# Der Schwerpunkt Spektroskopie – was bietet er?

von Lothar Schanne, Daniel Sablowski (Redakteursteam des VdS-Journals für die Fachgruppe Spektroskopie)

Dieser Schwerpunkt ist ein gemeinsames Produkt vieler aktiver Mitglieder der Fachgruppe Spektroskopie in der VdS. Spektrografenbau-Enthusiasten, Beobachter, theoretisch Interessierte ... – alle haben versucht, ihren Beitrag zu leisten. Aus Platzgründen mussten wir zehn eingereichte, nicht minder interessante Artikel in die nächste Ausgabe verschieben. Wir hoffen sehr, dass der Schwerpunkt Ihnen gefällt und allen Lesern einen interessanten Einblick in die Spektroskopie und unsere Arbeit gibt.

Der erste Artikel von Thomas Eversberg ist als Einstiegsdroge gedacht. Rolf Schad führt das Thema weiter, indem er uns verrät, was das Licht über die Objekte der menschlichen Neugier verraten kann. Alexander Golec erzählt uns anschließend, wie er als Schüler mit einfachsten Mitteln in die Spektroskopie eingestiegen ist. Auch Constantin Zborowska ist Schüler. Er hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, das Hertzsprung-Russell-Diagramm anhand eigener spektroskopischer Messungen aufzustellen.

Dominic Freudenmann zeigt, dass nicht nur Sterne, sondern auch Planetarische Nebel, Galaxien und Quasare für Amateure spektroskopisch erreichbar sind. Siegfried Hold diskutiert anschließend seine Messungen von Emissionen in den Fraunhoferlinien H und K. Auch Offene Sternhaufen sind ein lohnendes Ziel, insbesondere für die klassische Objektivprismenspektroskopie, wie Bernd Hanisch vorstellt.

Nach diesen einführenden und an der Beobachtung orientierten Artikeln zeigt uns Gerhard Hauke, wie ein vorgefundenes Spektrografenkonzept an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden kann und wieviel Freude es macht, sich selbst einen Spektrografen zu bauen. Sander Slijkhuis aus den Niederlanden setzt Leichtbauwerkstoffe ein, um das Gewicht seiner selbstgebauten Spektrografen zu minimieren. Die Gewichtsersparnis ist ein häufig unterbewertetes, aber wichtiges Thema für die spektroskopische Praxis. Ulrich Waldschlaeger hat einen ausgedienten Laborspektrografen mit allerlei Zubehör versehen, damit er optimal zu seiner Astroausrüstung passt und gewann damit Ergebnisse, die sich sehen lassen können. Berthold Stober setzt den Schwerpunktteil Spektrografenbau mit einem Bericht über seine langwierigen Versuche, einen praxistauglichen Echelle-Spektrografen zu konstruieren und zu betreiben, fort.

Die Ziele und Aktivitäten der Fachgruppe Spektroskopie sind im abschließenden Artikel von Daniel Sablowski, Lothar Schanne und Rainer Borchmann aufgeführt.

## Folgende Artikel finden Sie aus Platzgründen im nächsten Heft:

Die Supernova SN 2014 in M 82 hat im letzten Jahr für Aufsehen gesorgt und wurde natürlich auch spektroskopisch beobachtet. Torsten Hansen zeigt im nächsten VdS-Journal, wie spannend die Verfolgung der variablen Spektren von Supernovae ist. Über die Nova Delphini

#### **Hinweis**

## Ihr Beitrag im VdS-Journal für Astronomie!

Nachdem wir unser Schwerpunktthema für das Journal 53 "Spektroskopie" abgeschlossen haben, möchten wir gerne auf unsere zukünftigen Schwerpunktthemen hinweisen:

"Sternwarten-Bau" in Journal Nr. 56 Redaktionsschluss: 01.08.2015

Redakteur: Herbert Zellhuber, redaktion-selbstbau@vds-astro.de

"Der Südsternhimmel" in Journal Nr. 57

Redaktionsschluss: 01.11.2015

 $Redakteur:\ Peter\ Riepe,\ redaktion-astrofotografie@vds-astro.de$ 

"Mitgliedssternwarten" in Journal Nr. 58

Redaktionsschluss: 01.02.2016

Redakteur: Dietmar Bannuscher, redaktion-veraenderliche@vds-astro.de

Zur Gestaltung unserer Journale benötigen wir Beiträge der Mitglieder. Dies kann sowohl ein wissenschaftlich fundierter Artikel als auch ein einfaches Beobachtungserlebnis sein. Außerdem soll es möglichst regelmäßig eine Galerie von Fotografien und Zeichnungen geben. Wer nicht gerne schreibt, kann also auch auf diese Weise vertreten sein! Wir freuen uns über alle Einsendungen!

Beiträge sollen an die zuständigen Redakteure (siehe auch Liste der VdS-Fachgruppen-Redakteure) oder an die VdS-Geschäftsstelle (Mail/Postadresse) geschickt werden.

Mit dem Einsenden gibt jeder Autor gleichzeitig sein Einverständnis zum Abdruck im "VdS-Journal für Astronomie". Es besteht jedoch keine Veröffentlichungspflicht. Die Redaktion behält sich vor, Beiträge gar nicht oder in gekürzter Form abzudrucken. Das Copyright obliegt den jeweiligen Autoren. Die Texte geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder.

Die Redaktion

2013 berichtet dann auch Erik Wischnewski. Ein weiteres klassisches Feld der Spektroskopie wird uns Rainer Anton vorstellen, der eigene Radialgeschwindigkeitsmessungen an spektroskopischen Doppelsternen professionellen Daten gegenüberstellen wird. Die Technik, aus den spektroskopischen Messungen auch die räumlichen Informationen zu erhalten, ist im professionellen Bereich als aufwändige 3D-Spektroskopie bekannt. Den Versuch, sie auch in die Amateurszene einzuführen, wird Daniel Sablowski in einem weiteren instruktiven Artikel heschreihen.

Die Amateurspektroskopie ist nicht nur in Deutschland etabliert. In unseren Nachbarstaaten Schweiz, Frankreich, England, Dänemark und Österreich, aber auch in den USA, China, Australien sind Sternfreunde spektroskopisch nachtaktiv. Einen Einblick in die dänische Szene geben uns Knud Strandbaek und seine Spektroskopiefreunde Frank Larsen, Jens Jacobsen und Lars Zielke. Die VdS-Fachgruppe Spektroskopie versucht kontinuierlich, Impulse zur Weiterbildung ihrer Mitglieder und sonstiger Interessierter zu geben. Darüber wird Thomas Eversberg in einem Artikel über die jährlichen Spektroskopiekurse an der Starkenburg-Sternwarte in Heppenheim berichten.

Noch einige Worte zur Bedeutung der Spektroskopie für unser astronomisches Weltbild. Bereits Isaac Newton erkannte an den Bildfehlern von Glaslinsen und durch Effekte an Spalten und Prismen, dass "Licht selbst eine heterogene Mischung unterschiedlich brechbarer

Strahlen ist". Erst rund 140 Jahre später (1802) bemerkte William Hyde Wollaston Linien im Sonnenspektrum. Joseph von Fraunhofer untersuchte dieses Phänomen 15 Jahre später genauer. Erst als 1860 Robert Wilhelm Bunsen und Gustav Robert Kirchhoff ihre berühmte Arbeit "Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen" veröffentlichten, wurde klar, dass diese rätselhaften Linien der Schlüssel sind, um die chemische Zusammensetzung der Himmelskörper erforschen zu können. Parallel entwickelte sich die Fotografie und wurde sehr schnell für spektroskopische Aufnahmen seitens der Astronomen adaptiert. Die klassische beschreibende Astronomie (Positionsbestimmungen und Katalogisierung von Himmelsobjekten) entwickelte sich zunehmend zur Astrophysik. 1887 waren die technischen Möglichkeiten so weit fortgeschritten, dass in den folgenden Jahrzehnten die Klassifizierung der Sterne ein zentrales Forschungsfeld der Astronomie wurde. Durch Objektivprismenspektroskopie gewonnene Spektralklassen von 250.000 Sternen wurden sukzessive bis 1923 von Edward Charles Pickering im neunbändigen Henry-Draper-Katalog veröffentlicht. Die diskreten Absorptions- und Emissionslinien in den Spektren der Himmelskörper (und experimentelle Ergebnisse der Physiker und Chemiker in ihren Labors) erzwangen bald eine neue Physik, die Licht nicht nur als Welle, sondern auch als Energiepakete (Quanten) sehen musste. Die Quantenmechanik war geboren. Endlich konnte man die Quelle für die gewaltigen Energiemengen erklären, welche von den Sternen abgestrahlt werden und ihre schnelle Abkühlung verhindern. In rascher Folge

wurden die spektroskopischen Methoden in andere Wellenlängenbereiche ausgeweitet, die Techniken wesentlich verbessert und das physikalisch-mathematische Verständnis vertieft. Während die klassische optische Abbildung (Astrofotografie, Astrometrie u.a.) die Verteilung und Geschwindigkeiten von Himmelskörpern über den Raumwinkel ergibt, informieren spektroskopische Daten über radiale (entlang der Sichtlinie ablaufende) Bewegungszustände und verraten viel über die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Objekte. Beide Methoden ergänzen sich in vorteilhafter Weise. Auch für uns astronomisch interessierten Amateure stehen heute technische Mittel zu erschwinglichen Preisen zur Verfügung, von denen vor 40 Jahren die Profis nur träumen konnten. Seit dem Jahr 2000 hat sich die Amateurszene weltweit stürmisch entwickelt. Die Gründe dafür liegen im Aufkommen des Internets (Information, Kommunikation), in der höheren Mobilität (persönliche Bekanntschaften), dem höheren Organisationsgrad, der preiswerten Technik und einfach auch in der Vielfalt des Themas, das Forscherdrang, Emotionen, intellektueller Selbstbestätigung und handwerklicher Geschicklichkeit gleichermaßen einen unermesslichen Raum bietet. Was wollen Amateure mehr?



Anzeige

# Citizen Science – warum eigentlich Spektroskopie?

von Thomas Eversberg

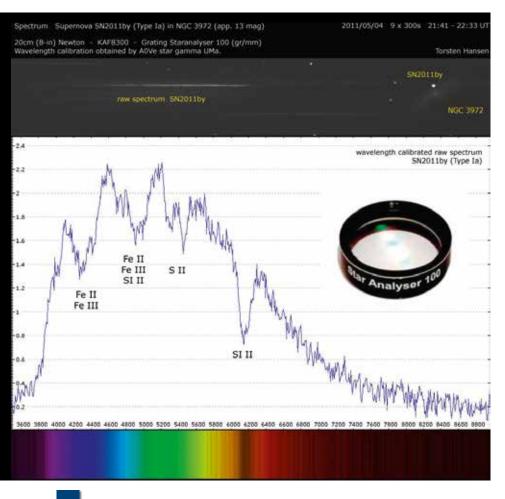
Immer wieder werde ich gefragt, was ich als Astronom eigentlich mit meinen Spektrografen mache. Ich erläutere die physikalischen Hintergründe, die damit beobachtbaren Phänomene und die Erkenntnisse, die daraus gewonnen werden. Ich schaue dabei regelmäßig in neugierige Gesichter voller Staunen. Doch spätestens, wenn ich ein Sternspektrum zeige, erblicke ich Skepsis und distanzierten Respekt. Ich verstehe das, denn Spektroskopie ist nicht selbsterklärend. Wie soll man schon mit einer Schwarzweißgrafik die Wunder des Universums nachvollziehen? Sicher,

man kann problemlos ein kleines Dispersionselement in den Strahlengang eines Teleskops halten, und schwupps, hat man ein Spektrum! Doch will man wirklich interpretierbare Daten gewinnen, ist das durchaus mit instrumentellem Aufwand und viel Lernarbeit verbunden. Muss das für den Amateur eigentlich sein?

Oft wurde ich von Studenten gefragt, ob sie das Arbeitsfeld der Sternspektroskopie wählen oder nicht doch besser Galaxienforschung mit spektakulären Bildern vorziehen sollten. Ich rate zunächst regelmäßig zu den Galaxien. Spektren sind öde Kurven, die auf den ersten Blick gar nichts sagen. Ich sage dann aber auch: "Wenn Du wirklich Interesse an besonderen physikalischen Phänomenen hast, einen ganzen physikalischen Horizont kennenlernen und bestimmten Fragestellungen wirklich auf den Grund gehen willst, und wenn Du dann auch noch Spaß daran hast, in einer sehr offenen Forschungsgemeinde aus sehr neugierigen Menschen zu arbeiten, dann bist Du bei den Spektroskopikern richtig."

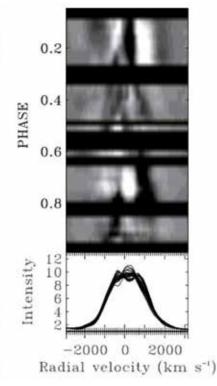
Diese Antwort kann ich genauso gut fragenden Amateurastronomen geben, sei es puren Anfängern mit einem kleinen Dobson oder fortgeschrittenen Deep-Sky-Cracks, die eine neue Herausforderung suchen. Natürlich, Spaß an der Sache haben wir in allen Fachbereichen und die Beobachtungen mancher Deep-Sky-Fotografen hauen mich regelmäßig vom Stuhl und bringen mir die Gründe in Erinnerung, warum ich Astronom geworden bin. Solch unmittelbare ästhetische Erfahrungen kann mir die Spektroskopie nur indirekt liefern. Aber: Nur mit ihr erhalte ich Erklärungen für die Ursachen unterschiedlichster Phänomene. Ein spektakuläres Beispiel: Wenn eine Supernova aufleuchtet, kann ich aus der Abbildung der entsprechenden Heimatgalaxie und des plötzlich erschienenen Lichtpunktes nur erahnen, was dort passiert ist. Schraube ich aber ein lichtaufspaltendes Dispersionsgitter für gerade einmal 100 Euro in meinen Okularauszug, so kann ich die auf mich zu rasende Schockwelle des explodierenden Sterns direkt messen (Abb. 1). Das ist deutlich billiger als die meisten optischen Filter.

Ein weiteres Beispiel ist der Wolf-Rayet-Stern EZ CMa (WR 6). Manche Astrofotografen kennen ihn als gewaltigen Planetarischen Nebel im Sternbild Großer Hund. In seinem Zentrum findet sich ein unscheinbarer Stern. Doch dieser Stern ist ein riesiges Biest, welches etwa eine Millionen Mal heller leuchtet als unsere Sonne (Abb. 2).



Spektrum der Supernova SN2011by (V = 13 mag). Das optische Gitter für 100 € von PATON HAWKSLEY nutzte Thorsten Hansen aus der VdS-Fachgruppe Spektroskopie an seinem 20-cm-Newton und konnte mehrere atomare Absorptionslinien messen. Alle Linien sind systematisch blauverschoben und stark verbreitert. Ursache ist die zwölf Tage nach der Explosion noch mit etwa 7.000 km/s in Richtung Beobachter rasende Schockwelle.





Der Wolf-Rayet-Stern EZ CMa und sein Auswurfnebel im Sternbild Canis Majoris mit einer scheinbaren Ausdehnung am Himmel von rund 2/3 Grad. Bei einer Distanz von etwa 5.200 Lichtjahren hat der Nebel einen realen Durchmesser von etwa 60 Lichtjahren. Die Spektrenserie wurde von Thierry Morel an einem kleinen Teleskop aufgenommen. Die Ursache für die in der Serie entdeckten, variablen Linienanteile sind an der Sternoberfläche ausgestoßene Materiefackeln, die mit dem Stern mitrotieren.

Will man den von EZ CMa ausgeworfenen Sternwind, der den Nebel verursacht, an der Sternoberfläche untersuchen, bleibt einem nur die Spektroskopie. Warum? Weil der Stern im obigen Bild maßstabsgetreu die Größe eines Atoms hätte und nur die Spektroskopie so tief in die Geometrie eindringen kann. Sie ist das "Mikroskop des Astronomen".

Schon an diesen relativ einfachen Beispielen zeigt sich die Mächtigkeit der Spektroskopie. Sie ist ein berührungsloses Analysewerkzeug für unvorstellbare Distanzen. Dabei ist jede Messung einzigartig und muss sich auf dem Prüfstand der ebenfalls begeisterten Kollegen bewähren. Wer sich davon mitreißen lässt, kann dann beliebig "Aufrüsten" und Messungen an Sonne, Planeten, Kometen, Sternen, Nebeln und Galaxien durchführen. Wer darüber hinaus sein Instrumentarium selbst entwickelt und baut, lernt zwangsläufig etwas über komplexe Mechanik, Wellenoptik sowie fortgeschrittene Datenverarbeitung - grundlegende Dinge, welche Physik ausmachen und mich gut beschäftigen. Der sich daraus ergebende kollegiale

Zusammenhalt über das Internet sowie persönliche Treffen auf Tagungen und Workshops machen die Beschäftigung mit der Spektroskopie zu einem außerordentlich anregenden Arbeitsfeld. Kurz gesagt: Man ist nicht allein und stößt auf wissbegierige und motivierte Mitstreiter, die ihre Kenntnisse sofort austauschen und sich gegenseitig helfen, wenn komplizierte Sachverhalte verstanden werden sollen. Dazu gehören interessanterweise auch professionelle Astronomen, die Amateure nicht nur inhaltlich unterstützen, sondern auch an ihren Messkampagnen teilhaben lassen. Denn auch mit sehr kleinen Fernrohren lassen sich wissenschaftlich nutzbare, spektroskopische Daten gewinnen. Das ist im besten Sinne "Citizen Science" und daher lege ich gerade dem Nachwuchs aus der Amateurszene die Spektroskopie ans Herz.

Inserentenverzeichnis			
31. ATT, Essen	89		
astronomie.de, Neunkirchen	39		
Astro-Shop, Hamburg	U2		
Astroshop.de nimax GmbH, Landsberg	15		
Baader Planetarium, Mammendorf	U4		
Bresser GmbH, Rhede	55		
euro EMC GmbH, Postau	7		
Gerd Neumann jr.	47		
Koring, Marocco	66		
Kosmos Verlag, Stuttgart	81		
Optical Vision Ltd., UK	U3		
Optische Geräte Wolfgang Lille, Heinbockel	79		
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg	19 117		

## Was uns das Licht verraten kann

### - ein einfacher Einstieg in die Amateurspektroskopie

von Rolf-Dieter Schad

Eigentlich haben Sie alle schon "spektroskopiert" – mit Ihren Augen! Ist doch der Regenbogen eine immer wieder bezaubernde Naturerscheinung, welche sicher schon zu allen Zeiten Menschen faszinierte und als positives Symbol Eingang in die Kulturgeschichte gefunden hat. Erklärungsversuche dieses Phänomens waren eine bedeutende Triebfeder physikalischer Erkenntnis. Die Entdeckung der Lichtdispersion an einem Prisma durch Isaac Newton war ein Meilenstein.

Zwei Jahre nachdem er aufgehört hatte, als Arzt zu praktizieren, fand William Hyde Wollaston 1802 sieben dunkle Linien im Sonnenspektrum. Unabhängig von ihm entdeckte 1814 Joseph von Fraunhofer Absorptionslinien im Sonnenspektrum, entwickelte ein Spektroskop und führte erstmalig Versuche zur Lichtbeugung an optischen Gittern durch. Ungefähr ab 1860 wurde in Heidelberg eine bedeutende Basis für die moderne Astronomie geschaffen: Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen entdeckten, dass chemische Elemente einer Gasflamme eine charakteristische Färbung geben. Durch ihre Untersuchungen der Flammenfärbung konnte man nun auch die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum erklären [1]. Die Arbeiten wurden von Anders Jonas Ångström in Schweden fortgesetzt, welcher 800 Fraunhoferlinien den erzeugenden Atomen zuordnen konnte [2]. Mittlerweile ist die Spektroskopie eines der wichtigsten Werkzeuge astronomischer Forschung geworden.

Auch Sie können mit Hilfe eines reflektierenden Datenträgers [3] oder eines preiswerten Kartonbausatzes [4] auf einfachste Weise das Licht in seine Spektralfarben zerlegen!

Das elektromagnetische Spektrum, welches von den Sternen und anderen Himmelsobjekten kommt, reicht von langen Radiowellen über das sichtbare Licht bis hin zur Gammastrahlung. Nur wenig davon dringt (glücklicherweise!) durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche vor.

