

W I S wissenschaft
in die schulen!

Spektroskopische Abenteuer

Ein goldenes Zeitalter für Amateurastronomen

Das Tempo der astronomischen Forschung nimmt rasant zu. Dabei scheint die Größe professioneller Teleskope die Amateurastronomen zu Zuschauern zu degradieren. Doch in Wahrheit verhält es sich anders: Im »Reiff-Vortrag« auf der Bochumer Herbsttagung 2011 demonstrierte ein Astrophysiker am Beispiel der Spektroskopie, dass Amateur- und Profiwissenschaftler einer gemeinsamen spannenden Zukunft entgegensehen.

Von Thomas Eversberg

Noch vor 200 Jahren bestand die Aufgabe eines professionellen Astronomen darin, Daten zur Navigation zu berechnen. Wegen der damals ungenauen Uhren musste der Längengrad eines Schiffs geschätzt oder durch komplizierte Berechnungen der Mondstanz bestimmt werden. Mit Himmelsbeobachtungen ohne »praktischen« Nutzen konnte man sein Geld für den täglichen Lebensunterhalt nicht verdienen; die Beschäftigung mit den Sternen war eine Sa-

Nebel. Wilhelm Herschel baute seine Fernrohre selbst und war dabei so erfolgreich, dass er eine ganze wissenschaftliche Epoche beeinflusste. Die von ihm angestoßene Entwicklung kulminierte im Bau des »Leviathan« durch den irischen Astronomen William Parsons, den 3. Earl of Rosse. Das von ihm geschaffene Teleskop mit einer Öffnung von 183 Zentimetern war bis zum Jahr 1917 das weltweit größte Gerät seiner Art.

Indes verhinderten die hohen Kosten für solche Instrumente einen weiteren ge-

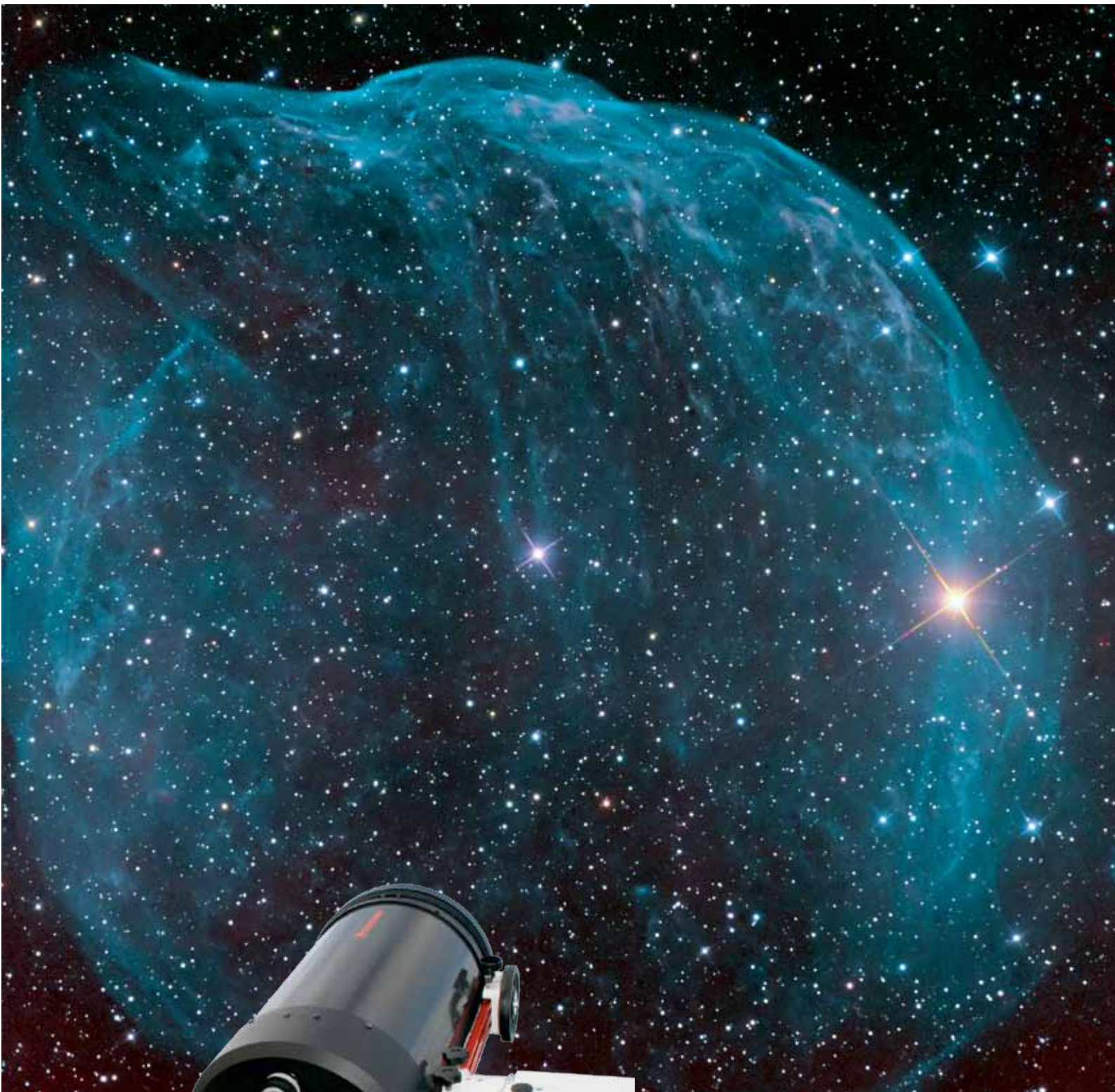
wurden immer größer, und die Profiastronomie definierte ihre bis heute weitgehend gültigen physikalischen Arbeitstechniken. Die Arbeiten von Profis und Amateuren trennten sich weitgehend, und angesichts der heutigen Vielzahl von Riesenteleskopen und den jüngsten Planungen, in den Bereich von 50 Meter Öffnung vorzustößen, stellt sich zwangsläufig die Frage, ob ein Amateurastronom überhaupt noch sinnvoll zur Forschung beitragen kann.

