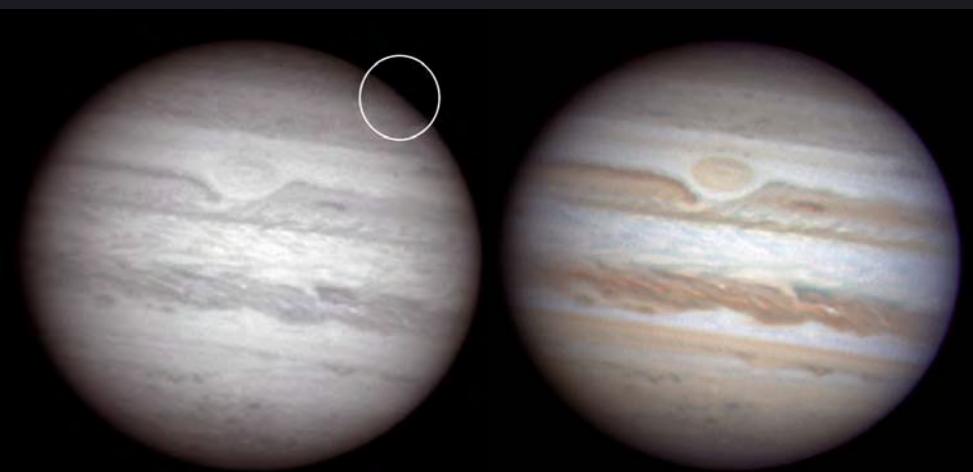


Abb. 1: Anthony Wesley neben seinem 14,5"-Newton, mit dem er den Impakt entdeckte..

»Ich begann diese Aufnahmesequenz von Jupiter ungefähr um 23 Uhr Ortszeit. Die Wettervorhersage war nicht vielversprechend. Die Temperatur war ungewöhnlich hoch für den Winter in Australien, ein schlechtes Zeichen. Ich verwendete meinen neuen 14,5"-Newton, der erst seit einigen Wochen in Betrieb war.

Ich war erfreut, einigermaßen brauchbares Seeing vorzufinden, so dass ich beschloss bis etwa 1 Uhr nachts weiterzumachen. Gegen Mitternacht wurde das Seeing schlechter und ich war dabei aufzugeben. In der Tat lag der Mauszeiger schon über dem »Beenden«-Knopf der Aufnahmesoftware. Doch dann überlegte ich es mir anders und entschied, eine Pause von 30 Minuten einzulegen und dann zu schauen, ob die Bedingungen besser geworden waren.

Abb. 2: Entdeckungsbild des Impakts auf Jupiter. Der dunkle Fleck liegt noch ganz am oberen Rand (Süden).



19.7.2009, Anthony Wesley, Jupiter

Als ich zurückkam, bemerkte ich einen schwarzen Fleck in Jupiters Südpolarregion, der dabei war, auf die Planetenscheibe zu rotieren. Zuerst dachte ich, dass es nur ein normaler dunkler Fleck wäre. Doch als der Fleck besser zu sehen war, fiel mir auf, dass er in allen Kanälen nicht nur dunkel, sondern schwarz war. Mein nächster Gedanke war: Es muss ein Mondschatten sein. Aber dafür war der Fleck an der falschen Stelle und hatte auch nicht die richtige Größe. Außerdem bewegte er sich zu langsam für einen Mondschatten. Tatsächlich bewegte er sich parallel zu einem weißen Oval, das ich schon kannte. Das konnte nur bedeuten, dass der Fleck zur Wolkenoberfläche gehörte. Jetzt wurde ich aufgeregt.

Ich brauchte eine weitere Viertelstunde, um zu begreifen, dass ich wirklich etwas Neues gefunden hatte, denn ich hatte dieselbe Region des Planeten zwei Tage vorher aufgenommen und dort nichts entsprechendes gefunden. Jetzt war ich hin und her gerissen – einerseits wollte ich weiter beobachten, andererseits aber auch andere Beobachter auf den Fleck aufmerksam machen. Die Chance, tatsächlich etwas Neues gefunden zu haben, war zwar lächerlich klein, wenn es jedoch doch ein Impaktfleck wäre, musste ich schnell handeln. Schließlich fotografierte ich noch weitere 30 Minuten, bevor ich mich an den Schreibtisch setzte und E-Mails mit dem Inhalt schrieb, ich hätte hier ein Rohbild, auf dem vielleicht etwas interessantes drauf wäre.«

■ Anthony Wesley

Abb. 3: Ca. eine Stunde später ist der Fleck durch die Rotation Jupiters deutlich sichtbar.



Demnächst in interstellarum

interstellarum 76

Der Mond in Farbe

Gemeinhin erscheint uns der Erdtrabant in einfachem Schwarz-Weiß. Wendet man jedoch spezielle Bildbearbeitungstechniken an, lassen sich digitalen Fotos Farben entlocken, die Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Mondoberfläche geben.



MICHAEL HÜNNEHOHL

CCD-Technik aus Mähren

Moravian Instruments heißt ein neuer Anbieter von CCD-Kameras aus der Tschechischen Republik. Das Modell G2-8300 muss im Test zeigen, ob der High-Tech-Anspruch gerechtfertigt ist.



JÜRGEN STEIN

Fotografische Reisemontierungen im Test

Wenn im Reisegepäck wenig Platz ist, aber dennoch längere Brennweiten sicher nachgeführt werden sollen, sind spezielle Montierungen die erste Wahl. Wir vergleichen zwei aktuelle Modelle.



ULLRICH DITTLER

Heft 76 ist ab 13.5.2011 im Zeitschriftenhandel erhältlich!

aktuell auf www.interstellarum.de

Aktuelle Aufnahmen unserer Leser

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

NEU: Online-Ods

- www.interstellarum.de/ods-galerie.asp



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

Inserenten dieser Ausgabe

Alpine Astrovilla	87	Farm Tivoli	87	Sattleggers Alpenhof	78
APM Telescopes	27	ICMS	87	Teleskop-Service	24
Astrocom	86	Intercon Spacetec	5	Teleskop & Sternwarten	
Astronomie.de	82	Kiripotib Astrofarm	87	Zentrum	25
Astro-Shop	U2	Meade Instruments		teleskop-shop-ost	87
Berlebach Stativtechnik	86		U4/6/86/87	Wolfgang Lille	86
Beyersdörfer GmbH	4	nimax GmbH	25		
Friedrich Moess		Oculum-Verlag	U3/50-51		
Beleuchtungssysteme	87	Optical Vision	7/83		

Impressum

www.interstellarum.de | ISSN: 0946-9915

Verlag: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67, D-91054 Erlangen
WWW: www.oculum.de
E-Mail: info@oculum.de
Tel.: 09131/970694
Fax: 09131/978596

Abo-Service: Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Straße 67, D-91054 Erlangen
E-Mail: aboservice@interstellarum.de
Tel.: 09131/970694 (Mo-Do 10:00-15:00)
Fax: 09131/978596

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



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

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

Grafik und Layout: Frank Haller, Diana Hoh

Redaktion: redaktion@interstellarum.de
 Ronald Stoyan (Chefredaktion), Daniel Fischer, Susanne Friedrich, Frank Gasparini, Hans-Georg Purucker

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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