Während die Radioastronomie bei Amateuren kaum Bedeutung erlangt hat, wird die optische Astronomie im sichtbaren Licht, beobachtend oder fotografierend, von Hundertausenden weltweit betrieben. Leider sind die Bedingungen hierfür, besonders durch Lichtsmog, sehr oft alles andere als ideal. Könnte man den weitgereisten, raren Photonen neben ästhetischer Bewunderung nicht noch etwas mehr Informationen entlocken?

Stellen Sie sich vor, Sie könnten aus einer Stadtrandlage Methan in der Atmosphäre des Uranus nachweisen oder die Rotverschiebung eines Quasars bestimmen. Immer mehr Amateurastronomen entdecken durch die Spektroskopie neue Dimensionen ihres Hobbys.

Allgemein ist die Ansicht verbreitet, Spektroskopie wäre kompliziert und teuer. Das hat sich aber geändert - die Einstiegshürden sind niedriger geworden. Preiswerte und anwenderfreundliche Hard- und Software sind mittlerweile verfügbar.

Aber natürlich geht es nicht ohne Kamera! Für den Einstieg sind jedoch viele Kameratypen geeignet, ob CCD, DSLR, Videokamera oder Webcam. Als zusätzliches Hardwareteil benötigen Sie nur noch ein Transmissionsgitter, welches das Licht in seine Spektralfarben zerlegt, z.B. den Staranalyser SA 100, ein Gitter in einer 1¼-Zoll-Standard-Filterzelle [5]. Dieses Gitter wird einfach in einer geeigneten Halterung vor dem Kamerachip befestigt.

Dazu zunächst zwei Beispiele vom Verfasser. Die Abb. 1 zeigt Wega, den Hauptstern im Sternbild Leier. Hier ist der SA

100 mittels eines Adapters an einer EOS 1000 D am Okularauszug eines Celestron C14 angebracht. Das helle Sternscheibchen stellt die "gradlinige", ungebeugte nullte Ordnung dar. Dass diese so einfach sichtbar ist, erleichtert die Aufsuch- und Einstellarbeiten erheblich.

Besonders hell erscheint die erste Ordnung rechts, da durch das "Blazen" des Staranalysers besonders viel Licht in diese Ordnung gelenkt wird. Entsprechend weniger Licht gelangt in die anderen Ordnungen (-1 und +2). Um diese überhaupt gut sichtbar zu machen, musste soweit überbelichtet werden, dass die erste, "geblazte" Ordnung nicht auswertbar wäre.

Die hellen B- und A-Sterne, z. B. Regulus oder Wega, sind geeignete Einsteigerobjekte. Das Bild des gewonnenen Spektrums kann man dann mittels frei verfügbarer Software bearbeiten und auswerten (z. B. via IRIS, Vspec, ISIS oder MIDAS). Die englisch- bzw. französischsprachigen Programme benötigen eine gewisse Einarbeitungszeit. Für IRIS [6] und Vspec [7] gibt es aber ein gutes deutschsprachiges Tutorial von Urs Flückiger [8]. Sehr einfach und intuitiv bedienbar sowie auch in Deutsch und anderen Sprachen verfügbar ist das Programm "RSpec", welches allerdings kostenpflichtig ist (ca. 99 US \$). Es ermöglicht aber mit einer Video- oder Webcam sogar eine Spektralanalyse in Echtzeit, was in den USA bereits im Unterricht an High Schools und Colleges eingesetzt wird. Diese Software wurde von SKY & TELESCOPE zum HOT PRODUCT 2012 gekürt [9]. Unter den am Artikelende erwähnten Links gibt es eine Fülle weiterer Informationen. Das zweite



1

Spektrumaufnahme der Wega, Apparatur bestehend aus Celestron C14, Staranalyser und EOS 1000 D.

Beispiel zeigt ein Spektrum von Regulus, dem Hauptstern im Löwen (Abb. 2).

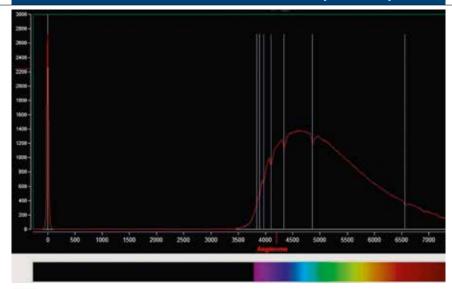
Die Auswertung erfolgte vom Verfasser mit der Software RSpec. Sehr gut sind die Einsenkungen im Kurvenverlauf zu sehen. Sie stellen die Absorptionslinen des Wasserstoffs der Balmer-Serie dar. Aus der Datenbank des Programms wurden die dazugehörigen Laborwerte als senkrechte blaue Markierungslinien eingeblendet.

Aber auch in unserem Sonnensystem lassen sich mit Hilfe der niedrigauflösenden Spektroskopie mit dem Staranalyser 100 interessante Objekte studieren, z. B. der Planet Neptun (Abb. 3). Die tiefen Einsenkungen auf der rechten, langwelligen "rötlichen" Seite stellen Methanbanden dar, welche durch Absorption in der Planetenatmosphäre hervorgerufen werden. Im linken, kurzwelligen Teil des Spektrums wird weniger Sonnenlicht absorbiert. Durch den stark reflektierten blauen und den geschwächten roten Anteil des Sonnenlichts erscheint Neptun visuell bläulich.

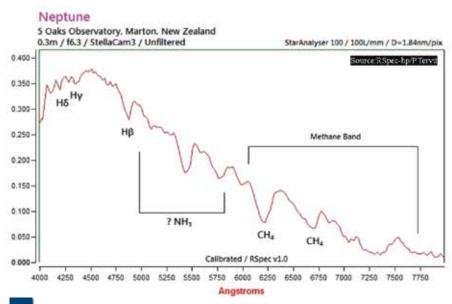
Das nächste Beispiel zeigt das Spektrum des Saturnnebels NGC 7009, aufgenommen von Tom Field im recht lichtverschmutzten Seattle mit einem 9,25-Zoll-Schmidt-Cassegrain-Teleskop und einer CCD-Kamera (Abb. 4). Auffällig sind die beiden "Peaks" und die Breite dieser Emissionslinien. Sie werden durch Gas verursacht, welches durch die Strahlung des Zentralsterns zum Leuchten angeregt wird.

Auch Kometen sind mit niedrigauflösender Spektroskopie für Amateure erreichbar. Vikrant Kumar Agnihotri aus Rajasthan (Indien) hat ein Spektrum des Kometen C/2012 S1 (ISON) aufgenommen. Deutlich sind die grünlichen Swan-Bänder des glühenden Kohlenstoffs zu sehen (Abb. 5).

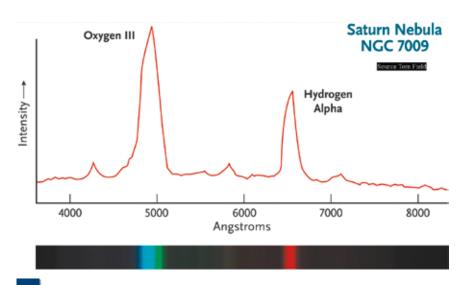
Zum Jahresbeginn 2014 gab es die seltene Möglichkeit, eine Supernova im Sternbild Großer Bär zu beobachten. Auch diese Objekte kann ein Amateur spektroskopieren! Torsten Hansen hat die Supernova SN 2014J in M 82 mit einem 8-Zoll-Newton, Staranalyser und einer QHY-5L-II-Videokamera aufgenommen (Abb. 6).



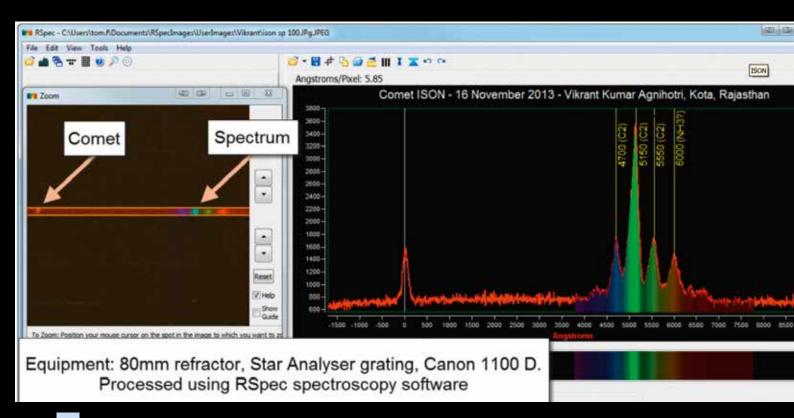
Das mit RSpec ausgewertete Spektrum vom Stern Regulus ( $\alpha$  Leo) zeigt die prägnanten Balmer-Linien des Wasserstoffatoms.



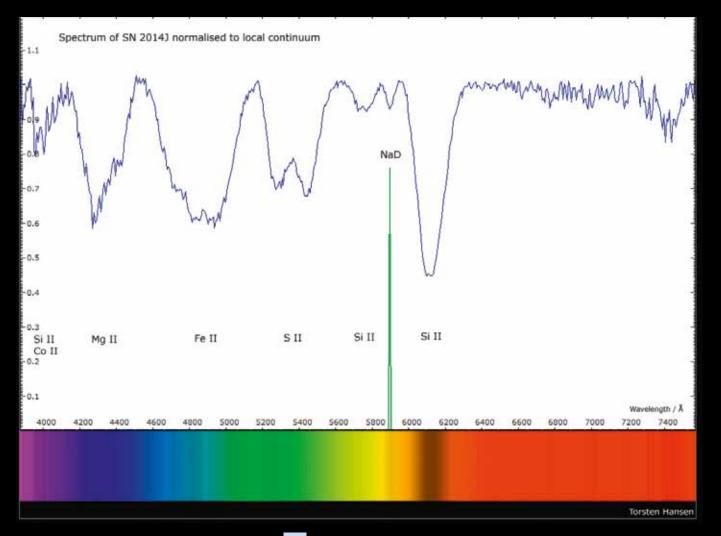
Spektrum des von Neptun reflektierten Sonnenlichts mit ausgeprägten Absorptionsbanden der Neptunatmosphäre. (Bildautor: P. Tervit)



Spektrum des Saturnnebels NGC 7009 (Bildautor: Tom Field)



5 Spektrum des Kometen C/2012 S1 ISON (Bildautor: V. K. Angnihotri)



7

Sehr einfaches Setup aus Staranalyser, 200-mm-Teleobjektiv und DSLR (Bildautor: R. Leadbeater).

Niedrigauflösende Spektroskopie ist sogar völlig ohne Teleskop möglich, wie das einfache Setup von R. Leadbeater [10] mit dem Staranalyser in einem Objektivschutzdeckel zeigt (Abb. 7). Damit kann man ohne jegliche Nachführung ein einfaches Driftspektrum gewinnen. In diesem Fall bei 200 Millimetern Brennweite ein Spektrum von Deneb im Sternbild Schwan (Abb. 8).

Mit diesem sehr einfachen Setup kann man mit guter Nachführung sogar recht außergewöhnliche Objekte spektroskopieren, z. B. die sehr heißen Wolf-Rayet-Sterne. Sie haben ihre Wasserstoffhülle verloren, weisen extrem starke, sehr dichte Sternwinde auf und sind in unserer Milchstraße sehr selten (ca. 150 Stück). Janet Simpson hat den Wolf-Rayet-Stern WR 140 mit einer EOS 350D, SA 100 im Objektivschutzdeckel eines 85-Millimeter-Objektivs, auf einer AstroTrac-Montierung mit 30 Sekunden Belichtungszeit aufgenommen (Abb. 9). Beachtenswert sind die verbreiterten Kohlenstoff-Emissionsbänder, verursacht durch den Dopplereffekt der extremen Sternwinde. WR 140 ist ein Doppelsternsystem im Sternbild Schwan, bestehend aus einem Wolf-Rayet-Stern und einem Stern der Spektralklasse O. Sie bewegen sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt, ihre Sternwinde kollidieren miteinander und bilden eine Schockfront. Für höher auflösende Spektroskopie ein hochinteressantes Geschehen (vgl. auch internationale Kampagnen unter Mitwirkung einiger Mitglieder der VdS-Fachgruppe Spektroskopie).

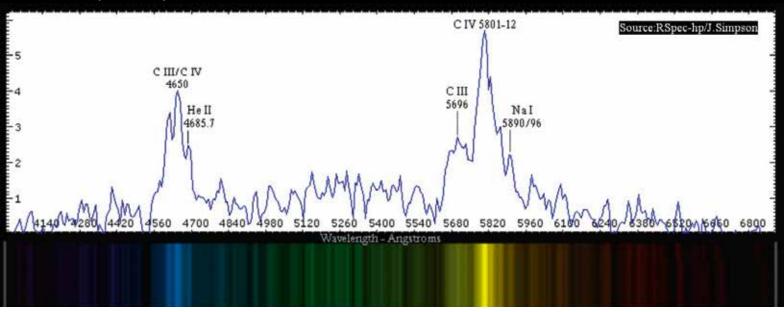


Besonders eindrucksvoll, was niedrigauflösende Spektroskopie mit dem SA 100 leisten kann, zeigt sich am Beispiel eines Sternfeldes mit dem Quasar 3C 273 (12,7 mag), spektroskopiert von Roland Bähr mit einem 8-Zoll-Newton auf einer HEQ5-Montierung und einer Meade DSI pro (Abb. 10). Es ist ein Summenbild von 150 Aufnahmen à 15 Sekunden. Der Verfasser dieses Artikels nahm die Auswertung des Bildes in RSpec folgendermaßen vor:

Im linken Teil des Screenshots ist das Bild des Sternfeldes mit den Spektren zu sehen. Zunächst wurde das Spektrum des hellen Sterns (GSC 282 227, Typ F5) im unteren Bilddrittel ausgewertet. Der Sternpunkt ist die ungebeugte nullte Ordnung, rechts davon das Spektrum erster Ordnung. Nach der Kalibrierung an Hand identifizierbarer Absorptionslinien wurde damit die spektrale Dispersion des Systems mit 17,5 Ångström/Pixel berechnet. Dann wurde das Spektrum des Quasars 3C 273 untersucht (hier

zwischen den beiden rötlichen horizontalen Streifen, "the box", markiert. Im rechten Teil des Screenshots erscheint mit der Software Rspec dann sofort das Profil des markierten Spektrums, welches an Hand der nullten Ordnung und der spektralen Dispersion kalibriert wurde (1-Punkt-Kalibration). Als senkrechte blaue Linien sind die Laborwerte der Balmerlinien des Wasserstoffs aus der Datenbank eingeblendet. Für die Hα-Linie beträgt dieser 6563 Ångström. Im Spektrum des Quasars 3C 273 liegt die Hα-Linie des Wasserstoffs (der Emissionspeak) deutlich weiter rechts bei einer größeren Wellenlänge (7597 Angström), also stark rotverschoben. Die Ursache dieser Rotverschiebung ist die Expansion des Universums. Der berechnete z-Wert ist 7597/6563 - 1 = 0,158, was exakt mit den Literaturwerten übereinstimmt. Dies entspricht einer Fluchtgeschwindigkeit von etwa 47.400 km/s.

Bei all diesen Beispielen handelt es sich um niedrigauflösende Spektroskopie mit



einem einfachen Transmissionsgitter "Staranalyser" in spaltloser Anordnung. Hat man daran Spaß gefunden und Erfahrungen gesammelt, wird man sich möglicherweise "höhere Weihen" erarbeiten wollen. Für die höher auflösende Spektroskopie sind diverse Spaltspektrografen am Markt erhältlich [11].

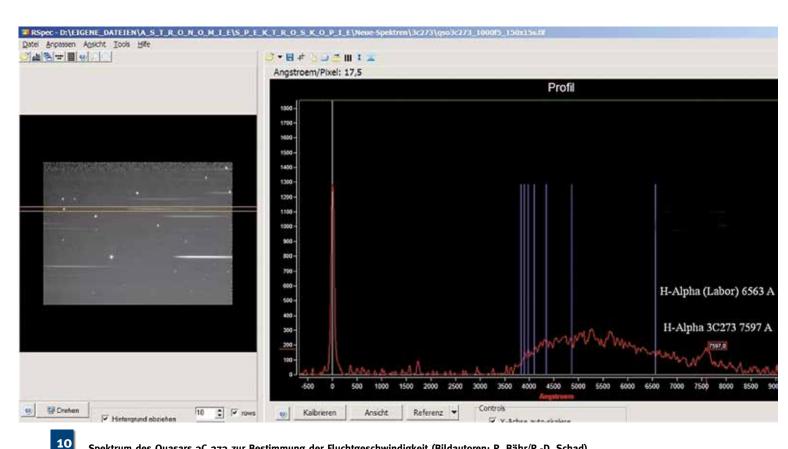
Weitere umfangreiche Informationen zu allen Aspekten der Amateurspektroskopie, speziell auch für Einsteiger, sind auf der Homepage der Fachgruppe [12] zu finden. Literatur- und Internethinweise:

- [1] G. Kirchhoff, R. Bunsen: Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen; Annalen der Physik und Chemie. Band 189, Nummer 7, 1861, S. 337-381
- [2] A. Ulrich: Einführung in die Spektroskopie für Amateure, 2000
- [3] Suchwort "CD-Spektroskop" oder "CD-ROM spectroscope"
- [4] www.astromedia.de, Suchwort: Handspektroskop, ca. 8 €

- [5] www.patonhawksley.co.uk sowie diverse Astrohändler
- [6] www.astrosurf.com/buil/index.htm
- [7] www.astrosurf.com/vdesnoux/ download.html
- [8] www.ursusmajor.ch

Spektrum des Wolf-Rayet-Sterns WR 140 im Sternbild Schwan (Bildautor: J. Simpson)

- [9] www.rspec-astro.com
- [10] www.treehillsobservatory.uk
- [11] www.shelyak.com; www.baaderplanetarium.com; www.sbig.com; de.astro-spec.com/
- [12] http://spektroskopie.fg-vds.de



Spektrum des Quasars 3C 273 zur Bestimmung der Fluchtgeschwindigkeit (Bildautoren: R. Bähr/R.-D. Schad)



Sky-Watche





und viele weitere Marken.

#### Fotomontierungen

#### Himmelsfotografie mit nachgeführter Spiegelreflexkamera

Von einer guten Idee zum vielseitigen Instrument, so könnte man die Entwicklung der Fotomontierungen zusammenfassen. Die ursprüngliche Idee war es, die in vielen Haushalten bereits vorhandene Spiegelreflexkamera auf eine kleine kompakte Nachführeinheit zu setzen. Auf diese Art und Weise kann der Nachthimmel lange genug belichtet werden, um ein ästhetisch anspruchsvolles Bild zu erzeugen, ohne dass die Sterne zu strichen verzerrt werden. Statt eine relativ teure parallaktische Montierung zu kaufen, reicht so ein kleines handliches Fotozubehör.

••••••

#### ■ Omegon Sightron Nano Tracker

Diese kleine Nachführeinheit wird einfach zwischen Kamera und Fotostativ geschraubt. Mit dem Peilloch kann dann der Polarstern anvisiert werden. Aufgrund einer Laune der Natur markiert dieser Stern ziemlich exakt den Punkt, um den der Nachthimmel rotiert. Der Sightron Nano Tracker führt die Kamera so mit, dass für sie der Himmel still steht. Der Sightron Nano Tracker ist so klein und leicht, dass er bequem in jede Fotoausrüstung passt!



Artikel-Nr.: 43760

Preis:

289.≛

#### iOptron SkyTracker

Den SkyTracker von iOptron, bieten wir Ihnen einzeln oder als Set mit nützlichem Zubehor an. Er ist mit einem Polsucherfernrohr ausgestattet. Damit kann die Genauigkeit der Ausrichtung erhoht und somit länger belichtet werden. Der integrierte Kompass und die Polhohenfeineinstellung erlauben sogar dann die Ausrichtung der Nachführeinheit, wenn der Polarstern nicht zu sehen ist. Diese Polhoheneinstellung erspart Ihnen auch die Anschaffung eines Neigers oder Kugelkopfes für das Fotostativ.



Artikel-Nr.: 32966

Preis: 379.<u>€</u>

#### Sky-Watcher Star Adventurer

Mit dem Star Adventurer schließt sich der Kreis zur astronomischen Montierung: Bis zu fünf Kilogramm trägt diese Nachführeinheit. So kann statt einer Kamera auch eine kleine teleskopische Optik benutzt werden. Wir bieten den Star Adventurer auch als Set mit viel Zubehör an. Damit erhalten Sie eine vielseitige astronomische Reisemontierung.