Seit etwa 20 Jahren kehrt sich dieses Bild jedoch um. Mit den Entwicklungen in der Halbleitertechnik, Optik und Mechanik und mit einem entsprechenden Preisverfall stehen dem astronomischen Liebhaber im heutigen »goldenen Zeitalter der Astronomie« Mittel zur Verfügung, die das Tor zu ernsthaften physikalischen Untersuchungen am Himmel weit öffnen. Mit Ausnahme weniger Entwicklungen stehen dem Amateur prinzipiell die glei-

Den Amateurastronomen stehen heute prinzipiell die gleichen Technologien zur Verfügung wie den Profis.

che der Liebhaberei in der Freizeit begünstigter Amateure. So wurde beispielsweise der Planet Uranus im Jahr 1781 durch den Musiker Wilhelm Herschel entdeckt, und seine Schwester Caroline, eine Sängerin, fand mehrere Kometen und kosmische

meinsamen Weg von Amateur- und Profiforschern – die Grundlagenforschung musste sich professionalisieren. Im ausgehenden 19. Jahrhundert etablierten sich astronomische Institute an den europäischen Universitäten, die Arbeitsgeräte



Don Goldman



Robin Leadbeater

Seit einigen Jahren sind Spektrografen für Amateurlinienteleskope im Handel erhältlich. Solche Geräte eröffnen viele Möglichkeiten, mit Forschern zusammenzuarbeiten – beispielsweise erlauben sie Langzeitbeobachtungen des in der Bildmitte befindlichen Wolf-Rayet-Sterns WR 6, dessen starker Sternwind den prächtigen Nebel Sharpless 308 schuf.

chen Technologien zur Verfügung wie dem Profi. Bei Berücksichtigung unterschiedlicher finanzieller und zeitlicher Möglichkeiten können engagierte Amateure mit ihren Beobachtungen durchaus wichtige Beiträge zur modernen Astrophysik leisten – dies besonders, da auch die Spitzenforschung unter einem begrenzten Finanzrahmen leidet. In Zukunft werden sich für Amateurastronomen einige Arbeitsgebiete in der Forschung auftun. Eines dieser Gebiete ist die Spektroskopie, das wichtigste Werkzeug zum Verständnis des Universums.

Moderne Instrumente für die Amateurastronomie

Heutzutage wird die professionelle beobachtende Astronomie von überbuchten Teleskopen dominiert, bei denen sich die Forschungen stark auf bestimmte Themenbereiche konzentrieren, unter anderem auf die Kosmologie oder die Suche nach Exoplaneten. Umso schwieriger ist es, ein Teleskop für andere Forschungen, etwa für zeitaufwändige Beobachtungen an massereichen Sternen, zu reservieren. Andererseits arbeiten Amateurastronomen schon seit einiger Zeit auf ebenjenem Gebiet – und das auf einem Niveau, das professionellen Ansprüchen vollkommen genügt (siehe SuW 12/2008, S. 76).

Der von massereichen Sternen ständig abströmende Wind aus elektrisch geladenen Partikeln sorgt für dramatische spektroskopische Effekte, die sich auf kurzen Zeitskalen im Bereich von Minuten bis Tagen beobachten lassen. Zur Untersuchung solcher Sternwinde entwarfen und bauten Amateure mit handelsüblichen Optiken Spektrografen und passten sie an ihre Teleskope an. Die dabei genutzten Teleskope müssen keinesfalls groß sein: Mittlerweile sind Spektrografen sogar für die unter Sternfreunden sehr populären Schmidt-Cassegrain-Teleskope im Handel erhältlich. Selbst komplexere Geräte, die das gesamte optische Spektrum in einem Schuss abbilden, die so genannten Echelle-Spektrografen, finden seit rund drei Jahren eine zunehmende Verbreitung in der Amateurszene. Und wer seine Instrumente nicht gern selbst baut, kann auch hier entsprechende Geräte einschließlich eines kompletten Softwarepakets für die Datenverarbeitung fertig kaufen und braucht an dem Gerät nichts mehr per Hand einzustellen.

Mit dem Dopplereffekt Spektren entschlüsseln

Das einfachste Spektroskop ist ein Wassertropfen. Aufgrund seiner brechenden Eigenschaften zerlegt er das weiße Licht der Sonne in seine einzelnen Farben. Das von vielen Wassertropfen in der Atmosphäre gleichzeitig gebrochene Licht kennen wir als Regenbogen. Nutzt man anstelle eines Tropfens optische Elemente wie Spiegel, Linsen, Prismen oder optische Beugungsgitter und nimmt das resultierende Farbspektrum mit einem künstlichen Detektor auf, beispielsweise mit einer digitalen Kamera, so spricht man von einem Spektrografen.

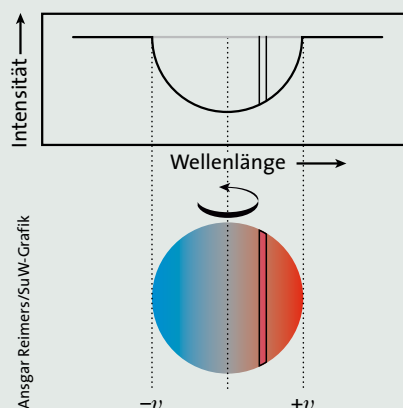
Die Analyse des Lichts kosmischer Objekte mit einem Spektrografen gilt heute als das entscheidende und machtvollste Mittel der Astronomie. In den Spektren zeigen sich charakteristische helle oder dunkle Linien, die durch atomare Übergänge entstehen und mit denen sich die chemische Zusammensetzung der Objekte bestimmen lässt. Solche Linien eignen sich auch für Geschwindigkeitsmessungen, die mit abbildenden Verfahren schlicht unerreichbar sind. Ein eindrucksvolles Beispiel ist der Wolf-Rayet-Stern WR 6 (siehe Bild S. 76). Der ihn umgebende Nebel Sharpless 308 entstand durch seinen intensiven Sternwind. Selbst mit den leistungsfähigsten Teleskopen erscheint WR 6 jedoch nur punktförmig und lässt keine Details erkennen. Mit Hilfe der Spektroskopie ist es dagegen möglich, anhand der Spektrallinien die Struktur der ausgestoßenen Materie in unmittelbarer Sternnähe zu erforschen.