Insbesondere die Polhöhenwiege im Set ist ein echter Gewinn: Sie ist präzise CNC-gefräst und erlaubt die Einstellung von Höhe und Azimut über ein Höhenrädchen und Gewindestangen - ganz so, wie man das von astronomischen Montierungen her kennt

Artikel-Nr.: 45118



Preis: 269.<u>€</u>

#### **Astrokameras**

#### Canon EOS 60Da

Die EOS 60Da wurde speziell für Astrofotografen entwickelt. Im Gegensatz zu den normalen Modellen besitzt dieses einen astrofotografischen Tiefpass-Filter. Damit ist die 60Da im roten und infraroten Bereich wesentlich empfindlicher. Bei 656nm hat sie eine dreifach höhere Sensibilität als bei der handelsublichen D60.



1149.€

Artikel-Nr.: 24839

#### Omegon Proteus 120 MCI

Die Omegon Proteus 120 MCI ist eine hochempfindliche monochrome Planetenkamera zum kleinen Preis! Mit einer Auflösung von 1280x960 Pixeln nehmen Sie direkt Kurs auf die Planeten in unserem Sonnensystem. Das weite Bildfeld ist sogar wie geschaffen für scharfe Fotos von der Mondoberfläche.

•••••



Preis:

Artikel-Nr.: 44975

Preis: 279

#### Omegon Capture CCD Kameras

Der 21AU618 CCD Chip, der in den Omegon Capture CCD Kameras verbaut ist, ist einer der empfindlichsten auf dem Markt der Planetenkameras. Während Sie früher längere Belichtungszeiten benötigten, nimmt dieser Chip Ihre Lieblingsobjekte sozusagen in windeseile auf. Denn eine hohe Empfindlichkeit steht auch für kurze Aufnahmezeiten.



Artikel-Nr.: 45309, 45310, 45311

Preis: je 449.€

#### ■ i-Nova Nebula Kameras

Die Kameras der Nebula-Serie ermöglichen langzeitbelichtete Aufnahmen lichtschwacher Objekte. Damit erschließen die Kameras dieser Serie Ihnen die Welt der Nebel und Galaxien zu einem Preis, der deutlich unter dem der speziellen DeepSky-Kameras liegt.



Artikel-Nr.: 45423-45430

Preis: ab 430.€

#### Persönliche Beratung





+49 8191 94049-9

#### Astroshop.de

c/o nimax GmbH Otto-Lilienthal-Str. 9 86899 Landsberg am Lech Direkt an der A96 und B17, ca. 30min von Augsburg und München.

Damit wir uns genug Zeit für Sie nehmen können, rufen Sie bitte immer vor Ihrem Besuch bei uns an und vereinbaren einen Termin. »Vielen Danke«

Wir sind Mo-Fr von 9-17 Uhr und jeden 1. Sa im Monat von 10-16 Uhr für Sie da!

## Einstieg in die Spektroskopie – der Star Analyser 100

von Alexander Golec

Als ich mich im Oktober 2012 dazu entschied, mit der Spektroskopie zu beginnen, stellte sich selbstverständlich die Frage, mit welchem Spektrografen ich starten will. Nach kurzer Recherche hatte ich einen ersten Überblick und war erstaunt, in welcher Preisklasse sich das Ganze abspielte. Natürlich will man am Anfang nicht viele hundert Euro investieren, vor allem nicht als Schüler. Auf der Suche nach einer günstigeren Alternative stieß ich auf den Star Analyser 100, welchen es bereits für etwa 100 Euro gibt. Nach weiteren Recherchen entschloss ich mich dazu, dieses Geld zu investieren und dadurch einen neuen Teilbereich der Astronomie zu entdecken. Bei dem SA 100 handelt es sich um ein Beugungsgitter, welches genau so funktioniert wie eine handelsübliche CD: auf dem Glas sind viele Rillen eingraviert, welche den durchtretenden Lichtstrahl beugen und so ein Spektrum erzeugen (der SA 100 hat beispielsweise 100 Linien pro Millimeter, daher auch sein Name).

Da ich schon zuvor Astronomie betrieben habe, brauchte ich kein weiteres Equipment. Generell braucht man jedoch ein Teleskop und eine der Größe entsprechende Montierung, üblicherweise eine Kamera und gegebenenfalls Adapter, um den SA 100 zu montieren. Bei der Frage nach einem Teleskop gelten ähnliche Kriterien wie bei der Deep-Sky-Astronomie: Es sollte möglichst lichtstark sein. Ich habe mich aufgrund des nicht vorhandenen Farbfehlers (im Gegensatz zu Linsenteleskopen) von Anfang an für ein Newton-Teleskop (150/750 mm) entschieden. Bei der Montierung ist es wichtig, dass diese das Teleskop gut tragen kann und es möglichst genau nachführen sollte, da man durchaus auch mal länger belichten muss. Zusätze wie beispielsweise eine GoTo-Steuerung oder ähnliches erleichtern zwar die Bedienung, sind aber keineswegs notwendig. Die Entscheidung für die eine oder andere Kamera ist für die spätere Qualität der Spektren maßgeblich, da diese sehr stark von dieser Entscheidung abhängt. Allgemein sind



Der vor dem Objektiv einer CCD-Kamera aufgeschraubte Star Analyser SA 100 (ganz rechts im Bild).

Spektrumaufnahme des Sterns Wega. Rechts der Stern in o. Ordnung, links der Spektrumstreifen (1. Ordnung).

CCD-Kameras besser geeignet als DSLR-Kameras, da diese eine höhere Empfindlichkeit (auch im NIR-Bereich) besitzen und meistens keinen Infrarotfilter vor dem Sensor haben. Das ist wichtig, da im nahen Infrarot (NIR) und im roten Bereich viele wichtige Informationen des Spektrums liegen. Desweiteren eignen sich monochrome Kameras eher, da diese eine bessere Auflösung besitzen und lichtempfindlicher sind.

Bevor man beginnt, Spektren aufzunehmen, sollte man sein Equipment überprüfen, um zu sehen ob alles richtig funktioniert. Dies sollte am besten zu Hause geschehen, da es auf dem Feld oft zu spät ist, um nachzubessern. Newton-

Besitzer sollten auf eine gute Justierung achten, da eine schlechte die Qualität des Spektrums stark beeinträchtigt. Der Aufbau des Equipments ist nicht anders als üblich. Das Beugungsgitter befindet sich in einer 1,25"-Fassung (s. Abb. 1), was eine einfache Montierung am Teleskop sicherstellt. Man benötigt lediglich einen Adapter, welcher einerseits einen Kameraanschluss (oft T-Mount) und andererseits ein 1,25"-Innengewinde besitzt.

Ist der Aufbau des Equipments erfolgt, kann man beginnen, Spektren aufzunehmen. Zuerst sucht man sich ein helles Objekt, um den Fokus scharf einzustellen. Für eine optimale Fokussierung ist es praktisch, eine Bathinov-Maske zu



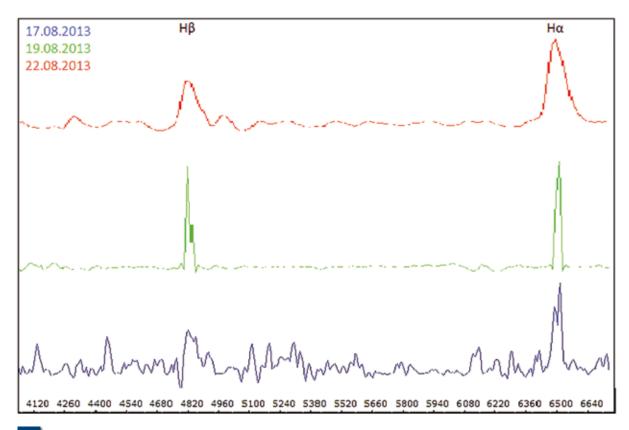
3

Lage der Nova Delphini

verwenden, da man mit dieser normalerweise die besten Ergebnisse erzielt. Die ersten Spektren sollten vorwiegend an helleren Sternen gewonnen werden, da es bei ihnen nicht so viele Effekte gibt, welche das Spektrum verschlechtern könnten. Zudem gehören viele, selbstverständlich nicht alle, helle Sterne zu den frühen Spektralklassen (A, B, 0), welche zwar weniger, dafür aber deutlichere Linien aufweisen (das ist auch für die Auswertung wichtig, da man mit

linienarmen Spektren das Prinzip der Verarbeitung am Computer besser erlernen kann). Besonders eignen sich hierfür Sterne wie Wega, Deneb oder Atair. Bei der Aufnahme sollte man darauf achten, dass das Spektrum waagerecht im Bild liegt und zudem der Stern in nullter Ordnung zu sehen ist. Falls dies nicht der Fall ist, muss man die Entfernung des SA 100 durch Verwendung verschiedener Adapter zum Chip verändern. Wenn das Spektrum nicht vollständig auf das

Bild passt, muss der Abstand verkleinert werden, wenn das Spektrum zu klein ist, entsprechend vergrößern (siehe auch Gittergleichung für genaue Werte). Die Belichtungszeit hängt von der Helligkeit des Objekts ab. Man sollte so lange belichten, dass man das Spektrum gut sieht, es aber an der hellsten Stelle noch nicht überbelichtet ist. Hat man ein Spektrum aufgenommen, sollte man noch entsprechende "Darks" (bei gleicher Temperatur und mit gleicher Belichtungszeit) erstellen, die für die spätere Arbeit am Computer benötigt werden. Falls man noch das



4 Vergleich

Vergleich der Spektren der Nova Delphini zur Demonstration ihrer zeitlichen Entwicklung

benötigte Equipment besitzt, kann man auch "Flats" machen – dies funktioniert genauso wie in der normalen Astrofotografie. Wie ein Rohspektrum aussieht, kann man in Abbildung 2 sehen. Ist man mit der Beobachtung fertig und hat alle Daten gesammelt, muss man diese noch richtig verarbeiten, um ein Spektrum, wie man es kennt, zu bekommen. Dies ist jedoch natürlich wieder ein Thema für sich, doch so viel sollte gesagt sein: Für die Verarbeitung reichen anfangs Freeware-Programme völlig aus (z. B. IRIS, Vspec).

Der Star Analyser besitzt eine relativ geringe Auflösung, was selbstverständlich für gewisse Objekte einen Nachteil darstellt, doch hat dies auch seine Vorteile. Vor allem bei lichtschwachen Objekten lässt sich der SA 100 sehr gut einsetzen. Auch aufgrund des nicht vorhandenen Spalts lassen sich großflächige Objekte, wie zum Beispiel Planetarische Nebel, gut spektroskopieren. Wenn man dies bei der Auswahl seiner Objekte berücksichtigt, kann man bei den Beobachtungen sehr viel Freude haben.

Meine ersten Beobachtungen habe ich überwiegend an heißen Sternen (Wega, Atair etc.) gemacht. Da die Spektren, wie

oben schon beschrieben, wenige, dafür deutlichere Linien besitzen, eignen sich diese besonders dafür, die Grundprinzipien der Spektren-Verarbeitung zu erlernen und zu üben. Nach einiger Zeit ist es wie bei allem anderen: Die Ergebnisse werden immer besser. So kann man schon mit etwas Übung die verschiedenen Spektralklassen in seinen eigenen Spektren gut nachweisen. Ein Ereignis, welches mir besonders in Erinnerung geblieben ist, war die Beobachtung der Nova im Sternbild Delfin im August 2013 (s. Abb. 3). Ich konnte die Nova drei Tage nach ihrer Entdeckung das erste Mal beobachten. Das Auffinden war nicht leicht, da die Helligkeit zu dieser Zeit nur etwa 6 mag betrug und sie somit eines meiner bislang lichtschwächsten Objekte war. Das erste Spektrum, das ich aufnahm, sah für mich zunächst sehr verrauscht und auch allgemein nicht besonders gut aus. Nichtsdestotrotz habe ich mich an die Verarbeitung gewagt und war mit dem Ergebnis durchaus zufrieden. Glücklicherweise hatte ich in den darauffolgenden Tagen erneut die Chance für weitere Beobachtungen und konnte noch zwei zusätzliche Spektren der Nova aufnehmen. Ich war sehr überrascht, wie gut ich die Entwicklung der Nova in meinen eigenen Spektren nachvollziehen konnte. Das Verschwinden der P-Cygni-Profile, die Ausprägung der starken Emissionslinien und die restlichen Veränderungen waren sehr gut zu sehen, und es war mir möglich, die physikalischen Prozesse in meinen Spektren zu verfolgen (vgl. Abb.4).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ich den SA 100 für den Einstieg in die Spektroskopie sehr geeignet finde. Er kostet nicht zu viel und liefert sehr zufriedenstellende Ergebnisse, vor allem wenn man seine Objekte nach den Eigenschaften des SA 100, wie oben beschrieben, auswählt. Der SA 100 eignet sich auch sehr gut zum Beobachten verschiedener physikalischer Vorgänge, was mir vor allem die Beobachtung der Nova Delphini 2013 zeigte.



## UNSERE AUTOREN SIND AUSGEZEICHNET. MANCHE MIT DEM NOBELPREIS.



\*Drei aktuelle Ausgaben von *Spektrum der Wissenschaft* für nur € 5,33 je Heft (statt € 8,20 im Einzelkauf)!

So einfach erreichen Sie uns:

Telefon: 06221 9126-743 www.spektrum.de/miniabo

Fax: 06221 9126-751 | E-Mail: service@spektrum.de





## Vom Schüler zum Amateur-Spektroskopiker

von Constantin Zborowska

Seit ich mich erinnern kann, hat der Himmel etwas Magisches für mich. Mein Name ist Constantin Zborowska, ich bin 17 Jahre alt und besuche zurzeit die 12. Klasse der gymnasialen Oberstufe. Schon früh hatte mich mein Vater bei seinen Beobachtungen mit eingebunden. Ich erinnere mich noch daran, wie ich mit sechs Jahren in der Sternwarte am Computer saß und erwartungsvoll die Temperaturkurve der wassergekühlten Megatek-CCD-Kamera beobachtete. Mein Vater hatte sich in unserem Einfamilienhaus schon nach dem Einzug eine kleine Sternwarte mit Schiebedach eingerichtet. So kam ich schon sehr früh mit der Astronomie in Berührung. Damals fotografierte mein Vater viele Standardobjekte am Himmel. Für die Spektroskopie interessierte er sich jedoch nicht.

2012 wollte ich die, nur selten genutzte, Sternwarte einmal selbst erkunden. Ich fragte also meinen Vater nach einem geeigneten Gebiet in der Astronomie, in dem man nicht nur schöne Bilder aufnehmen, sondern auch "forschen" könne. Es fiel dann schnell das Stichwort "Spektroskopie", wobei ich zu diesem Zeitpunkt absolut noch nichts damit anfangen konnte.

Ich suchte also im Internet nach einer Erklärung. Bei meinen Recherchen stieß ich schnell auf die Webseite der VdS-Fachgruppe Spektroskopie, auf der eine Seite mit der Überschrift "Ausleihbarer Solarspektrograf für Schüler-Facharbeiten oder Jugend forscht" betitelt war. Ich setzte mich also mit Lothar Schanne (Amateur-Astrospektroskopiker) in Verbindung, um nach dem erwähnten Spektrografen zu fragen.

Schnell stellte sich jedoch heraus, dass ich lieber in Richtung Sternspektroskopie gehen wollte. Über Ernst Pollmann (ebenfalls ein Amateur-Astrospektroskopiker) erfuhr ich von dem Wuppertaler Spektroskopieseminar 2012. Ich würde die Teilnahme an einem solchem Seminar jedem Interessierten empfehlen, da man



1

Unsere Sternwarte mit Teleskop und Spektrograf

so alle wichtigen Inhalte von Grund auf lernen kann.

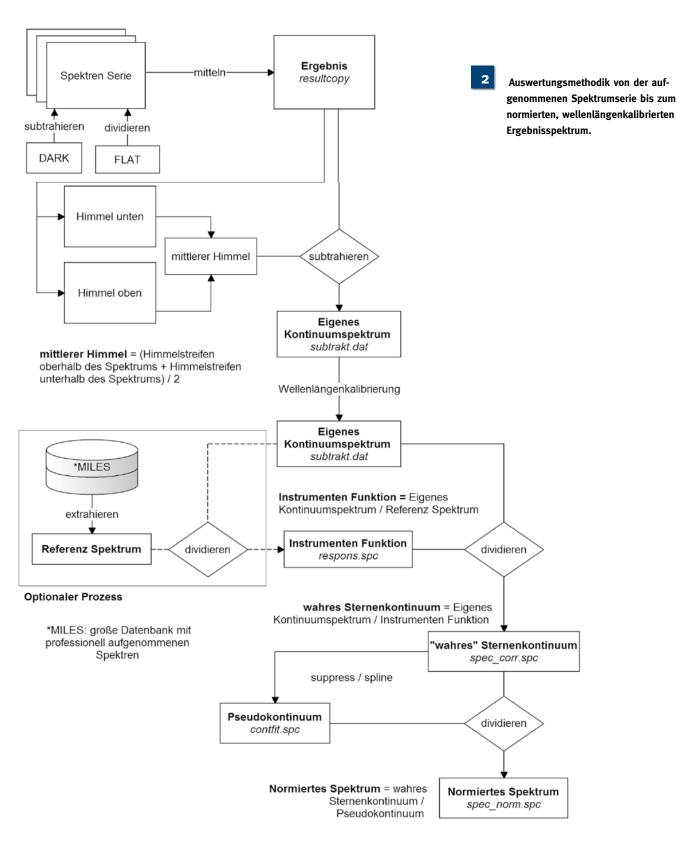
Auf dem Spektroskopieseminar entstand dann mit Hilfe von Ernst Pollmann eine erste Idee für ein Thema meiner "Jugend forscht"-Arbeit. Die Idee: Die Reproduktion des Hertzsprung-Russell-Diagramms (auch HRD) durch spektrale Untersuchungen von Sternen nach der MKK-Klassifikation (auf das MKK-System gehe ich gleich noch näher ein). Mit anderen Worten: Es ist es mein Ziel, möglichst viele niedrigdispersive Spektren aufzunehmen und diese dann nach dem bekannten MKK-System zu klassifizieren.

Fehlte mir nur noch ein geeigneter Spektrograf. Zu Anfang verwendete ich einen von Lothar Schanne bereitgestellten und von Thomas Bergmann gebauten Spaltspektrografen, der vom Aufbau dem LHIRES III ähnelt. Mit diesem gelangen mir aber keine qualitativ guten Aufnah-

men. Bei einem Besuch des ATT 2013 lernte ich Heinrich Kuypers (Physiklehrer in Düsseldorf) kennen. Er konnte mir einen LISA-Spektrografen zur Verfügung stellen. Dieser Spektrograf war ideal für mich, da er nur Spektren in niedriger Auflösung aufnimmt. Perfekt für Übersichtsspektren, wie ich sie zur Klassifikation benötige.

Die aktuelle Aufnahmekonfiguration, die ich mir in den letzten Jahren mit der finanziellen Hilfe meines Vaters aufgebaut habe, sieht wie folgt aus:

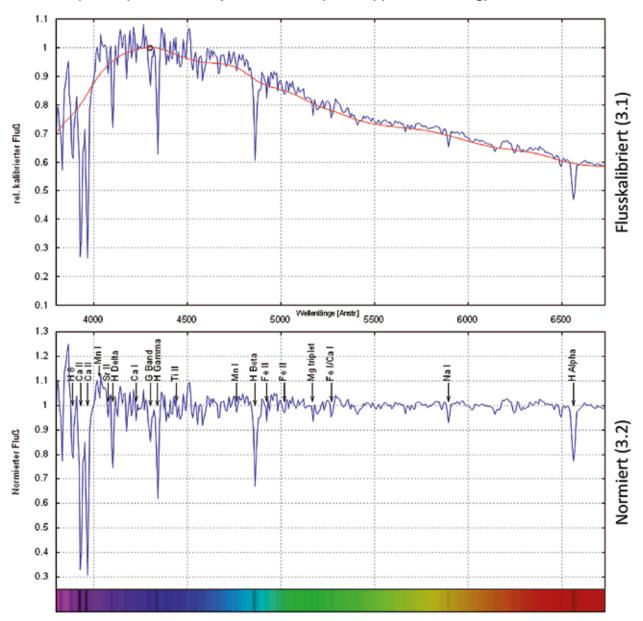
- 6-Zoll-Astrophysics-Starfire-Refraktor (f/9)
- Sideres-85-Montierung mit FS2-Steuerung
- ALCCD-5-Guiding-Kamera (sitzt am Spektrografen und beobachtet den Spalt zur Nachführung)
- ATIK 383L + CCD-Kamera
- LISA-Spektrograf von Shelyak



Mit dieser Aufnahmekonfiguration konnte ich zur Datensammlung übergehen. Bevor ich allerdings die Klassifikation im Einzelnen beschreibe, möchte ich noch einige Worte über die Auswertung von Spektren verlieren.

Am Anfang einer jeden Auswertung steht eine große Anzahl von Rohspektren sowie einige am Abend aufgenommene "Dark-Bilder" (Abb. 2). Der erste Schritt der Auswertung ist das "Foto-Stacking", bei dem von jedem Rohspektrum ein gemitteltes "Dark" abgezogen wird und alle Dark-korrigierten Rohspektren übereinandergelagert werden. Dieser Prozess dient der Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Nach diesem ersten Schritt wird das gemittelte Rohspektrum mit einer geeigneten Software (z. B. der frei erhältlichen Software Vspec) extrahiert und so in eine erste Grafik übertragen. In dieser allerersten Grafik befinden sich auf der x-Achse die Pixelnummern sowie auf der y-Achse die relativen Pixelanregungen in "Analog-Digital-Einheiten" (ADU). Mit diesem Spektrum lässt sich allerdings noch relativ wenig anfangen, da es noch nicht das wahre Sternkontinuum zeigt, sondern lediglich eine verfälschte Version desselben. Abhilfe schafft hier ein Verfahren namens "Response-Korrektur".

#### α Per (Mirfak) HD 20902, Spektrum F5 lb (aus: Hipparcos-Katalog)



Plot des flusskalibrierten Spektrums (3.1; oben) und des normierten Spektrums (3.2; unten)

Mit diesem Verfahren wird das Spektrum von allen systematischen Instrumenteneinflüssen gereinigt. Eine sogenannte "Response-Korrektur-Kurve" ergibt sich aus der Division eines gemessenen Spektrums durch ein entsprechendes Datenbankspektrum des gleichen Sterns. Das eigene vorliegende Spektrum lässt sich jetzt durch die eben erstellte Response-Korrektur-Kurve dividieren. Es entsteht ein flusskalibriertes Spektrum, das jetzt das "wahre" Sternkontinuum offenbart (siehe Abbildung 3, oben). Als nächstes gibt es zwei Methoden, um auf das Sternkontinuum zu kommen. Beide Verfahren lassen sich analog zueinander anwenden. Bei der ersten Methode markiert man mit einem Auswertungsprogramm Punkte im Spektrum, die auf dem Kontinuum liegen. Das Programm errechnet daraus ein Sternkontinuum (siehe Abbildung 3 oben, rote Kurve). Diese Methode ist gerade bei späten K- oder M-Sternen empfehlenswert, bei denen das Kontinuum nur schwer zu finden ist. Beim zweiten Verfahren wende ich einen "Spline filter" auf mein flusskalibriertes Spektrum an. Damit wird das Spektrum unter Zugabe eines Koeffizienten quasi "flachgebügelt". Das heißt in der Praxis, dass die Koeffizienten so lange variiert werden, bis alle Emissions- oder Absorptionslinien aus dem Spektrum entfernt sind. Um jetzt ein normiertes (auf eins gesetztes) Spektrum zu erzeugen, muss ich nur noch das flusskalibrierte Spektrum durch das erzeugte Kontinuum dividieren. Das Ergebnis ist ein auf das Kontinuum normiertes Spektrum wie in Abbildung 3 (unten). Sternspektren werden häufig in dieser Form dargestellt, da sich die einzelnen Linien so am einfachsten identifizieren lassen. Abbildung 2 zeigt den gesamten Auswertungsprozess in einem von mir erstellten Schema.

Kommen wir nun zur eigentlichen Arbeit, der Klassifikation. Die Spektraltypen von Sternen (zum Beispiel F5 V) werden immer in einem zweiteiligen Klassifikationsschema ausgedrückt. Der erste Teil (F5) ist die Spektralklasse, die ein Maß für die Oberflächentemperatur eines Sternes darstellt. Die Grundtypen der

Spektralklassen lauten O, B, A, F, G, K, M, wobei die Klassen M die kühlsten Sterne (etwa 2000-3350 K) und O die heißesten Sterne (etwa 30.000-50.000 K) beschreiben. Eine Einteilung einzig und alleine nach der Temperatur reicht allerdings nicht, um einen Stern eindeutig zu klassifizieren. Da es Zwerge (kleine Sterne) und Riesen (große Sterne) mit gleicher Oberflächentemperatur gibt, die sich aber in Bezug auf den Radius oder die Masse stark unterscheiden, ist ein weiteres Kriterium notwendig. Aus diesem Grund beschreibt der zweite Teil (V) die Leuchtkraftklasse, die wiederum Rückschlüsse auf den Entwicklungszustand eines Sternes erlaubt. Tabelle 1 beschreibt die Bezeichnungen der einzelnen Leuchtkraftklassen. Um die Leuchtkraftklasse eines Sternes zu bestimmen, betrachtet man besonders die Breite und Intensität der Spektrallinien. Zusammen ergeben beide Teile im sogenannten MKK-System (nach den Anfangsbuchstaben der drei Entwickler William Wilson Morgan, Phillip C. Keenan und Edith Kellman benannt) den Spektraltyp.

Praktisch muss ich unter Zuhilfenahme von Referenzspektren in meinen normierten Spektren nach den jeweiligen Kriterien für die Einteilung in Spektralklasse und Leuchtkraftklasse suchen.

Zuerst teile ich den vorliegenden Stern in eine Spektralklasse ein. Die Grundklasse (0, B, A, F, G, K, M) ist bei den meisten Sternen mit einem geübten Blick auf den Spektralverlauf ersichtlich. Die Spektralklasse lässt sich allerdings noch genauer bestimmen. Zu diesem Zweck wird ein Stern ergänzend zur Grundklasse in weitere Subtypen von 0 bis 9 eingeteilt. Dabei besitzt eine Spektralklasse allerdings nicht alle Subtypen. Zum Beispiel folgen auf die B3-Sterne unmittelbar die B5-Sterne. Die Unterteilung in Subtypen gelingt zum Beispiel über die Äquivalentbreite von bestimmten Spektrallinien. Die Äquivalentbreite einer Absorptionslinie gibt deren Stärke unabhängig von der Auflösung der verwendeten Messapparatur an. Aus diesem Grund ist sie ein beliebtes Maß in der Spektroskopie, um die Stärke von Linien zu vergleichen. Aus Büchern wie "The Classification of Stars" von Jaschek & Jaschek (Cambridge University Press, 1987) kann man jetzt die entsprechende Äquivalentbreite zur Einteilung der Subtypen erfahren.

Tabelle 1: Die Leuchtkraftklassen des MKK-Systems				
Leuchtkraftklasse	Bezeichnung			
0	Hyperriesen			
I (a, ab, b)	Überriesen			
II	Helle Riesen			
III	Normale Riesen			
IV	Unterriesen			
V	Zwerge (Hauptreihensterne)			
VI	Unterzwerge			

Weiße Zwerge

#### Ein Beispiel

VII (auch WD)

Ich habe ein Spektrum des Sternes α Persei (Spektraltyp F5 Ib) vorliegen. Aus dem Aussehen des Spektrums kann ich erkennen, dass es sich um einen F-Stern handeln muss. Um dem Stern jetzt einen entsprechenden Subtypen zuweisen zu können, messe ich die Äquivalentbreite der H\alpha-Linie in meinem Spektrum bei einer Wellenlänge von 6562,8 Ångström (1 Å = 0,1 nm). Die Messungen lassen sich mit einer beliebigen Auswertesoftware durchführen. Das Ergebnis der Messung für H $\alpha$  ist 5 Ångström. Aus den einschlägigen Spektralatlanten kann ich entnehmen, dass diese Äquivalentbreite zum Subtyp F5 passt. Um die Genauigkeit der Einteilung noch zu verbessern, kann ich auch noch andere Linien, wie zum Beispiel CaI (Calcium), SrII (Strontium) oder CaII, verwenden. Das Ergebnis ist eine relativ genaue Einteilung der Spektralklasse. In unserem Beispiel F5.

Es folgt die Leuchtkraftklassifikation. Auch die Leuchtkraftklassenzuordnung werde ich am Beispiel des Sterns  $\alpha$  Persei zeigen. Eine sehr ausführliche Auflistung aller Kriterien zur Einordnung in Leuchtkraftklassen findet man auch in [1]. Wie schon beschrieben, lässt sich die Leuchtkraftklasse durch die Verhältnisbildung zwischen bestimmten Linien bestimmen. Auf dem Blatt L20 [1] sind alle Kriterien der Spektralklasse F5 aufgelistet. Ein Beispiel:

Sr II 4078/ Fe I 4046 =1 in class V,

>1 in classes II-Ia

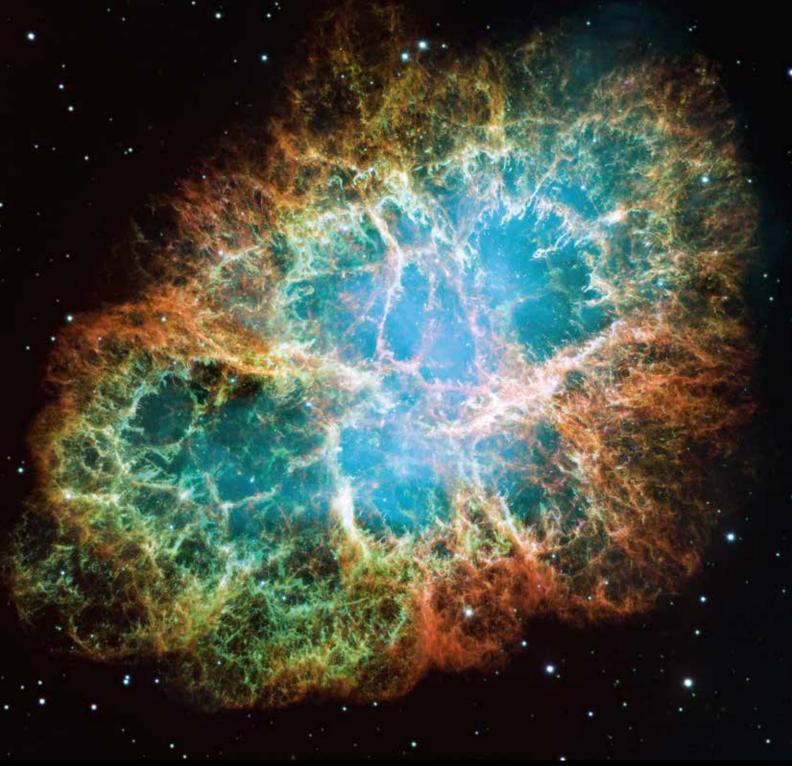
Da in unserem Spektrum die Strontium-Linie (Sr) deutlich ausgeprägter ist als die Eisen-Linie (Fe), ist der Verhältniswert zwischen den Linien eindeutig >1. So lässt sich eine erste grobe Eingrenzung vornehmen. Aus [2] können wir weitere Kriterien entnehmen. Die Seite "Luminosity Effects at F5" offenbart, wie wir weiter vorgehen. Es wird gezeigt, dass Linien wie zum Beispiel Ti II (Titan)/Fe II bei 4444 Ångström deutlich ausgeprägter bei Überriesen als bei Zwergen zu finden sind. Da diese Linie in unserem Beispielspektrum stark ausgeprägt ist, können wir so daraus schließen, dass es sich bei diesem Stern um einen Überriesen handelt.

Mit weiteren Linien, die in den Spektralatlanten aufgeführt werden, lässt sich unsere Klassifikation zusätzlich verbessern. Damit ist die MKK-Klassifikation für unseren Beispielstern  $\alpha$  Persei fertig: Die Klassifizierung lautet: F5 Iab (Überriese).

Nach diesem Muster lassen sich so gut wie alle Sterne klassifizieren. Abb. 3 zeigt zwei Auswertungsstadien von dem von mir aufgenommenen und als Beispiel verwendeten Spektrum des Sterns  $\alpha$  Persei. In dem normierten Spektrum (Abb. 3, unten) sind zusätzlich alle wichtigen Linien mit den zugehörigen Elementen beschriftet.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] Waltraut Seitter: Blätter L1 bis L32 des "Bonner Spektralatlas I", Dümmler-Verlag, 1970
- [2] R. O. Gray: "A Digital Spectral Classification Atlas"; online zugänglich via: http://ned.ipac. caltech.edu/level5/Gray/frames.html



## Planetarische Nebel, Galaxien und Quasare im Visier amateurspektroskopischer Untersuchungen

von Dominic Freudenmann

Aufnahme und Reduktion von Sternspektren gehören mittlerweile zum Standardrepertoire ambitionierter Amateurspektroskopiker. Neben Langzeitbeobachtungen von Be- oder WR-Sternen zählen auch Novae zu beliebten Untersuchungsobjekten, wobei die Nova Delphini aus dem Jahr 2013 ein Paradebeispiel

hierfür ist [1]. Weit weniger im Blickpunkt amateurspektroskopischer Beobachtungen stehen Objekte wie Galaxien oder Planetarische Nebel (PN), obwohl diese nicht weniger einladend sind: Planetarische Nebel erstaunen ihre Beobachter durch ihre leuchtenden und farbenreichen Gasfilamente, die eine schier unendliche Strukturvielfalt zeigen. Von kreisrunden, elliptischen bis hin zu multipolaren Nebelformen bieten sie uns eine Fülle potentieller Beobachtungsziele am nächtlichen Himmel an (vgl. Abbildung 1, rechts).

Die Analysen von Galaxienspektren bieten nicht zuletzt deshalb einen beson-



Mögliche Beobachtungsziele: Der Krebsnebel (Supernovarest, linke Seite) und der Helixnebel (Planetarischer Nebel, oben) [2]

deren Reiz, da diese fremden Welteninseln einzig und allein durch ihr Licht mit uns in Kontakt treten können. Zudem enthalten ihre Spektren verschlüsselte Informationen zur Expansion des Weltalls und erlauben Rückschlüsse auf die Hubble-Konstante. Zu den weiteren Exoten gehören Quasare, die als Kerne aktiver Galaxien zu den am weitesten entfernten Objekten in unserem Universum zählen. Dass wir sie dennoch beobachten können, liegt daran, dass sie zu den leuchtkräftigsten Erscheinungen im Weltall zählen.

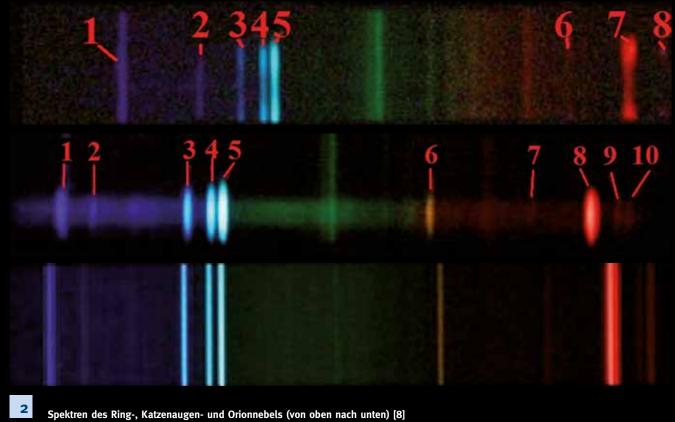
Dieser Beitrag soll einen Eindruck geben, welche erstaunlichen Informationen mit amateurspektroskopischen Mitteln aus den Spektren extrahiert werden können und soll den Leser zu eigenen Experimenten am nächtlichen Sternenhimmel ermutigen.

## Die Natur Planetarischer Nebel und ihre Spektren

Planetarische Nebel (PN) bestehen aus einer Hülle aus neutralem und ionisierten Gas, das von einem Zentralstern am Ende seines Lebens abgestoßen wird. Hier-

bei wird das expandierende Gas durch physikalische Vorgänge in den Elektronenhüllen (z. B. Wärme, Strahlung) zum Leuchten angeregt. Bei der Ausdehnung des Gases in den interstellaren Raum handelt es sich um einen dynamischen Prozess, d. h. Form, Gestalt und Farbe eines heute sichtbaren Nebels werden in einigen 10.000 Jahren nicht mehr vorhanden sein. Eine sehr kurze Zeitspanne im Vergleich zum Leben eines Sterns!

Planetarische Nebel sind wahre Schatzkammern für den Stoffkreislauf des Uni-



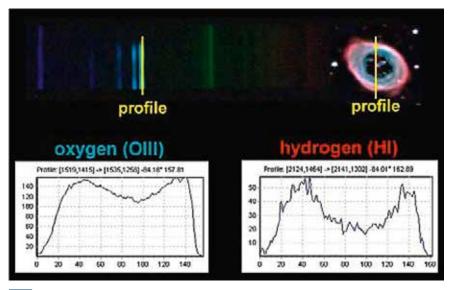
versums: Sie enthalten eine Fülle von chemischen Elementen und Verbindungen, mit denen sie ihre Umgebung anreichern. Obwohl Planetarische Nebel dem menschlichen Auge wie dichte Materieansammlungen erscheinen, sind sie in Wahrheit sehr leere, materiearme Orte. Die Teilchendichte dort ist extrem gering, vergleichbar mit einem Ultrahochvakuum im Labor [3]. Dieser Umstand beeinflusst auch die Physik bzw. Chemie des Gases: Neben den Emissionslinien der im Nebel vorhandenen chemischen Elemente finden sich dort auch Linien verbotener Übergänge, deren angeregte Ausgangszustände nur unter diesen extremen Bedingungen des Weltalls langlebig genug sind, um im Spektrografen detektiert werden zu können. Emissionslinien sind die direkte Folge der Ionisation des Gases durch die Strahlung des heißen Sterns. Durch Rekombination der Elektronen mit den Ionen entstehen angeregte Zustände. Aus einem höher gelegenen Energieniveau in der Atomhülle wird anschließend Licht einer spezifischen Wellenlänge freigesetzt (chemischer Fingerabdruck) [4].

Zur Spektrenaufnahme dieser lichtschwachen Objekte erweisen sich Teleskope mittlerer Öffnung als durchaus geeignete Messinstrumente (C8, 8"-Newtons). Als Spektrograf kann ein DADOS-Spaltspektrograf mit CCD-Kamera oder

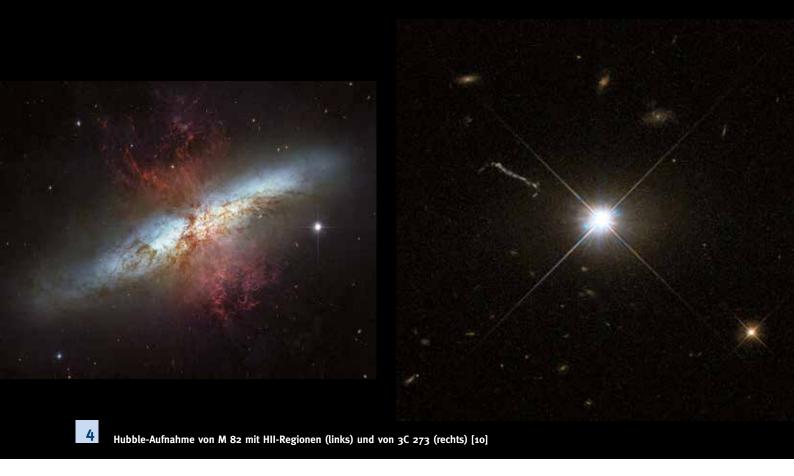
Spiegelreflexkamera dienen. Neben kommerziell erhältlichen Spektrografen (DADOS, LHIRES) können auch selbstgebaute Instrumente beeindruckende Ergebnisse erzielen [5],[6]. Da Belichtungszeiten bis zu einer Stunde für ein brauchbares Spektrum benötigt werden, ist die Verwendung eines Autoguiders unabdingbar. Er sorgt für die erforderliche hochpräzise Nachführung der Montierung während der Aufnahmen. Für die Bestimmung der exakten Wellenlängenpositionen der Linien im Nebelspektrum ist die Einspeisung eines "Kalibrierlichts"

Voraussetzung. Die Reduktion und Visualisierung der Daten kann u. a. mit den Programmen Astroart, Fitswork, IRIS, MI-DAS oder Vspec erfolgen, die u. a. auf der Homepage der VdS-Fachgruppe Spektroskopie teilweise frei zugänglich sind. Auf diese Weise lassen sich Spektren einer Vielzahl von Nebeln, Galaxien und Quasaren analysieren.