Dazu nutzen die Astronomen den Dopplereffekt: Bei Objekten, die sich auf den Beobachter zu bewegen, erscheinen die Spektrallinien zu kürzeren Wellenlängen hin verschoben – man sagt, sie sind »blauverschoben«. Bewegt sich das Objekt von ihm weg, so erscheinen die Linien bei größeren Wellenlängen, also »rotverschoben«. Ist $\Delta\lambda$ die beobachtete Wellenlängenverschiebung der Linie und λ ihre Labor- oder Ruhewellenlänge, dann lässt sich die Geschwindigkeit v der Lichtquelle wie folgt berechnen:

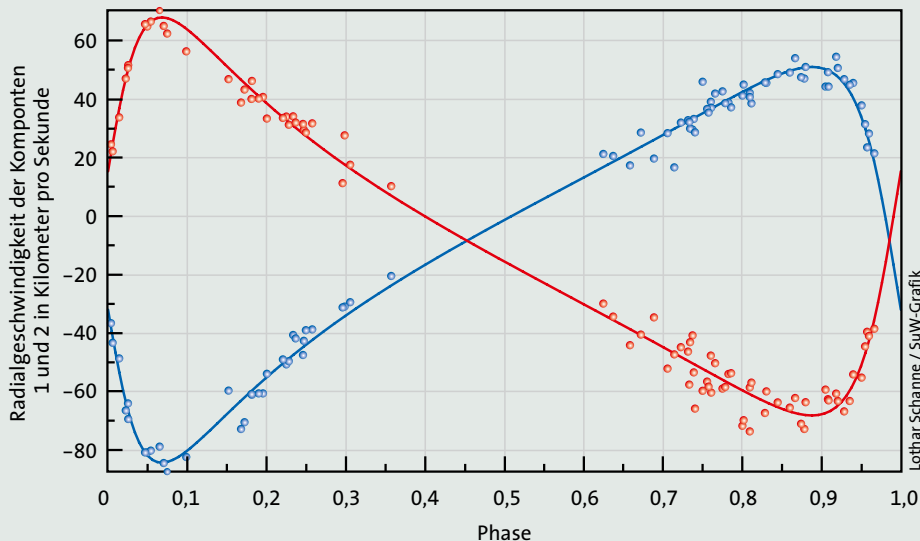
$$\Delta\lambda/\lambda = v/c$$

Diese Relation gilt für Relativgeschwindigkeiten, die klein im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit c sind. Mit Hilfe der Formel ist es möglich, gemessene Wellenlängenunterschiede in Geschwindigkeitsunterschiede umzurechnen. So gelingt es beispielsweise, die Rotationsgeschwindigkeit eines einzelnen Sterns zu ermitteln, der sich sehr schnell um seine Achse dreht. Die Rotation verursacht eine Verbreiterung der Spektrallinien, die sich durch den Dopplereffekt erklären lässt (siehe Grafik unten). Die gemessene Linienbreite, für $\Delta\lambda$ in die Formel eingesetzt, ergibt dann die gesuchte Rotationsgeschwindigkeit.

In ähnlicher Weise können Amateurastronomen mit Hilfe des Dopplereffekts die Bewegung von Komponenten eines Doppelsternsystems vermessen, die am Himmel so eng beieinanderstehen, dass sie in einem Teleskop nicht mehr getrennt gesehen werden können. In den Spektren solcher »spektroskopischer Doppelsterne« erscheinen auch die Linien doppelt und verändern im Rhythmus der Umlaufbewegung ihren Abstand zueinander. Diesem Tanz der Spektrallinien entsprechen negative und positive Geschwindigkeiten einer momentanen Bewegung auf uns zu beziehungsweise von uns weg (siehe Diagramm oben).



Bei einem schnell rotierenden Stern erscheint das Profil einer betrachteten Spektrallinie verbreitert (oben). Da die eine Hälfte des Sterns auf den Beobachter zu, die andere von ihm weg rotiert, wird das von den Hälften ausgesandte Licht infolge des Dopplereffekts blau- beziehungsweise rotverschoben (unten).



Mit Hilfe der Spektroskopie gelang es dem Amateurastronomen Lothar Schanne, die Bahngeschwindigkeiten der beiden Sterne des Systems Mizar A zu ermitteln (rot beziehungsweise blau). Dazu maß er die Wellenlängen bestimmter Spektrallinien in Abhängigkeit von der Zeit. Einer vollen Umlaufperiode ist hier die »Phase« mit Werten zwischen null und eins zugeordnet.

Lothar Schanne / SuW-Grafik

Mit Hilfe der Spektroskopie lassen sich auch Sterne untersuchen, die das Ende ihrer Entwicklung erreicht haben. Dies gelang beispielsweise Thomas Hansen von der Fachgruppe Spektroskopie der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS). Mit einem einfachen optischen Gitter an seinem Acht-Zoll-Newton-Teleskop zerlegte der Amateurastronom das Licht der Supernova SN2011by, die im April 2011 in der Galaxie NGC 3972 explodierte (siehe Bild unten). Die Absorptionslinien im Spektrum der Supernova sind blauverschoben und deuten auf eine Stoßfront hin, die sich mit hoher Geschwindigkeit auf den Beobachter zu bewegt.

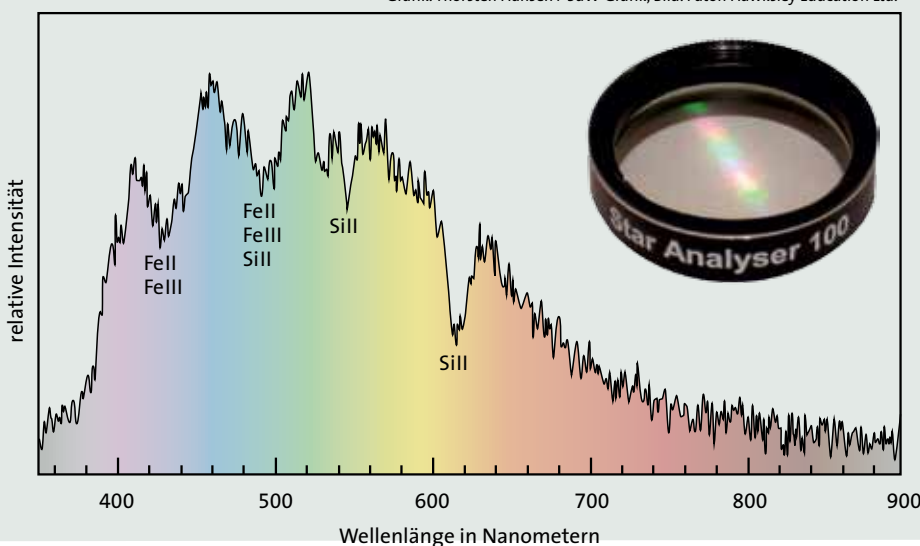
Auch für die Kosmologie ist die Spektralanalyse unverzichtbar. Der US-amerikanische Astronom Edwin P. Hubble (1889 – 1953) entdeckte die mit der Expansion des Universums einhergehende Fluchtbewegung der Galaxien allein auf der Grundlage spektroskopischer Messungen. Die Expansion verrät sich durch die systematische Verschiebung der Spektrallinien von Galaxien zu größeren Wellenlängen: Sie ist umso größer, je weiter eine betrachtete Galaxie von uns entfernt ist. Heute können auch Amateurastronomen diese »Rotverschiebung« mit einer Genauigkeit von einigen hundert Kilometern pro Sekunde nachweisen. Dabei beschränken sie sich keinesfalls auf nahe Galaxien, sondern nehmen sogar ferne Quasare ins Visier.

Entscheidend für den Detailreichtum eines Spektrums ist das spektrale Auflösungsvermögen. Es beschreibt die Fähigkeit eines Spektrografen, dicht benachbarte Einzelheiten eines Spektrums, die sich im Abstand $\Delta\lambda$ zueinander befinden, noch getrennt abzubilden. Die mit R bezeichnete Kenngröße hängt von der Wellenlänge λ des Lichts ab:

$$R = \lambda / \Delta\lambda$$

Sie gibt an, mit wie vielen Auflösungselementen das Spektroskop einen bestimmten Spektralbereich in der Umgebung einer betrachteten Wellenlänge λ abbildet. Zumeist wird ein Spektroskop an einem Teleskop und mit einer Kamera betrieben, die das Spektrum aufnimmt. Als Faustregel gilt: Je geringer das spektrale Auflösungsvermögen eines Spektrokops ist, umso lichtschwächere Objekte lassen sich bei gleichem Kontrast und gleicher Belichtungszeit auf den Kamerasensor bannen. Der Terminus für den aus der Fotografie bekannten Kontrast ist das »Signal-Rausch-Verhältnis« (englisch: signal-to-noise ratio, *SNR*). Bei optimaler Anpassung von R , *SNR* und den Belichtungszeiten ist es auch mit kleinen Fernrohren möglich, bei unterschiedlich hellen Himmelsobjekten wissenschaftlich aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Grafik: Thorsten Hansen / SuW-Grafik; Bild: Paton Hawksley Education Ltd.



Im Spektrum der Supernova SN2011by sind alle Absorptionslinien stark verbreitert. Ein Vergleich mit Laborspektren ergibt, dass die Linien zudem blauverschoben sind. Die Ursache hierfür ist die auf den Beobachter zurasende Stoßfront des explodierten Sterns. Für diese Messungen genügte das hier abgebildete preiswert erhältliche optische Dispersionsgitter, das sich in ein Okular einschrauben lässt.



Um professionelle Anforderungen zu erfüllen, lässt sich das spektrale Auflösungsvermögen problemlos anpassen, beispielsweise durch die Wahl eines entsprechenden optischen Gitters. Sterne, die heller als 8 mag sind, können Amateurastronomen mit einer auch aus professioneller Sicht hohen Auflösung von $R = 10\,000$ spektroskopieren und hier sogar die Linienprofile analysieren (siehe Kasten S. 78). Die Linienform enthält Informationen über die dreidimensionale geometrische Form des betrachteten Sterns, der beim Blick durch ein abbildendes Teleskop nur als Lichtpunkt am Himmel erscheint. Ein Beispiel ist der Wolf-Rayet-Stern WR 6, von dem ein starker Sternwind ausgeht (siehe Bild S. 77). Selbst in den größten Teleskopen erscheint der Stern nur punktförmig; im Maßstab der Abbildung, die den ausgedehnten leuchtenden Nebel Sharpless 308 in seiner Umgebung zeigt, wäre er nur so groß wie ein Atom. Mit Hilfe der Spektroskopie ist es jedoch möglich, die Struktur der ausgestoßenen Materie in unmittelbarer Sternnähe zu erforschen.

Ein weiteres Beispiel für die Nützlichkeit von Linienprofilanalysen sind Messungen der Rotationsgeschwindigkeiten schnell rotierender Sterne: Je schneller ein Stern rotiert, umso mehr werden die Spektrallinien durch den Dopplereffekt verbreitert (siehe Kasten S. 78). So gelingt es auch hier der Spektroskopie, Informationen zu erhalten, die einer direkten Beobachtung nicht zugänglich sind.

Wer sich hingegen für Galaxien interessiert, kann ebenfalls anhand von Spektren die Rotation untersuchen (siehe Bild rechts). Da Galaxien relativ lichtschwach

sind, empfehlen sich hier längere Belichtungszeiten. Eine weitere Möglichkeit, die Empfindlichkeit zu erhöhen, besteht darin, das spektrale Auflösungsvermögen zu reduzieren. Diese beiden Maßnahmen erlauben es Sternfreunden, bis in den Bereich von 14 mag vorzudringen.

Mit der Spektroskopie lassen sich somit viele astrophysikalische Arbeitsfelder abdecken, und das wichtigste Werkzeug hierfür steht jedem zur Verfügung. Dabei haben die von Amateurastronomen genutzten Geräte im Prinzip die gleiche Leistungsfähigkeit wie diejenigen der professionellen Forscher, sie sind jedoch deutlich preisgünstiger.

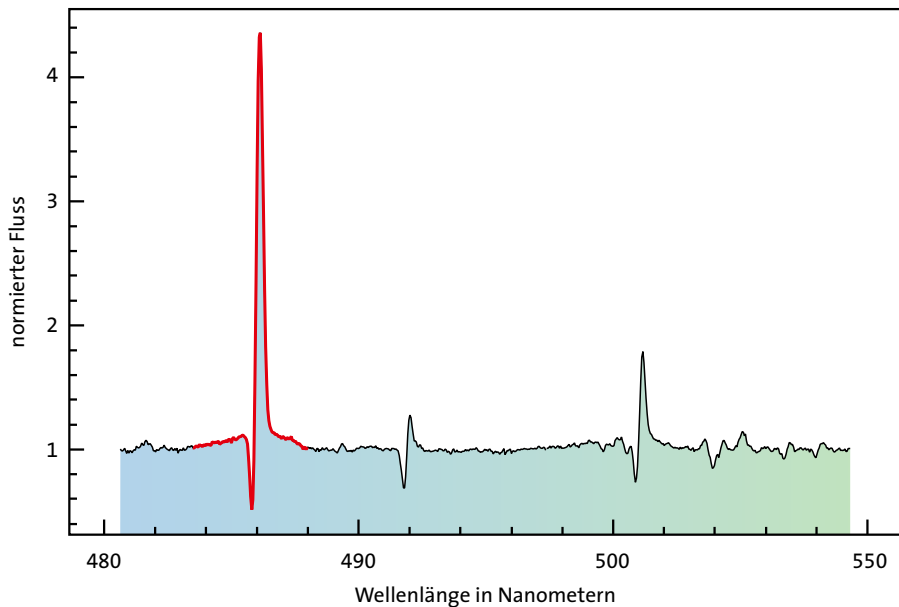
Wer hingegen die Kosten für einen Einstieg scheut, kann sich für rund 100 Euro ein Dispersionsgitter kaufen und dieses mit wenigen Handgriffen in ein Okular einschrauben. Mit diesem kleinen und günstigen Spektralgitter erhalten Sternfreunde einen optimalen Zugang zu spektroskopischen Techniken und lernen gleichzeitig viel über die beobachteten Objekte (siehe SuW 2/2012, S. 72). Mit einem solchen »Star Analyzer« nahmen Amateurastronomen sogar Spektren mehrerer Supernovae auf, die zu dieser Zeit nur rund 13 mag hell waren. Übrigens werden seit dem Jahr 2011 Entdeckungen neuer Supernovae nur noch dann anerkannt, wenn sie spektral verifiziert sind.