Die potenziellen Beobachtungsmöglichkeiten reichen vom Ringnebel (M 57) im Sternbild Leier, dem anmutig erscheinenden Katzenaugennebel (NGC 6543)



3



bis hin zum majestätischen Orionnebel (M 42) am nördlichen Winterhimmel. Die Abbildung 2 zeigt aufgenommene Spektren dieser Nebel im Überblick. Ins Auge fallen die markanten Emissionslinien der Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Die erste markante Linie findet sich im kurzwelligen Spektralbereich. Sie kann der Hy-Linie  $\{\sim 434 \text{ nm } (1)\}$ zugeordnet werden. Das darauffolgende Linientripel beginnt mit der Hß-Linie {~ 486 nm (3)} und wird durch die verbotenen Linien des Sauerstoffs {[OIII]: ~ 496 und 501 nm (4, 5)} vervollständigt. Im Falle von M42 und NGC 6543 treten neben der HeI-Linie im blauen Spektralbereich {~ 447 nm (2)} zusätzlich eine intensive HeI-Emissionslinie {~ 587 nm (6)} im gelben Spektralbereich besonders deutlich hervor [7]. Schwach ausgeprägt ist dagegen die [SIII]-Emissionslinie {~ 631 nm (7)}. Die dominanteste Linie am rechten Ende des Bildes hat ihren Ursprung in der Ionisation von Wasserstoff {H $\alpha$ : ~ 656 nm (8)} und wird von einer HeI-  $\{\sim 668 \text{ nm (9)}\}\ \text{und [SII]-Linie } \{\sim$ 674 nm (10)} begleitet.

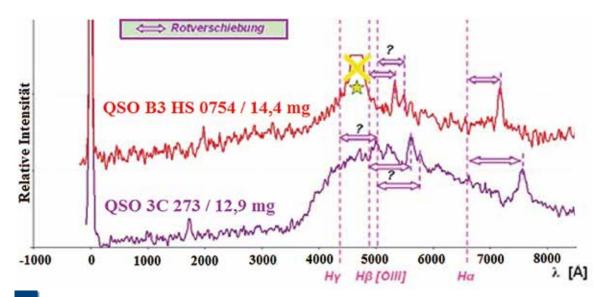
Neben der Identifikation der chemischen Bestandteile in den Nebeln ist es möglich, ein Mapping vorzunehmen, um u. a. die Elementverteilung innerhalb des PN abschätzen zu können. Dazu wird der Spalt auf den gewünschten Abschnitt des Objektes gelegt und das Profil der zu beobachtenden Linie aufgetragen. Da die aufgenommene Linie die Gesamtheit aller abgestrahlten Photonen von einem Ende des Nebels bis zum anderen repräsentiert, gibt eine Profildarstellung eine grobe Elementverteilung innerhalb des Nebels wieder (vgl. Abbildung 3). Dadurch ist sowohl eine Beurteilung der Temperatur- als auch der Dichteverteilung möglich [8], [9].

#### Galaxien und Quasare

Auch hier werden hauptsächlich die stark ausgeprägten Emissionslinien aufgezeichnet, deren Form, Lage und Wellenlänge dem Beobachter indirekte Hinweise auf die physikalischen Bedingungen und den chemischen Background ihrer Entstehungsorte liefern. Die Emissionslinien entstehen aus gewaltigen Wasserstoffwolken im Bulge, in dem eine Vielzahl junger Sterne geboren werden (sog. Starburst-Galaxien). Solche sogenannten HII-Regionen mit ausgeprägten Wasserstoff-Emissionslinien finden sich z. B. im Kern von M 82, NGC 5641 oder den weit entfernten Quasaren (vgl. Abbildung 4).

Neben den Wasserstoff-Emissionslinien finden sich im Spektrum ebenfalls Linien verbotener Übergänge leichter Ionen wie OIII oder NII. Ein schönes Beispiel für die Interpretation dieses astrophysikalischen Prozesses bieten Seyfert-Galaxien [11]. Dabei handelt es sich um Spiral- oder Irreguläre Galaxien mit einem sehr hellen Galaxienkern (z. B. NGC 1275 oder NGC 1667) [12]. Die Energie zur Anregung dieser Emissionen wird hierbei nicht von jungen Sternen geliefert, sondern entstammt Materieströmungen im Umfeld eines supermassereichen Schwarzen Lochs. Bei der Betrachtung eines solchen Galaxienspektrums fallen sowohl breite Linien von Wasserstoff oder Helium auf, als auch sehr schmale Linien von Sauerstoff, Stickstoff oder Silizium (sog. Typ-1-Seyfert-Galaxien). Während die H- bzw. He-Linien aus dem Bereich der Akkretionsscheibe um das Schwarze Loch stammen (hohe Rotationsgeschwindigkeiten bedeuten breite Linien) deuten die wesentlich schmaleren Linien der verbotenen Übergänge auf einen Entstehungsort am Rande der Galaxie hin. Dort findet sich verdünntes Gas in einer ruhigeren Umgebung [13].

Neben der chemischen Zusammensetzung können mithilfe spektroskopischer Untersuchungen die Rotverschiebung z von Galaxien oder Quasaren identifiziert und grobe Abschätzungen über die Fluchtgeschwindigkeit dieser extragalaktischen Objekte gezogen werden. Die kosmologische Rotverschiebung z ist eine Folge des Dopplereffektes sich bewegender (Licht)-Quellen. Je größer der Wert z, desto länger war das von ihnen ausgesandte Licht auf dem Weg zu uns und desto weiter



Spektrum zweier Quasare mit eingezeichneter Rotverschiebung bekannter Elementlinien. Die gelbe Markierung kennzeichnet die Spektrallinie eines Feldsterns [13].

blicken wir in die Vergangenheit zurück. Den momentanen Rekord hält die Galaxie UDFj-39546284: Mit z=10,3 sehen wir dort eine Galaxie nur 480 Millionen Jahre nach dem Urknall [14]!

Die Bestimmung der gesuchten Parameter wie z. B. z erfolgt aus den Radialgeschwindigkeiten  $v_{rad}$ , wobei gut ausgeprägte und bekannte Emissionslinien (Hα, Hβ bzw. OIII-Linien) zur Analyse hinzugezogen werden. Die Messung der Rotverschiebung aus  $\Delta\lambda$ , d. h. der Differenz zwischen einer bekannten Referenzwellenlänge (aus dem Kalibrierlicht) und der gemessenen Linie, erfolgt aus dem aufgenommenen Spektrum (vgl. Abbildung 5). Obwohl Fehlerquellen (Linienqualität, Rauschen, Ungenauigkeit in der Wellenlängenbestimmung, Ausrüstung) die Geschwindigkeitsbestimmung nur in einem ungefähren Wertebereich zulassen, zeigen die publizierten Ergebnisse eine gute Übereinstimmung mit den Daten der Profiastronomen und unterstreichen die Leistungsfähigkeit amateurspektroskopischer Arbeiten (vgl. Tabelle 1) [13].

Diese kurze Zusammenfassung soll zeigen, dass es möglich ist, mit einer gehobenen Einsteigerausrüstung, viel Spaß und Ehrgeiz, die Faszination an diesem Hobby in einer sternklaren Nacht nachzuempfinden. Nicht zuletzt die spektroskopische Beobachtung und Analyse des Lichts von Galaxien bzw. Quasaren erlaubt es uns in unvergleichbarer Art und Weise, kosmologische Modelle und physikalische Prinzipien in Echtzeit nachzuvollziehen.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] T. Hunger et al.: SPEKTRUM, 45,
- [2] NASA/ESA/Hubble-Aufnahmen via www.hubblesite.org Krebsnebel: Bildmaterial vom 09.03.2006, Helixnebel: Bildmaterial vom 16.12.2004
- [3] G. A. Gurzadyan: The physics and dynamics of planetary nebulae, Springer-Verlag, Berlin, 1997
- [4] G. Wedler: Lehrbuch der Physikalischen Chemie, 4. Aufl., Wiley-VCH, 1997
- [5] D. Sablowski: SPEKTRUM, 42, 2012
- [6] D. Freudenmann: SPEKTRUM, 44, 2013
- [7] P. F. Bernath: Spectra of Atoms and Molecules, 2. Aufl., Oxford University Press, Oxford, 2005
- [8] A. Gerhardus, D. Küsters, P. Stinner: Schülerprojekt der Astronomie AG Kopernikus-Gymnasium Wissen, 2009

- [9] A. Gerhardus, P. Stinner: SPEK-TRUM, 41, 2011
- [10] NASA/ESA/Hubble-Aufnahmen via www.hubblesite.org (M 82) bzw. www.spacetelescope.org/images/ potw1346a/(QSO 3C 273) M 82: Bildmaterial vom 24.04. 2006, Quasar 3C 273: Bildmaterial vom 18.10.2013
- [11] P. Schneider, P. Simon: Aktive Galaxienkerne, Argelander Institut für Astronomie, Universität zu Bonn
- [12]B. M. Peterson: An Introduction to Active Galactic Nuclei, Cambridge University Press, 1997
- [13] R. Bähr: SPEKTRUM, 43, 2012[14] R. J. Bouwens, et al: NATURE, 2011, 469, 504

## Tabelle 1: Übersicht der gewonnenen Daten v<sub>rad</sub> bzw. z der Objekte NGC 7469, NGC 5548 und QSO 3C 273 [13]

Objekt [mag]	Linie Messung [nm]	v <sub>rad</sub> Messung [km/s]	v <sub>rad</sub> Literatur [km/s]	Z	Z <sub>Lit.</sub>
NGC 7469 (13)	Ηα 667,8 Ηβ 493,0	5266 4240	4892	0,0176 0,0141	0,0163
NGC 5548 (13,3)	Hα 664,5 [OIII] 508,5	3758 4673	5149	0,0125 0,0156	0,0172
QSO 3C 273 (12,9)	Ηα 756,6 [OIII] 578,0	45.858 46.315	47.400	0,1529 0,1544	0,1580

## **Emissionen** in den Linien H und K

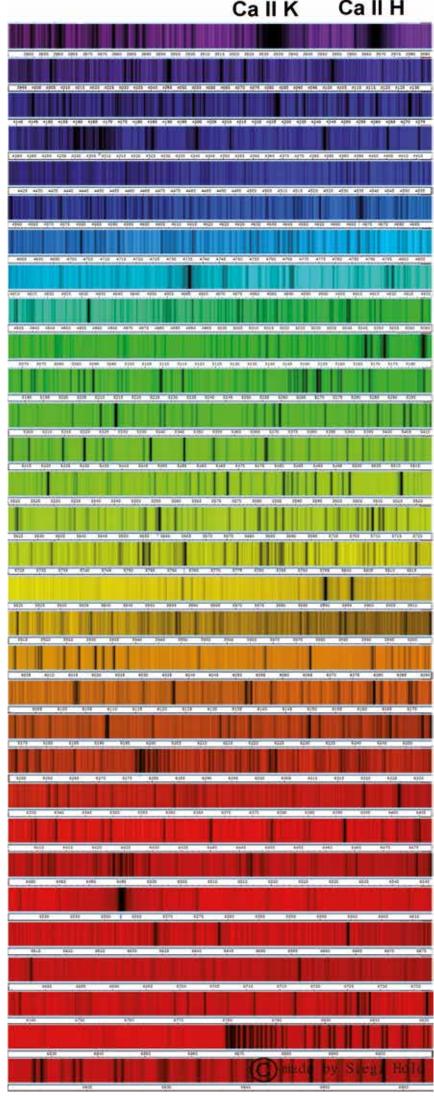
von Siegfried Hold

Sternspektren vom Typ G, K und M zeigen im violetten Bereich zwei breite, eng benachbarte Linien (Abb. 1). Deren Bezeichnung H (396,8 nm) und K (393,3 nm) sind historisch überliefert und haben weder mit dem chemischen Zeichen von Kalzium noch mit der Temperatur etwas gemein. Joseph von Fraunhofer benannte die Linien im Spektrum beginnend von der roten Seite mit Buchstaben aufsteigend, wobei H und K für ihn die letzten Linien im noch sichtbaren blauvioletten Bereich waren. Dieser Beitrag zeigt interessante Variationen in den Spektren von Sonnenflecken und einiger Sterne vom Spektraltyp M und K. Zu den hier untersuchten Sternen gehören Kochab (K4 III), Beteigeuze (M2 Ib) und Aldebaran (K5 III).

Zu den Herausforderungen stellarer Spektroskopie gehören zum einen die geringe Blauempfindlichkeit der verwendeten CCD-Kameras und zum anderen die Absorption/Streuung der Erdatmosphäre. Idealerweise sollte im Meridian, der höchsten Stellung des Objekts am Himmel, gemessen werden. Dies war bis zum Abgabezeitpunkt des Artikels witterungsbedingt nicht möglich. Deshalb konnten auch nur die hellsten Sterne mit diesem Phänomen vermessen werden. Antares, max. zwölf Grad über dem Horizont, wäre ebenfalls ein Kandidat, ist aber von meinem Beobachtungsort in Südost-Österreich nicht möglich. Der blaue Anteil des Spektrums wird durch die Horizontnähe größtenteils aus der Sichtlinie gestreut und ist somit nicht erreichbar. Mehrmalige Versuche mit langen Belichtungszeiten brachten keine verwertbaren Ergebnisse unter 400 Nanometern.



Das Spektrum der Sonne im sichtbaren Bereich mit einer Auflösung von 0,21 Å/Pixel. Alle Bilder und Grafiken dieses Beitrags: Siegfried Hold





2 Der Schiefspiegler mit angebautem Spektrografen

Linien pro Millimeter zur Verfügung. Für Aufnahmen der Sonne in diesem Beitrag wurde das 1200-Linien-Gitter in 2. Ordnung verwendet. Die Sternspektren wurden mit dem 2400-Linien-Gitter aufgenommen. Der Eingangsspalt - eine optisch verspiegelte Platte, auf welcher vier Spalte (15, 19, 23 und 35 um) angebracht sind - ist so montiert, dass durch Drehen der gewünschte Spalt in Position gebracht werden kann. Für die Sonne wird der engste Spalt verwendet, da genug Lichtintensität vorhanden ist. Bei Sternen wird entsprechend der Helligkeit und abhängig vom Seeing ein entsprechend größerer Spalt verwendet, damit noch genügend Photonen den Chip der Kamera SBIG 2000 XM erreichen. Bei sehr schlechtem Seeing steht eine Spaltplatte mit 19, 50, 70 und 100 µm zur Verfügung. Die Sternspektren in diesem Beitrag wurden mit dem 50-µm-Spalt aufgenommen. Die Spaltbreite ist einer der Parameter, welche die Auflösung des Spektrografen bestimmen.

Typische Auflösung Sonne: 0,07 Å/Pixel Typische Auflösung stellar: 0,07 – 0,21 Å/Pixel

#### **Datenreduktion**

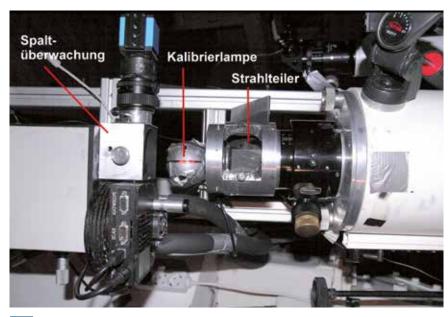
Die Korrektur des Lichtbildes erfolgt wie in der Astrofotografie mit Dark, Bias und Flat. Was in der Spektroskopie hinzukommt, ist die Aufnahme einer Referenzlichtquelle, um das Spektrum in Wel-

#### **Aufnahmetechnik**

Als Lichtsammler dient ein Schiefspiegler mit 300 Millimetern Öffnung (Abb. 2). Zur Lichtdämpfung für Aufnahmen der Sonne ist im Strahlengang ein Strahlteiler 75/25 (Abb. 3) eingebaut. Der Rest wird, je nach Bedarf, mit Dämpfgläsern reduziert. Für Arbeiten in 2. Ordnung wird noch kurz vor dem Spalt ein Filter eingesetzt, um Überlappungen der Ordnungen zu vermeiden. In diesem Fall überlappen die Bereiche H und K in 2. Ordnung mit dem Rotbereich der 1. Ordnung, weshalb ein Blaufilter verwendet wird.

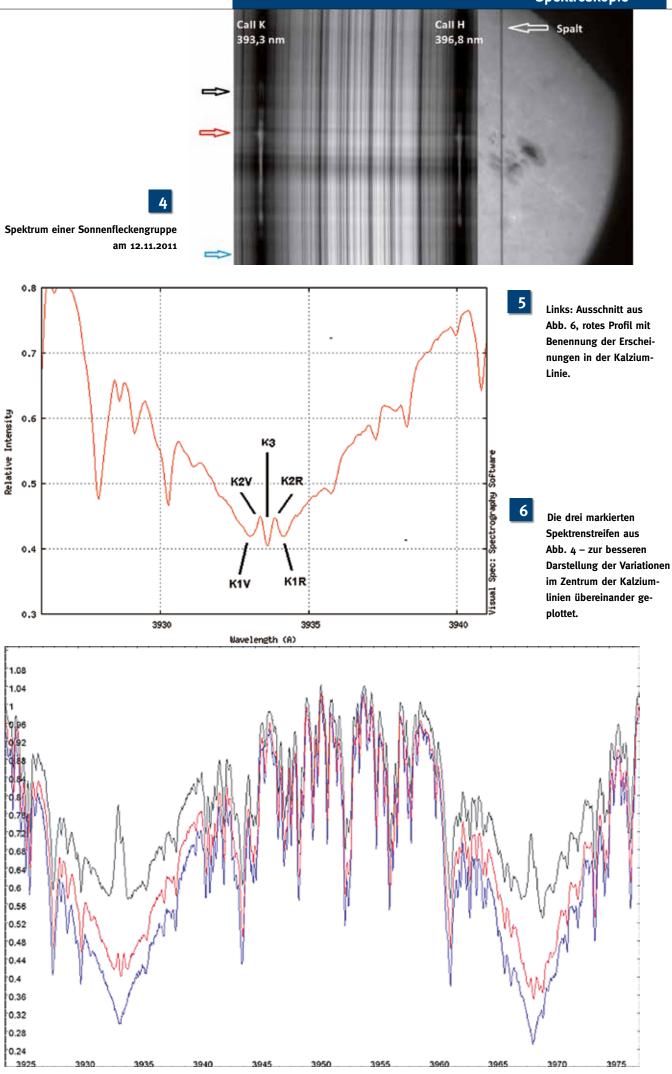
#### **Der Spektrograf**

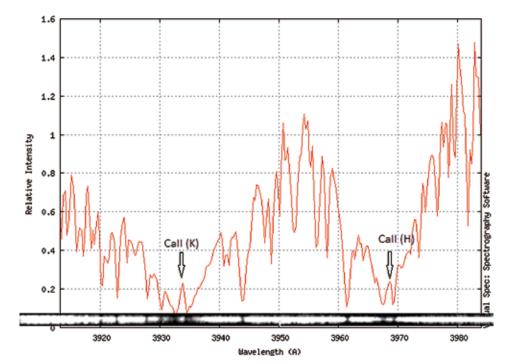
Der Spektrograf vom Typ Czerny hat einen Kollimator- und einen Kamera-Spiegel von je 320 Millimetern Brennweite. Es stehen Gitter mit 1200, 1800 oder 2400



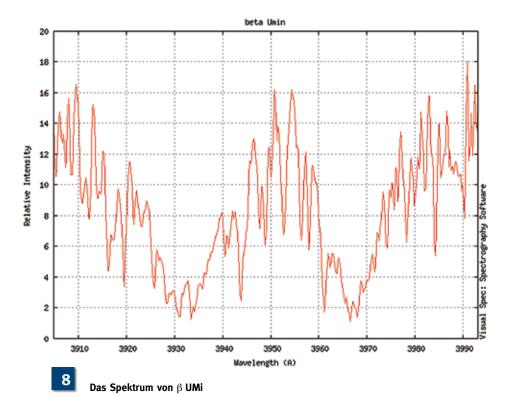
3

Strahlteiler und Spektrograf





Das Spektrum von Aldebaran mit einer deutlichen Emission im Linienkern.
Darunter eingeblendet ist der Spektralstreifen.



lenlänge zu kalibrieren. Hier wird eine Lampe benutzt, welche mit den Gasen Neon und Argon unter niedrigem Druck gefüllt ist. Mit dieser Glimmlampe wird der Spalt vor und nach der Objektaufnahme beleuchtet. Dies ist bei langen Belichtungszeiten erforderlich, um zeitabhängige Effekte wie Durchbiegung und Temperaturtrift bestimmen und eliminie-

ren zu können. Das bereinigte Bild mit dem Spektralstreifen wird anschließend mit der Freeware Vspec auf ein Profil reduziert, in der auch die Wellenlängenkalibration durchgeführt wird.

#### Das Spektrum der Sonne

Abbildung 4 zeigt eine Aufnahme der Sonne vom 12.11.2011. Der rechte Teil des Bildes stammt von der Guidingkamera und soll zum besseren Verständnis der Effekte im Spektrum (linker Teil der Abb. 4) dienen. Sonnenflecken auf dem Spalt sind als dunkle horizontale Streifen im Spektrum sichtbar. Positioniert man eine aktive Region auf dem Spalt (Abb. 4 rechts), kann man sehr gut erkennen, dass die Call-Emissionen nur in aktiven Regionen sichtbar sind.

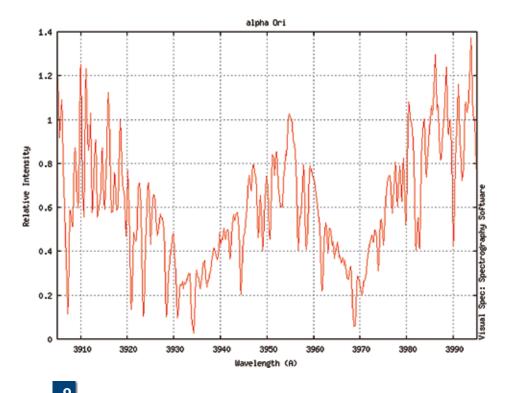
In Abbildung 5 sind die Komponenten der Kalziumlinie benannt, wobei "V" für Violett und "R" für Rot stehen. Die tiefe und breite Absorption K1 entsteht in der Photosphäre der Sonne, die Emission K2 etwa tausend Kilometer höher in der wesentlich heißeren Chromosphäre. Am oberen Rand der Chromosphäre entsteht im Zentrum der Emission eine weitere Absorption, K3 genannt. Dieses Phänomen bezeichnet man als Selbstabsorption. Hierbei handelt es sich um komplexe Abläufe, deren Beobachtung für den Amateur lohnenswerte Ergebnisse bringen kann. Die Komponenten K2V und K2R können asymmetrisch zum Linienkern auftreten. Eine Ursache hierfür könnte rasch aufsteigende Materie sein. Dieser Effekt ist allerdings nur bei entsprechend hoher Auflösung messbar.

Aufnahmen wie diese erfordern sehr viel Geduld, da aktive Gebiete nicht leicht auszumachen sind. Ein Fleck ist kein Garant für Emissionen wie in Abbildung 5. Bilder der SOHO-Sonde liefern Hinweise darauf, bei welchem Fleck es sich lohnt, das Spektrum zu vermessen. Letztlich ist aber das Seeing für ein gutes Gelingen entscheidend.

Zur Auswertung nach der Wellenlänge wurden drei Bereiche (siehe Pfeilmarkierung in Abbildung 4) markiert, an denen je zehn Pixel breite Streifen verwendet wurden. Das Ergebnis der drei Profile ist in Abbildung 6 dargestellt. Im kalibrierten Profil lassen sich auch die restlichen Linien zuordnen, was hier nicht weiter untersucht wird.

#### Die Sternspektren

Die Spektren der Sterne (siehe Einführung) weisen je nach Spektraltyp unterschiedliche Variationen im Linienkern auf (Abb. 7-9). Dies ist abhängig von physikalischen Gegebenheiten wie Dichte, Temperatur und Geschwindigkeit. Im



Das Spektrum von Beteigeuze zeigt einen "tiefen Kern", K2 ist eher schwach ausgeprägt.

Jahr 1965 entdeckten O. C. Wilson und V. Bappu, dass die Breite von K2 eng mit der absoluten visuellen Helligkeit verknüpft ist. Dies gilt für alle Sterne mit einer Chromosphäre (G, K und M). Dieses Verhältnis zur Bestimmung von Leuchtkraft und Entfernung bezeichnen die Astronomen als "Wilson-Bappu-Effekt".

Systematische Untersuchungen über die Intensität und die Variationen der Linien erfordern viele Messungen über einen langen Zeitraum (Monate bis Jahre).

#### **Fazit**

Messungen an Sonnenflecken und Sternen zeigen eine Vielfalt von Variationen. Die Erarbeitung dieses Berichtes hat mich ermutigt, weitere Messungen – selbst an schwächeren Objekten – durchzuführen. Darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt zu berichten sein.

## Spektroskopie in Offenen Sternhaufen

von Bernd Hanisch

Bei Offenen Sternhaufen handelt es sich um eine Ansammlung von zwanzig bis zu einigen tausend Sternen, die ursprünglich aus derselben Molekülwolke entstanden sind. Die Eigenbewegungen der Sterne, gegenseitige Bahnstörungen, aber auch Zusammenstöße mit anderen Sternhaufen oder Gaswolken führen dazu, dass Offene Sternhaufen selten älter als einige hundert Millionen Jahre werden. Sie sind damit, im Ver-

gleich zu den Kugelsternhaufen, relativ junge Objekte. Offene Sternhaufen sind für das Verständnis der Sternentstehung sehr wichtig, da ihre Mitglieder alle in etwa das gleiche Alter und dieselbe chemische Zusammensetzung haben [1]. Somit ist es natürlich interessant, das Licht der Sterne in Offenen Sternhaufen genauer zu untersuchen, diese also spektroskopisch zu beobachten. Wie dies im einfachsten Fall geschehen kann und welche Informationen man prinzipiell auch als Amateur aus diesen Beobachtungen gewinnen kann, soll nachfolgend

einfallender
Lichtstrahl

Spektrum im Fokus
des Objektivs

Spektrum im Fokus
des Objektivs

an den beiden bekannten Offenen Sternhaufen der Plejaden (M 45) und der Praesepe (M 44) dargestellt werden.

#### **Beobachtungstechnik**

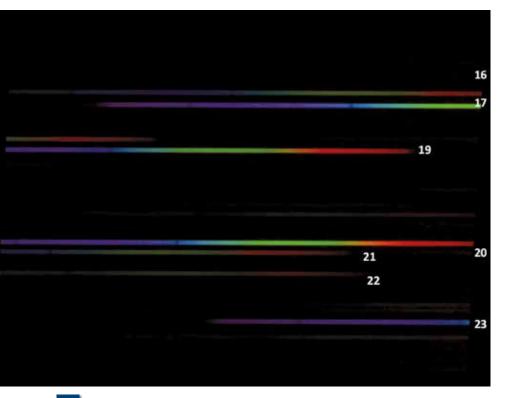
Die einfachste und für die spektroskopische Beobachtung der Sterne in Offenen Sternhaufen gut geeignete Technik ist die Objektivprismenspektroskopie. Dabei wird direkt vor das Fernrohrobjektiv ein Prisma gesetzt, welches das Sternlicht in sein Spektrum zerlegt. Im Fokus der Fernrohroptik befindet sich dann eine CCD-Kamera oder ein Fotoapparat zur

Detektion des Spektrums. Der Strahlengang in einem solchen Objektivprismenspektrografen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Ein Vorteil dieser Aufnahmetechnik besteht u. a. darin, dass auf einer Aufnahme die Spektren mehrerer Sterne eines Haufens abgebildet werden, wodurch z. B. eine schnelle Grobklassifizierung der Spektraltypen ermöglicht wird. Von Nachteil ist allerdings die teilweise Überlappung der Spektren (siehe auch Abb. 5). Die in diesem Beitrag dargestellten



Plejaden mit Objektivprisma 5° SF2.



3 Spektren heller Plejaden-Sterne mit Prisma 45° BK2.

Spektren wurden mit einem Zeiss-Meniscas 180/1800 mit wahlweise zwei Objektivprismen (5° SF2, Durchmesser 205 mm bzw. 45° BK2, Kantenlänge 110 x 110 mm) sowie einer Digitalkamera EOS 20 D von Canon aufgenommen. Die Großbuchstaben SF und BK kennzeichnen die Glassorten Schwerflint bzw. Borkron, die an-

gegebenen Gradzahlen den brechenden Winkel des Prismas.

## Beobachtungsergebnisse und Diskussion

Einige mit der o. g. Aufnahmetechnik erhaltenen Spektralaufnahmen der Offenen Sternhaufen der Plejaden (M 45) und der Krippe (Praesepe, M 44) zeigen die nachfolgenden Abbildungen 2-5 (zunehmende Rektaszension der Sterne von oben nach unten).

Zunächst kann man sich im Rahmen der Interpretation derartiger Beobachtungen einen groben Überblick über die Spektralklasse der zu den Sternhaufen gehörenden helleren Sterne verschaffen. Dies kann z. B. durch einen Vergleich mit sogenannten Standardsternen für bestimmte Spektralklassen geschehen. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Spektren der Hauptspektralklassen O, B, A, F, G, K und M. Während in den Spektralklassen B, A und F die Balmerlinien des Wasserstoffs wie z. B. Hβ bei 4861 Ångström oder Hy bei 4340 Ångström dominieren, treten bei den späteren Spektralklassen (den kühleren Sternen) zunehmend viele Metalllinien und ab der Spektralklasse M auch dunkle Molekülbanden des Titanoxids hervor.

Weiterhin ist es auch mit den Mitteln der Objektivprismenspektroskopie möglich, eine grobe Orientierung über die Leuchtkraftklasse der Sterne zu erlangen. Dies sei hier am Vergleich der Spektren von Wega und Deneb, die beide nicht zu den hier diskutierten Offenen Sternhaufen gehören, mit Abbildung 7 verdeutlicht.

Dargestellt sind die Spektren zweier Sterne der Spektralklasse A mit etwa der gleichen Oberflächentemperatur von ca. 10.000 Kelvin bzw. 9.000 Kelvin. Während beim Hauptreihenstern Wega (Leuchtkraftklasse V) die Balmerlinien des Wasserstoffs durch den größeren Photosphärendruck stark verbreitert sind, zeigt der Riesenstern Deneb (Leuchtkraftklasse I) bei dem aufgrund des großen Durchmessers vorhandenen geringeren Photosphärendruck sehr scharfe Linien. Die ebenfalls sehr scharfe CaII-Linie bei Wega stammt nicht von der Sternatmosphäre, sondern ist als interstellare Linie anzusehen.

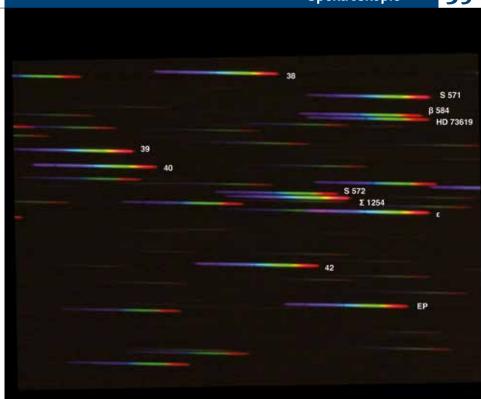
Ist ein Stern eines Offenen Sternhaufens hinsichtlich Spektral- und Leuchtkraft-klasse spezifiziert, kann seine Position im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) bestimmt werden. Damit können unter Berücksichtigung der Theorie der Sternentwicklung z. B. Aussagen über das Alter der Offenen Sternhaufen getrof-

fen werden. Denn es gilt folgende Regel: Kurz nach der Entstehung eines Offenen Sternhaufens aus einer Molekülwolke ist zunächst die gesamte Hauptreihe mit Sternen aller Massen besetzt. Da sich aber die massereichen Sterne schneller (von der Hauptreihe weg, hin zu den Überriesen und Riesen) entwickeln als massearme, verschwindet die Hauptreihe in einem Offenen Sternhaufen langsam von oben (links) her. Somit ist im HRD bei Offenen Sternhaufen genau der Punkt interessant, an dem die Hauptreihe nach oben abknickt, also ab dem keine heißeren Hauptreihensterne mehr vorhanden sind. Je jünger ein Offener Sternhaufen also ist, desto weiter links (bei früheren) Spektralklassen oder kleineren Farbindizes wird dieser Punkt zu finden sein. Abbildung 8 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

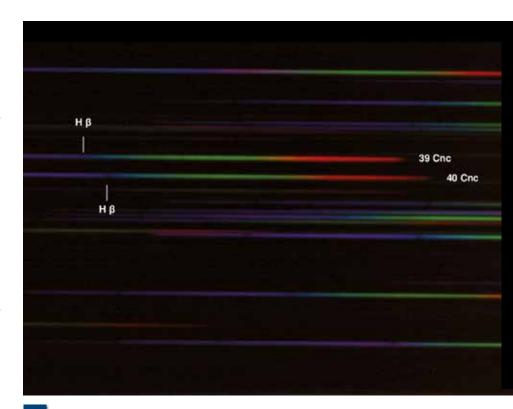
Für die Plejaden ergibt sich aus der Analyse ihrer Spektren ein Alter von etwa 100 Millionen Jahren [4]. Hier handelt es sich also um ein relativ junges Objekt. Es gibt in diesem Sternhaufen keine helleren Hauptreihensterne, die heißer als Spektralklasse B 6 sind oder anders gesagt, eine höhere Oberflächentemperatur als ca. 14.000 Kelvin oder noch anders formuliert, einen Farbindex B-V < - 0.2 haben. Der Farbindex B-V bezeichnet dabei die Differenz zwischen der Blauhelligkeit B eines Sterns bei 4500 Ångström und der visuellen Helligkeit V bei 5480 Ångström. In Tabelle 1 sind die scheinbaren visuellen und Blauhelligkeiten, die Farbindizes B-V sowie die Spektral- und Leuchtkraftklassen für die hellsten Sterne des Offenen Sternhaufens M 45 dargestellt. Die Angaben sind der Quelle [2] entnommen.

Einige Sterne der Plejaden enthalten Spektrallinien in Emission, wie z. B. die H $\alpha$ -Linie des Wasserstoffes bei 17 Tau, 23 Tau oder 28 Tau, siehe Abbildung 9. Dass im Gegensatz zu 27 Tau, bei dem die H $\alpha$ -Linie bei 6563 Ångström als dunkle Absorptionslinie erscheint, bei 28 Tau die H $\alpha$ -Linie als helle Emissionslinie hervortritt, erklärt sich aus der Existenz einer den Stern umgebenden Gashülle, in der diese Emissionslinie entsteht.

Für den Offenen Sternhaufen der Praesepe (M 44) liegt der Punkt, an dem die Hauptreihe nach oben abknickt im Ver-



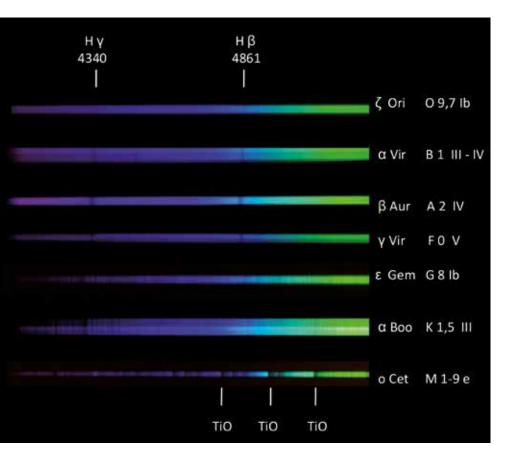
Praesepe mit Objektivprisma 5° SF2.

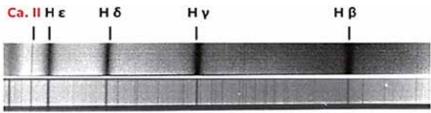


Spektren heller Praesepe-Sterne mit Prisma 45° BK2.

gleich zu den Plejaden im HRD deutlich weiter rechts. Ferner ist bei diesem Sternhaufen der Bereich der Riesensterne im Spektralbereich etwa von G7 bis K2 mit einigen Sternen besetzt, siehe Abbildung 8. Ein Beispiel dafür ist der Stern 39 Cnc mit einem sichtbaren Unterschied im Spektrum im Vergleich zu 40 Cnc,

wie etwa die Stärke der Hβ-Linie zeigt, siehe Abbildung 5. Dies bedeutet, dass bei Praesepe auch schon Sterne, die heißer sind als Spektralklasse A5 bzw. mit höherer Oberflächentemperatur als ca. 8500 Kelvin oder eben mit einem Farbindex B-V von weniger als ca. + 0,2 die Hauptreihe verlassen haben. Gemeinsam





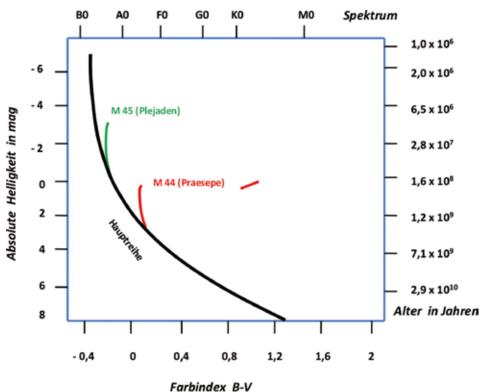
Klassifizierung der Leuchtkraftklasse am Beispiel von Wega (oben) und Deneb (unten), aufgenommen mit dem oben beschriebenen Meniscas 180/1800 mit 45°-Prisma auf Film KODAK TAX 400.



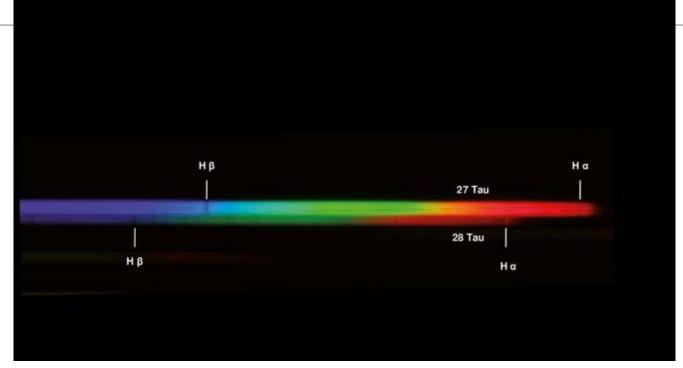
Sternspektren der Hauptspektraltypen im blauen und grünen Bereich, Aufnahme mit Meniscas 180/1800 und Objektivprisma 45° BK2.

mit der Beobachtung von deutlich kühleren Riesensternen der Spektralklassen G8-K0, wie z. B. 39 CnC,  $\Sigma$  1254 oder S571, ist dies ein Indiz dafür, dass Praesepe deutlich älter sein muss, als die Plejaden. Tatsächlich wird das Alter von M 44 auf etwa 600-700 Millionen Jahre bestimmt [3]. Tabelle 2 stellt die scheinbaren visuellen und Blauhelligkeiten, die Farbindizes B-V sowie die Spektral- und Leuchtkraftklassen für die hellsten Sterne des Offenen Sternhaufens M 44 dar. Die Angaben sind ebenfalls der Quelle [2] entnommen.

Einer Erklärung bedarf abschließend noch das Spektrum des Sterns 40 Cnc, der verglichen mit Sternen derselben Leuchtkraftklasse als Hauptreihenstern der Spektralklasse A1 eigentlich etwas zu heiß für diesen Offenen Sternhaufen ist. Solche Sterne werden in der Literatur als sogenannte blaue Nachzügler oder "blue stragglers" bezeichnet. Als Ursache für diese Überhitzung wird für 40 Cnc eine Kollision von zwei Sternen geringer Masse diskutiert [5].