Ohne eine technische und physikalische Begleitung lassen sich Amateure auf die Astrospektroskopie nicht immer ein. Dieser Tatsache wird in der Astroszene intensiv Rechnung getragen. So gibt es mittlerweile mehrere Fachgruppen mit Diskussionsforen oder Mailinglisten, in

denen Profis und Amateure alle Fragen zeitnah und kompetent beantworten. Mit mehr als 200 registrierten Nutzern und rund 300 Beiträgen pro Monat ist das Forum der Fachgruppe Spektroskopie der Vereinigung der Sternfreunde e.V. hochaktiv; die Website wird trotz des recht exotischen Themas rund 6000-mal pro Jahr besucht. Die Beiträge in deutscher und englischer Sprache behandeln Fragen zur Theorie, zum Spektrografenbau, zur Optik, Software und Physik sowie zu Beobachtungsergebnissen. Ein anderer »spektroskopischer Brennpunkt« ist der Astronomical Ring for Access to Spectroscopy in Frankreich sowie sein zweisprachiges Forum, in dem jedoch hauptsächlich Beobachtungsprogramme diskutiert werden. Eine dritte sehr aktive Gruppe hat sich erfreulicherweise in der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft etabliert. Alle Gruppen organisieren regelmäßige Workshops, Tagungen und Konferenzen, und es bleibt zu hoffen, dass ähnliche Initiativen in anderen Ländern ergriffen werden.

Langfristige spektroskopische Überwachung

Wer die Forschung unterstützen will, braucht adäquate Ziele, von denen ich einige schon angesprochen habe. Amateurastronomen, die mit relativ kleinen Teleskopen hochauflösende Spektroskopie betreiben möchten, sollten sich relativ hellen Objekten vor unserer kosmischen Haustür widmen und diese in einer Art messen, die den Profis unmöglich ist. Das sind lange oder wiederholte Aufnahmen von Spektren oder langfristige Untersuchungen einzelner Spektrallinien. Kom-



Mit einem selbst gebauten Spektrografen an einem Newton-Teleskop (ganz links) nahm Lothar Schanne das hier dargestellte Spektrum des Sterns P Cygni auf. Der vom Stern abströmende Wind verrät sich durch eine starke Emissionslinie (rot), die ein für solche Sterne charakteristisches Profil aufweist.

Lothar Schanne / SuW-Grafik

biniert man diese Aspekte, so stößt man schnell auf massereiche Sterne und ihre Winde. Ihre Physik ist von generellem Interesse und teilweise unverstanden. Zudem sind diese Sterne sehr leuchtkräftig. Daher ist ihre Zahl am Himmel hinreichend groß, und ihre Spektren verändern sich innerhalb kurzer Zeit, so dass permanente Messungen sehr erwünscht sind. In diesem Arbeitsfeld gibt es bereits international aktive Gruppen, die gemeinsam forschen und Neueinsteiger dazu anleiten, physikalisch sinnvolle Beobachtungen durchzuführen.

Professionellen Forschern ist es beinahe unmöglich, einzelne Himmelsobjekte sehr langfristig und lückenlos zu überwachen – insbesondere wenn es sich hierbei um spektroskopische Beobachtungen handelt. Deshalb können sie in der Regel nur Schnappschüsse einzelner spektroskopischer Parameter gewinnen. Was während der großen zeitlichen Lücken passiert und wie sich ein Objekt langfristig physikalisch verhält, lässt sich auf diese Weise kaum ermitteln.

Doch ausgerechnet kontinuierliche Überwachungen sind eine Stärke amateurspektroskopischer Beobachtungen. Die Kombination von gut überschaubaren Prozeduren zur Messung der wichtigsten spektralen Parameter, beispielsweise von Linienstärken und Radialgeschwindigkeiten, mit einem nach langer Zeit gut bekannten Instrumentarium sowie mit soliden Beobachtungs- und Auswertungsroutinen gestaltet solche Messungen sehr einfach. Nach einer entsprechenden Einführung und Erläuterung der Prozeduren kann ein Anfänger sie relativ schnell

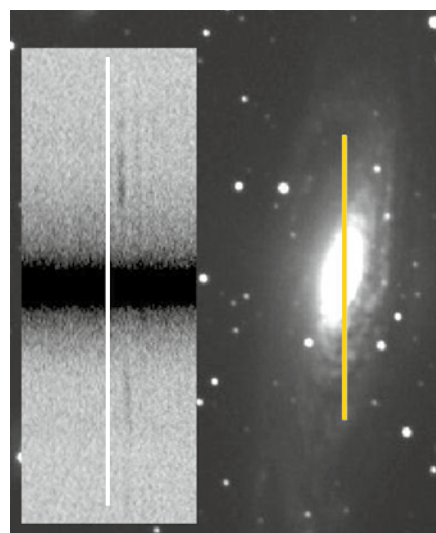
durchführen, und sie sind für den Profi interessant.