Farben-Helligkeits-Diagramm der Offenen Sternhaufen M 44 (Praesepe) und M 45 (Plejaden)



Spektren der Plejadensterne 27 Tau (oben) und 28 Tau (unten), mit der Hα-Linie in Emission bei 28 Tau

Die in diesem Artikel dargestellten Sachverhalte sollen als Anregung zur Spektroskopie der Sterne in Offenen Sternhaufen dienen. Auch wenn nicht alle der dargestellten Erkenntnisse aus den hier gezeigten Objektivprismenspektren unmittelbar ableitbar sind, lohnt sich auch für den Amateur die Mühe, zumal qualitativ höherwertige Spektrografen weitere Möglichkeiten eröffnen.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] http://de.wikipedia.org/wiki/ Offener\_Sternhaufen
- [2] http://simbak.cfa.harvard.edu/ simbad/sim-fid
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/ Beehive\_cluster
- [4] James B. Kaler: Die physikalische Welt der kosmischen Sonnen, Spektrum Akademischer Verlag, 2000
- [5] www.starobserver.eu/openclusters/ m44.html

#### Tabelle 1: Scheinbare Helligkeiten B (blau) und V (visuell), Farbindizes B-V und Spektrum heller Sterne im Offenen Sternhaufen der Plejaden (M 45) nach [2]

Stern	Scheinbare Helligkeit (V) mag	Helligkeit (B) mag	B-V mag	Spektrum
16 Tau	5,45	5,41	-0,04	B7 IV
17 Tau	3,71	3,61	-0,10	B6 IIIe
18 Tau	5,65	5,59	-0,06	B8 V
19 Tau	4,29	4,20	-0,09	B6 IV
20 Tau	3,87	3,81	-0,06	B8 III
21 Tau	5,76	5,73	-0,03	B8 V
22 Tau	6,43	6,42	-0,01	A0 Vn
23 Tau	4,16	4,11	-0,05	B6 IVe
25 Tau	2,87	2,81	-0,06	B7 III
27 Tau	3,62	3,54	-0,08	B8 III
28 Tau	5,05	4,97	-0,08	B8 Vne

#### Tabelle 2: Scheinbare Helligkeiten B (blau) und V (visuell), Farbindizes B-V und Spektrum heller Sterne in M 44 (Praesepe) nach [2]

Stern	Scheinbare Helligkeit (V) mag	Scheinbare Helligkeit (B) mag	Farbindex B-V mag	Spektrum
HD 73575 (38 CNc)	6,66	6,88	0,22	FO III
HD 73574	7,75	7,93	0,18	A5 V
HD 73598 (S 571)	6,60	7,53	0,93	K0 III
HD 73618 (β 584)	7,30	7,49	0,19	Am
HD 73619	7,52	7,76	0,24	Am
HD 73665 (39 Cnc)	6,38	7,35	0,97	G8 III
HD 73666 (40 Cnc)	6,61	6,62	0,01	A1 V
HD73709 (S 572)	7,68	7,87	0,19	F2 III
HD 73710 (Σ 1254)	6,39	7,41	1,02	G9 III
HD 73712	6,78	7,04	0,26	A9 V
HD 73731 (ε Cnc)	6,29	6,46	0,17	A5m
HD 73785 (42 Cnc)	6,83	7,04	0,21	A9 III

## Erweiterung auf einen Spaltspektrografen – ein Prototyp

von Gerhard Hauke

Als ich gegen Ende des vorletzten Jahres auf die Baubeschreibung für einen preisgünstigen Einsteiger-Spektrografen von Daniel Sablowski [1] stieß, beschloss ich sofort, ihn nachzubauen. Eine Beschreibung des "MiniSpec" findet sich im FG-Journal Nr. 42, ladbar von der Homepage der FG [2].

Siegfried Hold, der sich schon länger intensiv mit der Spektroskopie befasst, gab mir etliche Anregungen für eine Erweiterung des MiniSpec-Konzepts zu einem Spaltspektrografen. Da ich die Grundkonstruktion des Minis weiter verwenden wollte, ergab sich als erste, naheliegende Möglichkeit das Andocken eines zweiten, ebenso stabilen Gehäuses wie das, welches Daniel in der ersten Version verwendet hatte.

Das Konzept für die Erweiterung sah die Verwendung eines Vierfach-Spalt-Plättchens der Firma Shelyak und Autoguiding (optische Spaltüberwachung und Teleskopsteuerung) mittels der empfindlichen Lodestar-Kamera von Starlight XPress direkt an der Spaltkammer vor.

In den Abbildungen 1 und 2 sind das Grundgehäuse und das Erweiterungsmodul für den Spalt gezeigt.

Das zweite Gehäuse konnte ich an das Grundgehäuse nicht anschrauben und so Lodestar - Adapter

Objektiv

OAZ-Adapter

Umlenkspiegel2

Umlenkspiegel1

Gehäuse der Spaltbeobachtungseinheit mit Teleskopadapter und Guiding-Kamera-Anschluss, links der Mini-Spektrograf

verwendete ich für die Verbindung einen Zweikomponentenkleber.

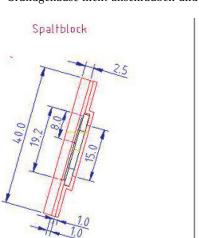
Als etwas heikel gestaltete sich die Befestigung der empfindlichen Spaltplatte, die so angebracht werden musste, dass sie abgenommen und gedreht werden konnte, um auch die anderen drei Spaltbreiten nutzen zu können. Die quadratische Platte verfügt über je einen Spalt an den Kanten mit 15, 19, 23 und 35 Mikro-

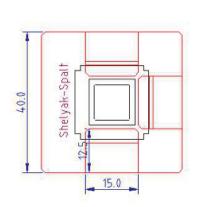
Spalthalterung Draufsicht

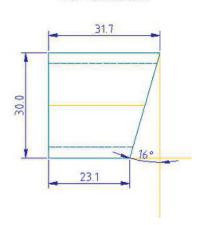
meter Spaltbreite. Abbildung 3 zeigt die schließlich verwendete Konstruktion des Spaltträgers.

Die Halteklammern habe ich etwas einfacher gestaltet und nur zwei Klammern aus dünnem Aluminiumblech mit aufgeklebten Korkplättchen verwendet.

Um eine Spaltüberwachung mittels Kamera realisieren zu können, musste der

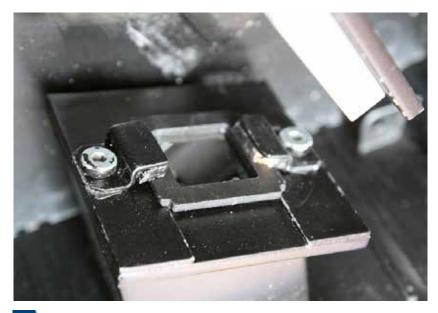






Alu-Vierkantrohr

Konstruktionszeichnungen für den Spaltträger



3 Spaltträgerplatte mit eingeklemmtem Spaltblättchen

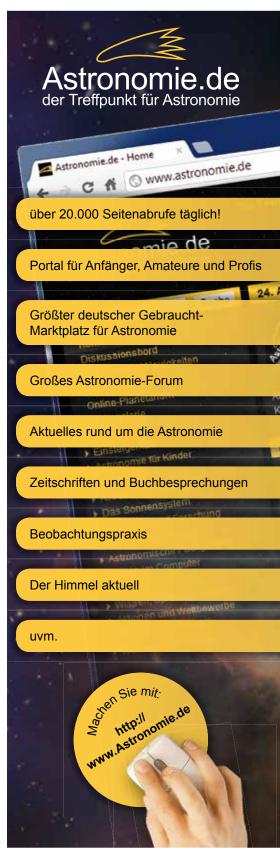


Blick in die Spaltbeobachtungseinheit

spiegelnde Spalt mit Halterung leicht schräg befestigt werden. Siegfried Hold hat einen Winkel von etwa 16 Grad errechnet. Ein Aluminium-Vierkantrohr, frontseitig auf den errechneten Wert abgeschrägt, erfüllte diesen Zweck und war ideal für den Durchtritt des Lichts zur Gitter-Kammer. (Abb. 4).

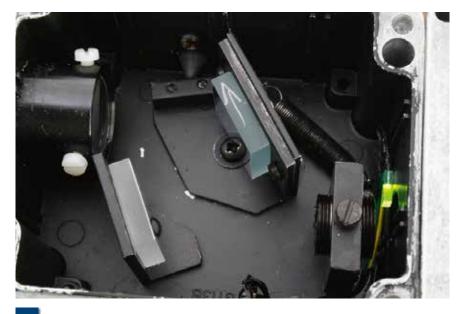
Mittels Umlenkspiegel war zwar so eine optische Spaltüberwachung gegeben, nur passte das zuerst eingesetzte Kameraobjektiv hinsichtlich seiner Brennweite noch nicht. Für die Lodestar gut geeignet erwies sich schließlich ein Achromat der Firma Thorlabs mit 19 Millimeter Brennweite und einem Durchmesser von 12,7 Millimetern, montiert in der Verlängerungshülse zur Aufnahme der Lodestar-Kamera (Abb. 5).

Obwohl nun bei Tageslicht der Spalt sehr schön über die Kamera zu sehen war, stellte sich bei den ersten Versuchen am Teleskop heraus, dass ein Guiding ohne Spaltbeleuchtung als Einstellhilfe unmöglich war. Dieses Problem löste ich, indem ich im Gitter-Raum des Spektrografen knapp neben dem Spalt eine Leuchtdiode





Blick in die Autoguidingkamera-Anschlusshülse mit dem Achromaten zur Spaltabbildung



Spektrografenbox mit Leuchtdiode (rechts) zur Hinterleuchtung des Spalts



Elektroverteilerbox für die Steuerung und Helligkeitsanpassung der Spalthinterleuchtung mittels einer LED befestigte, die ich mit Hilfe meiner 12V-Verteilerbox dimmbar machte. Der obligatorische Vorwiderstand für die LED (in diesem Fall: 560 Ohm) wurde direkt daneben an die Gehäusewand geklebt.

In Abbildung 6 ist rechts gut zu erkennen, dass die Kollimatorlinse in einem Gewindestück montiert, fein justierbar und mit einer Kunststoffschraube fixierbar eingesetzt wurde.

Die verwendete Elektroverteilerbox ist in Abbildung 7 zu sehen. Hier ist das Versorgungskabel für die LED angeschlossen. Ihre Helligkeit kann über ein Poti eingestellt werden. Mit dem Schalter kann die Spaltbeleuchtung nach dem Justieren des Sterns auf dem Spalt ausgeschaltet werden.

Auf diese Art gestaltet sich die Positionierung des zu analysierenden Sterns auf dem Spalt recht einfach.

Noch nicht gut gelöst ist die Gestaltung des Gesamtgehäuses und die Verwendung eines 1,25"-Stutzens für den Okularauszug. Ferner würde ich gerne anstatt der Mikrometerschraube einen Schrittmotorantrieb mit µC-Auswertung der gefahrenen Wegstrecke einsetzen, doch zu dem Zweck möchte ich den gesamten Spektrografen neu aufbauen.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] Internetseite von Daniel Sablowski: http://hobbysternwarte-ploesen. de.tl/
- [2] http://spektroskopie.fg-vds.de/

# Spektrografen-Selbstbau mit Leichtbau-Werkstoffen

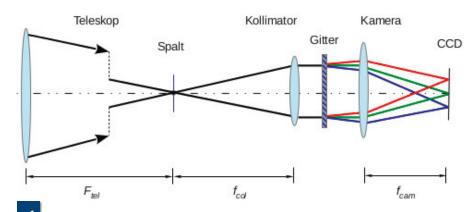
von Sander Slijkhuis

Kommerzielle Spektrografen sind nicht gerade billig und meistens für eine bestimmte Anwendung optimiert. Selbstbau bietet eine gute Gelegenheit, für weniger Geld genau das Gerät zu bekommen, das man haben möchte. Außerdem hat man die Möglichkeit, das Design so flexibel zu gestalten, dass eine Änderung der Spektrografeneigenschaften (z. B. die Auflösung) ohne allzu viel Aufwand möglich bleibt.

Selbstbau erfordert weder besonders gro-Bes handwerkliches Geschick, noch eine professionelle Werkstatt. Meine elektrischen Werkzeuge beschränken sich auf eine Handbohrmaschine auf Bohrständer (notwendig) und eine elektrische Laubsäge (Luxus). Handwerkliches Ungeschick bzw. mangelnde Präzision kann man dadurch kompensieren, dass man ein Spektrografendesign mit möglichst großen Toleranzen wählt. Sobald der Spektrograf einen Spalt mit Nachführeinheit haben soll (welche einigen Platz braucht) oder eine höhere Auflösung gewünscht ist, sorgt die Notwendigkeit von größeren Toleranzen dafür, dass das Spektrografengehäuse schnell relativ groß wird. Es wird dann problematisch, die nötige Steifheit zu bekommen, ohne dass das Gewicht exzessiv zunimmt. Holz hat zwar ein relativ günstiges Verhältnis von Gewicht zu Steifheit, verzieht sich aber schnell und ist daher weniger geeignet für große Flächen. Moderne Leichtbauwerkstoffe aus Aluminium oder Verbundmaterialien bieten hier eine bessere Lösung, sind allerdings etwas schwieriger zu verarbeiten.

### Spektrografendesign: "bigger is better"

Ein wenig Mathematik zeigt, wieso bei zunehmender Teleskopöffnung ein optimal ausgeleuchteter Spektrograf gerne mal an Umfang zunimmt. Die Größe des Spektrografen hängt maßgeblich von den Brennweiten von Kamera und Kollimator ab (Abb.1). Das optimale Design wird von vielen, zusammenhängenden Parametern bestimmt. Eine vollständi-



Optische Elemente eines klassischen Gitterspektrografen. Die divergenten Lichtbündel aus dem Teleskop werden vom Kollimator parallelisiert und nach Dispersion von der Kameralinse auf dem CCD fokussiert.

ge Beschreibung findet sich auf meiner Homepage [1]. Die benötigten Brennweiten hängen vorwiegend von der Brennweite des Teleskops, von der gewünschten spektralen Auflösung und von der Pixelgröße des CCD-Chips ab.

Ein Rechenbeispiel zu meinem SMAGS-Spektrografen [1] an einem C9-Teleskop verdeutlicht diesen Zusammenhang. Das Design ist angelehnt an den MERIS-Spektrografen von Christian Buil [2]. SMAGS kann für mehrere Auflösungen konfiguriert werden. Für die niedrige Auflösung benutze ich ein 30 Millimeter großes Gitter von Edmund Scientific mit 600 Linien pro Millimeter. Mit einer Kameralinse von 85 Millimeter Brennweite reicht das Spektrum von ca. 425 bis 670 Nanometer. Es beinhaltet damit das für die spektrale Klassifikation wichtige G-Band sowie Hα (Abb. 4). Wellenlängen unterhalb von 420 Nanometer betrachte ich als weniger sinnvoll wegen der hier geringen CCD-Quanten-Effizienz und der abnehmenden Gittereffizienz. Die Pixelgröße des CCD beträgt neun Micron. Für eine optimale Auflösung soll der 50 Micron breite Spalt auf ca. zwei Pixel abgebildet werden (zwei Pixel sind eigentlich zu wenig, um "undersampling" vorzubeugen, dies ist aber vertretbar solange das Signal-Rausch-Verhältnis nicht hoch sein soll [3]). Der Vergrößerungsfaktor der Spaltabbildung ist  $f_{cam} / f_{col}$  (Symbole

siehe Abb. 1). Deshalb hat der Kollimator (ein 50-mm-Achromat von Thorlabs) eine Brennweite von 200 Millimetern. Die Länge des optischen Wegs ist damit beträchtlich: sechs Zentimeter für Spalt und Nachführeinheit, 20 Zentimeter vom Spalt zum Kollimator, 15 Zentimeter vom Spalt zum Reflektionsgitter; ab hier geht der Lichtweg wieder zurück. Zudem kommen noch zehn Zentimeter für einen integrierten Klappspiegel hinzu, insgesamt also 51 Zentimeter. Deshalb wird zwischen Spalt und Kollimator der Lichtweg mittels eines zusätzlichen Spiegels gefaltet, so dass der Lichtweg vom Teleskop zur Kamera die Form eines Z hat (siehe Abb. 2). Die Bodenplatte des Spektrografen misst damit 35 mal 27 Zentimeter (ein paar Zentimeter sind extra eingeplant, damit optional ein längerer Kollimator eingebaut werden kann).

Für eine kürzere Bauweise bräuchte man einen engeren Spalt oder einen kleineren Kollimator samt Kamera oder einen kleineren Abstand zwischen Kollimator und Gitter. Aber jede von diesen Alternativen verringert die Lichtausbeute. Am C9 mit 2350 Millimetern Teleskopbrennweite entspricht ein 50 Micron breiter Spalt 4,4 Bogensekunden. Hat das Seeingscheibchen eine Halbwertsbreite von 4,4", blockt der Spalt immerhin noch 24 % des Lichts; bei einem mittlerem Seeing von 3,2" (eher selten am C9 bei Langzeitbelichtungen

von 10-15 Minuten) würde der Spalt noch 5 % abblocken. Ein "focal reducer" am C9 würde einen engeren Spalt erlauben, aber ein schnelleres Öffnungsverhältnis reduziert die Toleranzen stark, und der Backfokus wird sehr eng. Eine Reduzierung der Kamerabrennweite bräuchte ein Gitter mit höherer Liniendichte, aber dies hätte eine geringere spektrale Bandbreite (die Effizienz wäre an den Spektrumrändern deutlich geringer), und viel mehr als 1800 Linien pro Millimeter sind für einen klassischen Spektrografen nicht möglich, weil der Einfallswinkel auf dem Gitter zu groß wird. Eine Reduzierung des Abstands zwischen Gitter und Kollimator erfordert engere Toleranzen und/ oder einen größeren Austrittswinkel am Gitter, was die Effizienz ebenfalls reduzieren würde.

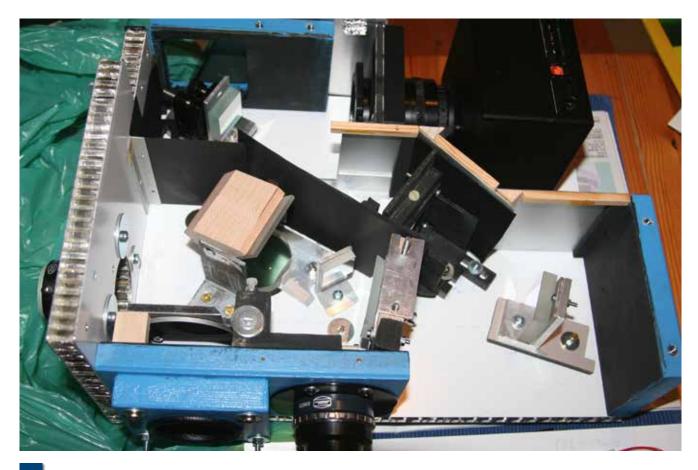
#### Konstruktion mittels Alu-Wabenplatten

Kommerzielle Spektrografengehäuse sind meist aus gefaltetem Metallblech hergestellt. Dies ist aber schwer selbst herzustellen, zumal bei einem größeren Kasten auch eine ausreichende Steifheit erzielt werden muss. Wabenplatten aus Aluminium bieten eine hervorragende Steifheit bei geringem Gewicht. Der Nachteil ist, dass kleinere Mengen davon schwer zu bekommen sind (Platten im Großhandelsformat sind riesig und teuer), und anders als bei Holz oder gefaltetem Blech können die Seiten nicht verschraubt werden (die Wabe selber ist papierdünn). Nur die Oberflächenplatten erlauben Verschraubungen (da auch diese relativ dünn sind, braucht man immer breite Unterlegscheiben damit die Platte nicht eindellt). Man braucht daher ein Design, bei dem die Seiten möglichst geringer Belastung ausgesetzt sind, ansonsten müssen andere Materialien die Kräfte übernehmen.

Bei meinen Spektrografen hat sich folgende Konstruktion bewährt: Eine 15 Millimeter starke ALUCORE-Platte bildet eine selbsttragende optische Bank, auf der alle Optiken samt Kamera montiert sind (mit Ausnahme der Nachführkamera). Der Rest vom Spektrografengehäuse

dient hauptsächlich dazu, diese Bodenplatte fest mit dem Teleskop zu verbinden und den Kasten lichtdicht zu bekommen. Auch die Frontplatte, an dem der Flansch mit T2-Gewinde zum Teleskop befestigt ist (ein von Gerd Neumann modifizierter Deckel des T2-Filterschiebers), ist aus 15 Millimeter dickem ALUCORE. Befestigt wird diese an der Bodenplatte mittels außerhalb angebrachter Buchenholzklötze (Bild 3). Auch der (abnehmbare) Deckel wird mit solchen Holzklötzen an der Frontplatte befestigt. Die übrigen drei Seiten vom Kasten dienen dann hauptsächlich nur noch der Verbindung von Bodenplatte und Deckel zu einer biegesteifen Sandwichkonstruktion - sie sind keinen großen Kräften ausgesetzt. Die Hinterseite ist festgeschraubt, die zwei anderen Seiten haben teilweise eine abnehmbare Alublech-Abdeckung, die Zugang zum Spalt oder zur drehbaren Gitterhalterung bietet.

Trotz einer Gesamtoberfläche von ca. 3300 Quadratzentimetern hat der SMAGS-Kasten ein Gewicht von "nur" 2,8 Kilogramm.