So überwachten Amateurastronomen über einen Zeitraum von rund zehn Jahren hinweg die Stärke der H-alpha-Linie des Wasserstoffs im Spektrum des Sterns Delta Scorpii (δ Scorpii). Er gehört zur Klasse der Be-Sterne, die sich durch intensive Emissionslinien von den Spektren gewöhnlicher Sterne des Spektraltyps B unterscheiden – daher der Zusatz »e«. Das Licht der H-alpha-Linie wird in einer über dem Sternäquator befindlichen Wasserstoffscheibe erzeugt. Die stark variable Linienstärke deutet auf dynamische Prozessen in dieser Scheibe über lange Zeiträume hin. Dies ist insofern von Interesse, da die Physik der Be-Sterne auch nach intensiven Untersuchungen noch immer nicht hinreichend geklärt ist. Niemand weiß, wie die auf einer Keplerbahn rotierende und mit 10000 Grad Celsius relativ kühle Materiescheibe in einem rund zehnmal

heißeren, radialsymmetrisch nach außen strömenden Sternwind überleben kann, und deshalb widmen professionelle Forscher den von Amateurastronomen durchgeführten Messreihen erhöhte Aufmerksamkeit.

Durchmusterungen zur Klassifizierung

Ein Beispiel für eine astronomische Durchmusterung, die von Amateuren unterstützt wurde, ist der im Jahr 1989 gestartete Satellit Hipparcos (High Precision Parallax Collecting Satellite), der die Positionen und Eigenbewegungen von Sternen mit einer zuvor nicht erreichten Genauigkeit maß. Die Positionsmessung von Gestirnen ist ein klassisches Gebiet der Astronomie, und auch Amateurastronomen beteiligen sich schon seit Jahrhunderten daran. Somit besaßen spezialisierte Beobachter bereits viel Erfahrung damit, hochpräzise Daten zu gewinnen.



Christian Bull, Valerie Desnaux

Um die Rotation der Spiralgalaxie NGC 7331 nachzuweisen, wird der Spalt des Spektrografen entlang der Ebene des Sternsystems orientiert (gelb). Die Rotation verrät sich im Spektrum durch eine Verkippung der H-alpha-Linie des Wasserstoffs gegen die Spaltrichtung (weiß).

Hipparcos konnte daher auf viele Amateurbeobachter zurückgreifen, um die eigenen Messungen zu verfeinern. Dies gilt nun auch für die Spektroskopie.

Die derzeit wohl bekannteste Durchmusterung ist das »CoRoT Be Stars Survey Project« des Asteroseismologie-Satelliten CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits). An ihr beteiligen sich Amateurastronomen, indem sie unter professioneller Betreuung die Daten von CoRoT durchsuchen, um Sterne zu klassifizieren und Pulsationen in ihren Atmosphären nachzuweisen. Insbesondere verraten sich dabei nichtradiale Pulsationen oder Schwingungen innerhalb von Gasscheiben, welche die Be-Sterne umgeben. Die damit verbundene Variabilität in den Spektren lässt sich mit den neuen Daten besser verstehen. Im Gegensatz zur Überwachung einzelner Linien werden in der Durchmusterung die Linienprofile analysiert, um die globale Struktur der Be-Sterne zu erkunden (siehe Kasten rechts).

Langzeitkampagnen

Im Gegensatz zur Überwachung und Durchmusterung geht es bei Langzeitkampagnen darum, aussagekräftige Rückschlüsse des physikalischen Gesamtverhaltens einzelner Zielobjekte zu erhalten. Beispielsweise ergibt die allei-

nige Messung von Intensitäten einzelner Spektrallinien noch kein Gesamtbild des Objekts. Dies erfordert vielmehr eine genauere Analyse des Linienprofils, die wiederum erfahrene Astronomen durchführen müssen. Langzeitkampagnen haben daher das größte Potenzial einer direkten Zusammenarbeit zwischen Amateur- und Profiwissenschaftlern, sie bereiten jedoch auch viel Mühe bei der Vorbereitung. Dies liegt unter anderem daran, dass das physikalische Wissen der Forschung den Amateuren nahegebracht werden muss, da bei ihnen wenig Interesse bestehen dürfte, Beobachtungen für Projekte anzubieten, deren Sinn unbekannt ist. Die professionelle Seite ist daher gefordert, Texte, bildliche Darstellungen und Publikationen anzubieten, die dann wiederum von Amateuren in Form von Webseiten oder Workshops in Umlauf gebracht werden.

Des Weiteren ist auch die technische Vorbereitung aufwändig, da die geforderten spektralen Parameter, beispielsweise das minimale Signal-Rausch-Verhältnis, das nötige Auflösungsvermögen sowie der Zeitpunkt der Messungen, für eine sinnvolle Datennutzung harmonisiert werden sollten. Dies gilt ganz besonders, wenn viele Observatorien in ein Projekt involviert sind und man sich einen Totalausfall einzelner Messungen

nicht leisten kann. Das entsprechende Kampagnenmanagement, das durchaus in den Händen von Amateurastronomen liegen kann, muss also mit großer Sorgfalt durchgeführt werden.

Eine spektroskopische Langzeitkampagne, die Amateurastronomen ins Leben riefen, ist die Überwachung des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns Epsilon Aurigae (ϵ Aurigae). Lange Zeit rätselten die Astronomen über die Natur des mysteriösen Objekts, das den Hauptstern dieses Systems, einen Stern vom Spektraltyp F, alle 27 Jahre verdunkelt. Erst vor Kurzem entpuppte sich das Objekt als eine extrem flache Staubscheibe, die einen unsichtbaren Hauptreihenstern vom Spektraltyp B5 umgibt. Eine internationale Gruppe von Amateurastronomen schloss sich zusammen, erstellte eine informelle Website, brachte regelmäßige Newsletter heraus und wertete die eigenen Messungen mit Hilfe einer Datenbank aus.

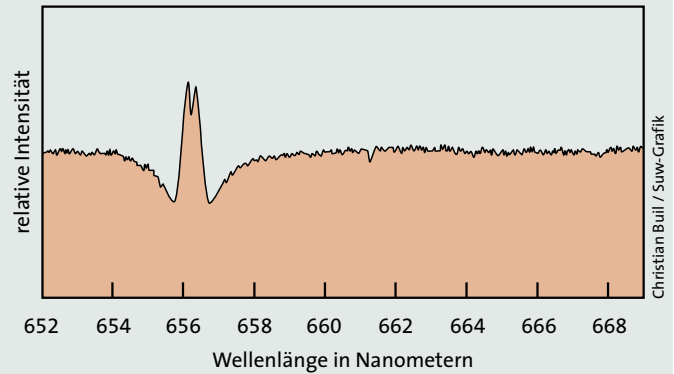
Viel Aufmerksamkeit verdienen die Messungen, die der britische Amateurastronom Robin Leadbeater an ϵ Aurigae durchführte. Er ist einer der Organisatoren der Kampagne und lieferte mit seinem Zehn-Zoll-Teleskop spektakuläre Ergebnisse. So zeigen seine Spektren während der Bedeckung des Hauptsterns ei-

Ein Be-Stern und seine Scheibe: Die Signaturen im Spektrum

Ein Beispiel für die hohe Aussagekraft der Daten aus der CoRoT-Durchmusterung liefert das hier dargestellte Spektrum des Be-Sterns HD 175869. Die H-alpha-Linie des Wasserstoffs bei 656,3 Nanometer erscheint als Emissionslinie mit einer ausgeprägten Doppelspitze. Ihr Licht stammt von einer rotierenden Scheibe, die den Be-Stern umgibt. Diese besteht aus einem Plasma, in dessen Umgebung es freie Elektronen gibt, die das vom Stern ausgesandte Licht streuen. Das Licht aus derjenigen Hälfte der Scheibe, die zum Beobachter hinrotiert, erscheint im Spektrum blauverschoben; dies entspricht der linken Spitze der Emissionslinie. Die rechte Spitze der Linie ist der Beitrag der vom Beobachter wegrotierenden Hälfte der Scheibe.

Weitaus schneller als die Scheibe dreht sich der Stern selbst: Für eine vollständige Rotation benötigt er nur rund einen Tag. Ohne den Einfluss der Scheibe würde sein Spektrum eine gewöhnliche H-alpha-Absorptionslinie zeigen. Solche Linien entstehen dadurch, dass die Photosphäre eines Sterns das aus seinen tieferen Schichten kommende Licht bei den für Wasserstoff-

atome charakteristischen Wellenlängen verschluckt. Tatsächlich finden sich bei HD175869 Anzeichen für eine Absorptionslinie: Links und rechts der H-alpha-Emissionslinie verraten sich die Flügel einer sehr breiten Absorptionslinie als tiefe Einsenkungen. Da der Stern schneller als die Scheibe rotiert, erstrecken sich diese Flügel noch weit abseits der Emissionslinie.



nen stufenförmigen Verlauf der Intensität der Kaliumlinie bei 769,9 Nanometer (siehe Diagramm unten). Sein Vorschlag zur Erklärung dieses Verlaufs sorgte bei den Astrophysikern für Aufmerksamkeit: Eine den Begleiter umgebende Staubscheibe wird zum Zentrum hin nicht kontinuierlich optisch dicker, sondern sie zeigt ausgeprägt diskrete Regionen mit von außen nach innen stufenartig ansteigender Dichte (siehe Bild rechts unten).

Zudem gelang es einer Forschergruppe um den Astrophysiker Brian Kloppenborg von der US-amerikanischen Denver University, eine Serie hoch aufgelöster interferometrischer Bilder der Sternbedeckung aufzunehmen. Die Astronomen veröffentlichten ihre spektakulären Ergebnisse im Wissenschaftsjournal »Nature« und erstellten eine beeindruckende Animation des Bedeckungsvorgangs. Doch auch hier zeigt sich die Stärke der Spektroskopie: Trotz einer außerordent-

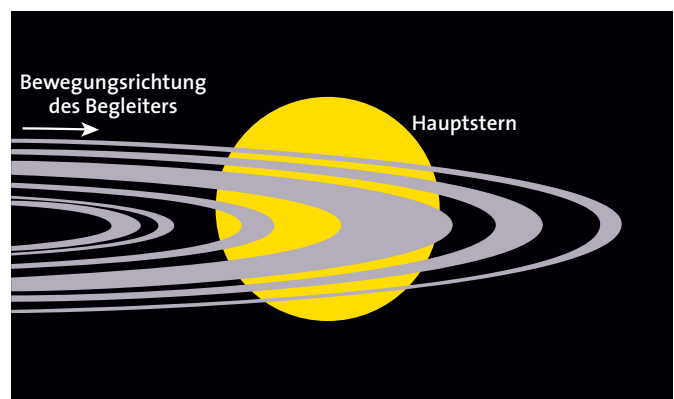
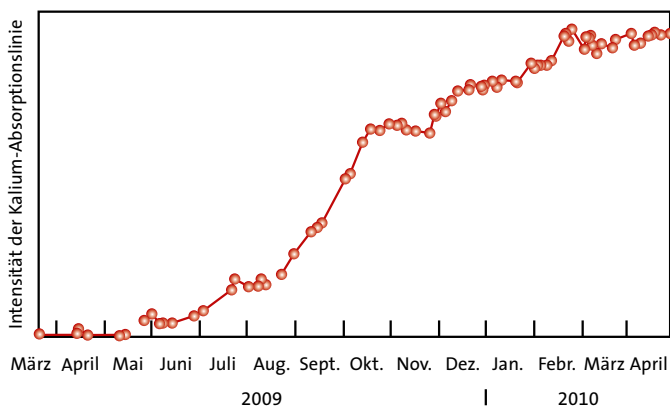
lich leistungsstarken interferometrischen Technik ermöglichten die Daten keine Aussage zur Dichteverteilung in der Staubscheibe von ϵ Aurigae – dies gelang erst Robin Leadbeater mit seinem Fernrohr im Garten.

Spektroskopische Amateurforschung

Ob Überwachungen, Durchmusterungen oder Langzeitkampagnen – trotz verschiedener Forschungsmöglichkeiten für den Amateurspektroskopiker muss man zumindest für die nähere Zukunft akzeptieren, dass ein Amateurastronom nicht in allen Ligen mitspielen kann. Zehn-Meter-Teleskope werden auch weiterhin nicht von Amateuren gebaut und betrieben werden können. Der Preis eines Teleskops steigt nun einmal proportional zur dritten Potenz der Öffnung, und die Zahl der verfügbaren Teleskope nimmt mit ihrer Größe natürlicherweise ab.

Bedenkt man jedoch, dass es auch in naher Zukunft nur sehr wenige Großteleskope geben wird, dass diesen jedoch eine Unmenge kleiner Teleskope von Amateurastronomen gegenübersteht, so ist davon auszugehen, dass nicht nur den großen Geräten allein die Zukunft gehört. Jedem Interessierten sollte aber bewusst sein, dass hinter der Gewinnung wissenschaftlich nutzbarer Daten viel Arbeit steckt. Es ist nicht nur die Bereitstellung eines adäquaten Instrumentariums, son-

Während der Bedeckung von Epsilon Aurigae stieg die Intensität der Kalium-Absorptionslinie bei 769,9 Nanometer stufenweise an. Zur Erklärung schlug der Amateurastronom Robin Leadbeater vor, dass der bedeckende Stern von einer ausgedehnten Scheibe mit Regionen lokal erhöhter Dichte ähnlich den Saturnringen umgeben ist.



Der vorliegende Beitrag basiert auf dem »Reiff-Vortrag«, den der Autor auf der Bochumer Herbsttagung 2011 hielt. In einem solchen Vortrag schildert ein Astrophysiker Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen Amateur- und Fachastronomen. Jährlich zeichnet die Reiff-Stiftung amateur- oder schulastronomische Projekte aus, für deren Durch- oder Fortführung die zweckgebundenen Preisgelder bestimmt sind. Die nächste Preisverleihung findet auf der Bochumer Herbsttagung am 27. Oktober 2012 statt. Berücksichtigt werden Arbeiten zweierlei Art:

■ Projekte von Arbeitsgruppen in Amateurvereinen und Schulen:

In dieser Kategorie können bis zu drei Preise vergeben werden: 1. Preis (3000 Euro), 2. Preis (2000 Euro), 3. Preis (1000 Euro). Das Preisgeld ist für die Durch- oder Fortführung eines eigenständigen amateur- oder schulastronomischen Projekts bestimmt. Dabei hat die aktive Beteiligung Jugendlicher besonderes Gewicht. Die Bewerbung in dieser Kategorie sollte enthalten:

- eine kurze Vorstellung der Arbeitsgruppe und ihrer Mitglieder (maximal 1 Seite),
- eine Beschreibung von bereits durchgeführten Projekten, einschließlich Verweisen auf bisherige Veröffentlichungen, beispielsweise im »VdS-Journal« oder in »Sterne und Weltraum«, sofern vorhanden (maximal 2 Seiten),
- eine Beschreibung des für den Förderpreis vorgeschlagenen Projekts, einschließlich der Angabe, wofür das Preisgeld konkret eingesetzt werden soll (maximal 3 Seiten).

■ Projekte zur Astronomie in Grundschule und Kindergarten:

In dieser Kategorie beträgt das Preisgeld 500 Euro (ein Preis). Das Preisgeld ist für die Durch- oder Fortführung eines Projekts bestimmt, das Kinder im Kindergarten- oder im Grundschulalter an die Astronomie heranzuführt. Das geförderte Projekt sollte Vorbildcharakter haben – also in gleicher oder ähnlicher Weise auch in anderen Kindergärten oder Grundschulen umsetzbar sein. Die Bewerbung in dieser Kategorie sollte enthalten:

- eine kurze Vorstellung der beteiligten Lehrkräfte (maximal 1 Seite),
- eine Beschreibung von bisher durchgeführten Projekten, falls vorhanden (maximal 2 Seiten),
- eine Beschreibung des für den Förderpreis vorgeschlagenen Projekts, einschließlich der Angabe, wofür das Preisgeld konkret eingesetzt werden soll (maximal 2 Seiten).

Nach Abschluss der geförderten Projekte wird von den Preisträgern beider Kategorien ein didaktisch wirksamer, zum Selbst- und Weitermachen anregender Bericht erwartet, der im »VdS-Journal« oder in »Sterne und Weltraum« erscheinen soll. In der Preis-Jury sind Amateur- und Fachastronomen sowie Schuldidaktiker vertreten.

Die **Bewerbungen für den Reiff-Preis 2012** sind bis zum **3. Oktober 2012** zu richten an: *Dr. Jakob Staude (Kurator), Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg, preis@reiff-stiftung.de*. Weitere Informationen finden Sie auf der Website der Reiff-Stiftung unter: www.reiff-stiftung.de

den vielmehr die Bereitschaft, sich in komplexe Problemstellungen einzuarbeiten und mit Geduld schwierige technische Hürden zu nehmen. Dies gilt natürlich auch für andere Bereiche, beispielsweise für die extrem lang belichtende Fotografie von Deep-Sky-Objekten oder für die Suche nach Kleinplaneten, Kometen und Supernovae. Doch insbesondere bei spektroskopischen Projekten werden die Wissenschaftler zukünftig auf Amateure und ihre Ausrüstung zurückgreifen wollen.

Es ist also höchst wünschenswert, den Kreis der Amateurspektroskopiker zu erweitern. Die Verbesserung des eigenen Arbeitsniveaus dient dabei nicht nur der modernen Forschung, sondern sie fördert auch die Freude der Sternfreunde an ihrer Leidenschaft. Dies gilt vor allem dann, wenn sie ihr technisches und physikalisches Niveau permanent nach oben treiben, in Gruppen arbeiten können und dabei den Nachwuchs fördern, indem Tugenden wie Beharrlichkeit, Genauigkeit, Kollegialität und Teamgeist weitergegeben werden. Bezeichnenderweise ist vie-

len professionellen Spektroskopikern das instrumentelle Potenzial der Amateure noch relativ wenig bekannt. Wird jedoch bei Konferenzen oder mittels Publikationen ein Dialog angestoßen, so sind die Reaktionen durchweg positiv. Die spektroskopischen Arbeiten der Amateure werden dabei als professionell und hilfreich angesehen, und die ersten handelsüblichen Spektrografen werden nun auch an Forschungsinstituten eingesetzt. Profis und Amateure unterscheiden sich hier also lediglich in ihren Ausbildungen und Einkommensquellen und nicht in ihrem Potenzial – und diese Trennung verläuft fließend.



THOMAS EVERSBERG ist Astrophysiker und arbeitet beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Er ist Mitgründer des »Schnörren Telescope Science Institute« (STScl), das

mit professionellen Astronomen zusammenarbeitet.

Literaturhinweise

- Eversberg, T.:** Sternwindtango auf Teneriffa. In: *Sterne und Weltraum* 12/2009, S. 70–74
- Falk, M.:** Die Lust am Licht im Unterricht. In: *Sterne und Weltraum* 7/2011, S. 78–85
- Gerstheimer, R.:** Astrophysik mit dem Lichtspalter. In: *Sterne und Weltraum* 2/2012, S. 72–80
- Kärcher, H. J.:** Das Teleskop und die Brücke. In: *Sterne und Weltraum* 11/2010, S. 44–55
- Kloppenborg, B. et al.:** Infrared Images of the Transiting Disk in the ϵ Aurigae System. In: *Nature* 464, S. 870–872, 2010
- Quester, W.:** Epsilon Aurigae – ein rätselhafter Veränderlicher. In: *Sterne und Weltraum* 12/2008, S. 76–79
- Schanne, L.:** Doppelsternen auf der Spur. In: *Sterne und Weltraum* 7/2010, S. 68–75

Weblinks zum Thema finden Sie unter www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1152362