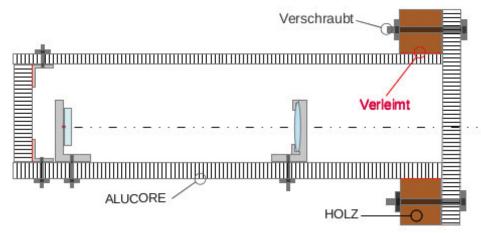
Das Gesamtgewicht, inklusive Optik(-halterungen) und Kameras, beträgt immerhin knapp sieben Kilogramm.

Der Spektrograf wird mittels einer 2"-Steckverbindung am Teleskop (an einem Baader Clicklock) befestigt. Weil er nicht um die optische Achse ausbalanciert ist, verdreht er sich leicht. Deshalb wird er noch mit zwei Schrauben an der verlängerten Prismenschiene des Teleskops gesichert.

#### **Weitere Details**

Ich bevorzuge eine fest an der Bodenplatte montierte Kamera. Als Kameralinse dient ein Kleinbildobjektiv, das mit der Kamera verschraubt wird. Dies hat manche Vorteile: die optische Qualität ist gut, die Zentrierung der Linse ist perfekt, das Objektiv (die Brennweite) ist einfach auszuwechseln und die Fokussierung ist sehr einfach. Ein Nachteil ist aber, dass die Objektivlänge vom Fokuspunkt abhängt. Deshalb kann das Objektiv nicht fest an der Spektrografenwand befestigt werden, was ein Problem mit Streulicht verursacht. Mittels einer mehrfachen Lichtfalle (Labyrinth) wird das Problem aber stark reduziert.

Eine saubere Abbildung des Spektrums ist nur dann möglich, wenn die Optik gut ausgerichtet ist; d. h. dass die optische Achse vom Teleskop durch den Spalt durch das Zentrum der Linsen gehen muss und dass die Linsen genau senkrecht zum Lichtweg stehen. Ein Prüflaser, der fest auf der optischen Achse befestigt wird, ist daher ein Muss. Auch deshalb habe ich den Spektrografen mittels eines



3

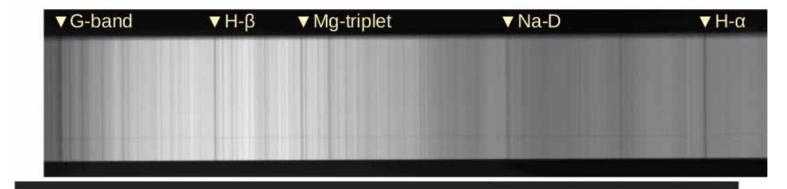
Querschnitt durch mein aus Aluminiumwaben aufgebautes Spektrografengehäuse (Konstruktionsprinzip)

T2-Adapters am Teleskop befestigt: Am T2-Gewinde kann statt des Teleskops ein 1,25"-Adapter für den Laser befestigt werden. Die genaue Prozedur zum Ausrichten und Fokussieren findet sich auf der SMAGS-Homepage [1]. Toleranzen spielen hier eine große Rolle: Bei der Kollimatorlänge des SMAGS hat man für ein f/10-Lichtbündel eine Zentriertoleranz von bis zu einem Millimeter. Bei f/5 wäre dies deutlich weniger. Für Selbstbauer sollten Genauigkeiten von einem Millimeter machbar sein, außerdem ist es sinnvoll, die Montage der Optik immer so gestalten, dass noch eine Feinjustierung möglich ist.

Abbildung 4 belegt die gute Justierung der Optik. Der voll ausgeleuchtete Spalt wird fast ohne Krümmung ("smile") abgebildet, was die Symmetrie um die optische Achse verrät. Der punktförmige Stern wird ohne Astigmatismus scharf in Dispersionsrichtung und senkrecht darauf fokussiert.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] Meine Homepage, http://sunkenmill-observatory.jimdo.com
- [2] C. Buil: www.astrosurf.com/buil/ spectrographs.htm, "MERIS spectrograph"
- [3] S. Slijkhuis: Spektrum 43, S. 21, Hrsg. Pollmann (2012) http:// astrospectroscopy.de, "Magazine"



# Amateur-Astrospektroskopie mit einem Laborgitterspektrografen

von Ulrich Waldschlaeger

#### Einleitung

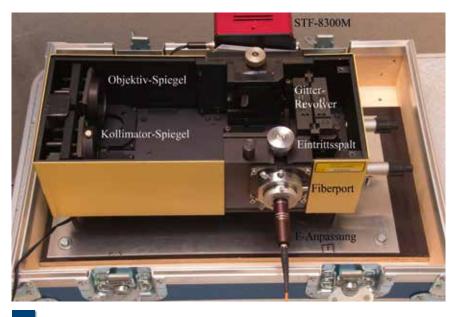
Es war etwa Ende 2010, als ich nach langer Pause mit 49 Jahren wieder den Einstieg in die aktive Amateurastronomie fand. Relativ schnell wuchs in mir dann das Bedürfnis, mich stärker der wissenschaftlichen Seite dieses Hobbys zuzuwenden. Da ich beruflich als Physiker im Gerätebau (Röntgenspektroskopie) tätig bin, war der Weg zur Astrospektroskopie schnell gefunden. Die Entscheidung für die Art meines Einstiegs in die Spektroskopie wurde dann durch den Sachverhalt geprägt, dass ich Anfang der 1990er-Jahre bei einer Betriebsauflösung im Bereich der neuen Bundesländer einen Laborgitterspektrografen OVA 284 erworben hatte. Die etwas gewagte Ausgangsidee bestand also in der Kopplung eines professionellen Spektrografen an mein 10" SCT LX200. Dass aus der Idee relativ schnell Realität wurde, ist vor allem auch den vielen hilfreichen Informationen im Forum der Fachgruppe Spektroskopie zu verdanken. Insbesondere die dort beschriebenen Lösungen und Erfahrungen bei der Faserkopplung von Spektrografen an ein Teleskop, bestärkten mich in dem Entschluss, eine solche Lösung für mein System in Angriff zu nehmen.

#### Der Laborgitterspektrograf OVA 284

Abbildung 1 zeigt den von mir für die Astrospektroskopie modifizierten Spektrografen mit abgenommenem Deckel. Die Abkürzung OVA steht für "Optischer

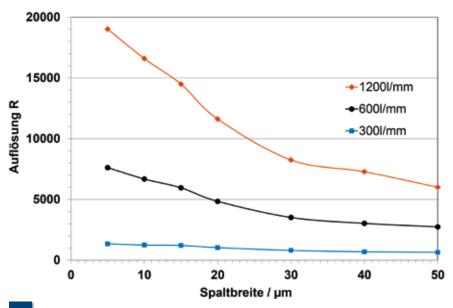


Klappspiegel am Spektrografendeckel, links oben der Spot auf der CCD bei Verwendung des Spiegels

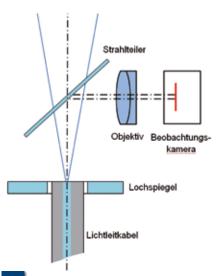


Hauptkomponenten des Spektrografen OVA 284 in der Draufsicht

Vielkanal-Analysator". Der Spektrograf wurde in den 1980er-Jahren vom Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie (ZOS) der Akademie der Wissenschaften der DDR entwickelt und später vom Zentralen Wissenschaftlichen Gerätebau (ZWG) der Akademie in Serie gebaut. Der OVA 284 ist ein klassischer f/10-Czerny-Turner-Spektrograf mit rechtwinkligem Ein- und Austritt an den Seiten. Zu den Besonderheiten des Instruments gehört ein Revolver, mit dem man zwi-



Auflösungsvermögen R in Abhängigkeit von der Spaltbreite für die drei Gitter des OVA 284 in Verbindung mit der CCD-Kamera STF 8300







Fiberport mit Strahlteiler, Beobachtungskamera, OAG, Guider-CCD und Focal Reducer

schen zwei Gittern wechseln kann. Der OVA 284 verfügt insgesamt über drei Gitter (50 x 50 mm<sup>2</sup>) mit 300, 600 und 1200 Linien pro Millimeter, die über einen Klippmechanismus relativ einfach ausgewechselt werden können. Um den Spektrografen für die Astrospektroskopie nutzbar zu machen, wurden eine Reihe kleinerer Modifikationen vorgenommen. Zuerst entstand mit Hilfe einer ausgedienten Kondensoraufnahme eines alten Lichtmikroskops ein justierbarer Fiberport am stufenlos verstellbaren Eintrittsspalt des Spektrografen. Diese Vorrichtung ermöglicht es, den Faserkern des Lichtleiters präzise auf die Mitte



Sirius-Kuppel mit Teleskop und Spektrometer

des Spalts zu positionieren. Im zweiten Schritt wurde ein Klappspiegel so in den Deckel des Systems integriert, dass man ihn bei Bedarf vor das Gitter schwenken kann (s. Abb. 2). In dieser Position des Spiegels wird die dispersive Wirkung des Gitters abgeschaltet und das Licht aus dem Lichtleiter spektral unverändert auf einen deutlich kleineren Bereich des CCD-Chips abgebildet als mit Gitter. Mit diesem Spot (Abb. 2 links oben eingeblendet) ergibt sich insbesondere für lichtschwache Objekte eine wesentlich einfachere Kontrolle aller Einflussfaktoren auf die Photonenausbeute wie Faserpositionierung, Fokussierung, Guiding und Belichtungszeit. Für die Erfassung der Spektren am Ausgang des Gerätes wird eine monochrome, peltiergekühlte Astro-CCD-Kamera STF 8300M mit KAF-8300-Chip benutzt.

## Spektroskopische Leistungsparameter des OVA 284

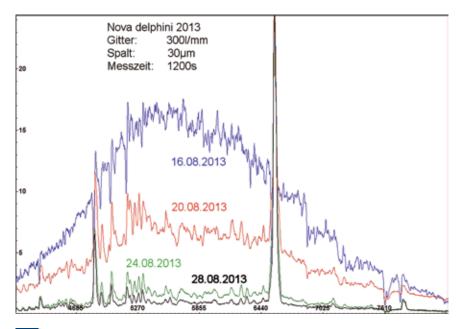
Vor dem eigentlichen Einsatz des Spektrografen in der Astrospektroskopie erfolgte die Bestimmung des spektralen Auflösungsvermögens für die verschiedenen Gitter und Spaltbreiten. Dazu wurde mit einem 50-µm-Quarzlichtleiter das Licht einer Starterglimmlampe "Relco SC480" [1] am Spalt des OVA 284 eingekoppelt. Die Datenerfassung und Vorverarbeitung erfolgte mit dem Programm Astroart 5.0, die Datenreduktion und Parameterbestimmung mit dem Programm Vspec in der Version 4.1.4. In Abbildung 3 ist das spektrale Auflösungsvermögen R für die Ne-Linie 6506,53 Ångström in

Abhängigkeit der Spaltbreite für die drei Gitter des OVA 284 grafisch dargestellt.

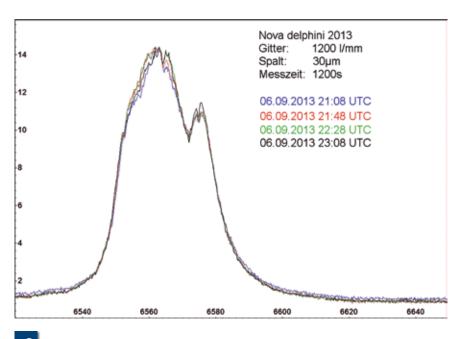
#### Faseranbindung am Teleskop

Eine besondere Herausforderung stellt die Positionierung der Lichtleitfaser in die Fokalebene des Teleskops dar. Dieser sogenannte Fiberport muss gleichzeitig mehrere Funktionen erfüllen, die sich dabei aber gegenseitig etwas im Wege stehen. Auf der einen Seite braucht man die Bildinformation über den ausgewählten Himmelsabschnitt, um sich orientieren und die Teleskoppositionierung kontrollieren zu können. Andererseits muss aber der ausgewählte Stern in der Fokalebene präzise auf den Faserkern positioniert werden.

Für diese Aufgabe gibt es eine Vielzahl von Gestaltungsvarianten ([2], [3]) die verschiedene Vor- und Nachteile besitzen. In Abbildung 4 ist eine schematische Darstellung des derzeit verwendeten Fiberports gezeigt. Bei dieser Bauform wird das Faserende über einen aus einem Mikroskop-Deckgläschen bestehenden Strahlteiler senkrecht mit einer CCD-Kamera Watec120N+ beobachtet. Die beiden Reflexionsanteile an den Grenzflächen der Glasplatte reichen für eine komfortable Abbildung vollkommen aus, während sich gleichzeitig die Verluste für das Sternlicht auf dem Weg zur Faser in Grenzen halten. In dieser Anordnung kann man auf der polierten Oberfläche und auf dem Lochspiegel die Positionierung des Zielsterns kontrollieren. Die präzise und langzeitstabile Positionie-



Zeitlicher Verlauf der Nova Delphini



8 Messreihe der H-alpha-Linie der Nova Delphini über zwei Stunden hinweg

rung des Zielsterns auf den Faserkern erfolgt dann mit einem Off-Axis-Guider (TSOAGT2) und separater Guidingkamera (LodestarM).

Das für die Spektroskopie verwendete Teleskop ist ein 10" SCT LX200 ACF (s. Abb. 5) mit f/10-Geometrie am Ausgang. Bei allen bisherigen Messungen wurde der Strahlengang aber bereits vor dem Off-Axis-Guider mit einem Focal Reducer auf f/6,3 abgeändert, um eine bessere Anpassung an das 50-Micron-Lichtleit-

kabel zu haben. Abbildung 6 zeigt das gesamte Teleskopinterface mit Strahlteiler, Beobachtungskamera, Off-Axis-Guider (OAG) und Focal Reducer.

#### Parameteroptimierung

In der Amateur-Astrospektroskopie herrscht selten ein Überschuss an Photonen, insbesondere dann nicht, wenn man hohe spektrale Auflösungen erreichen will. Eine der wichtigsten Aufgaben besteht darum in einem möglichst verlustarmen Transport des Lichts vom Teleskop in das Spektrometer und von dort über dessen Strahlengang in eine CCD-Kamera mit möglichst hoher Quanteneffizienz. Bei optischen Systemen, die wie in diesem Fall ursprünglich nicht füreinander bestimmt waren, wird das schnell zu einer ernsthaften Herausforderung. An dieser Stelle sollen Probleme und Lösungsansätze nur kurz umrissen werden.

Die maximale Auflösung des Spektrometers wird für Spaltbreiten unter 20 Micron erreicht (s. Abb. 3). Im Idealfall transportiert man also den größten Teil des Sternbildes aus der Fokalebene des Teleskops durch den Spalt des Spektrometers. Gleichzeitig darf der Öffnungskegel des Lichtes hinter dem Spalt die f/10-Eintrittsgeometrie mit dem Kollimatorspiegel nicht überstrahlen. Bei Verwendung eines 0,63-Focal-Reducers ergibt sich an diesem Teleskop bei üblicher Nachführqualität und Seeing eine Sternabbildung mit einer Halbwertsbreite von ca. 40 Micron. Könnte man diesen Stern direkt auf den Eintrittsspalt von 20 Micron abbilden, müsste man für eine hohe spektrale Auflösung also bereits erhebliche Verluste in Kauf nehmen. Durch die Faserkopplung von Teleskop und Spektrometer wird dieses Problem sogar noch verschärft.

Aufgrund der Verhältnisse zwischen Sternabbildung in der Fokalebene und Spaltbreite wurde für den Lichtleiter eine 50-Micron-Quarzfaser (2 m) der Firma Thorlabs ausgewählt. Zu den Besonderheiten von Lichtleitern gehört, dass die Eintrittsdivergenz des Strahlengangs am Eingang der Faser bis zum Ausgang des Lichtleiters durch eine F-Zahl-Degradation [4] (engl. Focal Ratio Degradation) merklich erhöht wird. Aus der f/6,3-Geometrie in der Fokalebene wird am Ausgang der Faser schnell eine f/4-Geometrie, die dann von der f/10-Geometrie am Eingang des Spektrografen nur noch teilweise weitertransportiert wird. Um den damit unweigerlich verbundenen Lichtverlusten vorzubeugen, wird der Faserausgang im vorliegenden Fall über eine zweifache f-Anpassung (s. Abb. 1) auf den Eintrittsspalt abgebildet. Dabei sind die Verluste durch die vergrößerte Faserabbildung auf den Spalt kleiner als der Gewinn durch die bessere f-Anpassung hinter dem Spalt. Außerdem bietet diese Variante für die Zukunft noch die

Option, über einen sog. "Image Slicer" [5] das Bild des Faserausgangs deutlich besser an den Spalt anzupassen.

## Erfahrungen in der Astrospektroskopie

Trotz der nicht optimalen Kopplung von Spektrograf und Teleskop wurden im Jahr 2013 eine Vielzahl von Spektren aufgenommen, bearbeitet und soweit wie möglich ausgewertet. Dabei konnte durch die bereits beschriebenen Verbesserungen des Systems, aber auch durch einen immer sorgfältigeren Umgang mit allen Einflussfaktoren, die spektroskopierte Grenzgröße von 4 auf 7 erhöht werden. Unbedingt erwähnt werden muss auch, dass zu den wichtigsten Verbesserungen des gesamten Systems im Jahr 2013 die Anschaffung einer gebrauchten Astrokuppel gehörte (s. Abb. 5). Abgesehen von den prinzipiellen Vorteilen einer dauerhaft stationären Teleskopmontierung bietet eine Kuppel einen Windschutz, der insbesondere für die präzise Nachführung der Faser auf die Sternposition von unschätzbarem Vorteil

Besonders erfreulich war es dann im August 2013 für den Autor, dass die Vielzahl der Maßnahmen und Umbauten gerade rechtzeitig abgeschlossen waren, um bei der Spektroskopie der Nova Delphini dabei zu sein. Abbildung 7 zeigt exemplarisch vier Spektren, die zwischen dem 16. und 28. August 2013 aufgenommen wurden. Genutzt wurde hierfür das 300er-Gitter bei einer Messzeit von 600 Sekunden für die erste Messung

und 1200 Sekunden für alle weiteren Messungen. Deutlich erkennbar ist hier der Übergang von einem Spektrum mit ausgeprägten P-Cygni-Profilen zu einem Spektrum (28.08.2013), das primär durch eine H-alpha-Emission dominiert wird. Zu diesem Zeitpunkt war die Helligkeit der Nova bereits wieder auf rund 6,5 mag abgefallen.

In der Nacht vom 6. auf den 7. September 2013 entstand dann noch eine Messreihe mit der Fragestellung, ob man innerhalb weniger Stunden eine Variation im Bereich der H-alpha-Linie sehen könne. Für diese Messungen wurden das 1200er-Gitter, eine Spaltbreite von 30 Micron und eine Messzeit von 1200 Sekunden verwendet. Abbildung 8 zeigt vier von insgesamt zwölf Spektren aus dieser Serie über einen Zeitraum von zwei Stunden. Inwieweit die sichtbaren Variationen im Spektrum tatsächlich auf physikalische Vorgänge in der Sternhülle zurückzuführen sind, kann der Autor aufgrund fehlender Erfahrungen hier nicht sagen.

#### **Fazit**

Durch die Faserkopplung eines professionellen Laborgitterspektrografen mit einem Amateurteleskop konnte ein Messplatz für astrospektroskopische Untersuchungen von Sternen bis ca. 7. Magnitude geschaffen werden. Die noch vorhandenen Defizite in der Optimierung verschiedener Komponenten lassen eine weitere Verbesserung des Systems möglich erscheinen. Ein persönliches Fazit an dieser Stelle ist die faszinierende Erkenntnis,

dass für mich durch die Astrospektroskopie die "Lichtpunkte" meiner früheren visuellen und fotografischen Beobachtungen, eigentlich jetzt erst zu Sternen geworden sind.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] Richard Walker: Glimmstarter RELCO SC480 Atlas der Emissionslinien V 2.0, 2013, www.ursusmajor.ch/downloads/ sques-relco-sc480-eichlinien-2.0.pdf
- [2] CAOS Homepage (2013):
  http://spectroscopy.wordpress.
  com/2010/12/ 30/linking-atelescope-to-a-spectrographthrough-an-optical-fibre-part-ii/
- [3] Daniel Sablowski: Zur Lichtwellenleitereinkopplung, Spektrum 42, 1/2012, 11-13
- [4] Vincent van Assen: Focal Ratio Degradation in Optical Fibres, Bachelor Work University of Groningen, 2011
- [5] Daniel Sablowski: Simple Image Slicer, Spektrum 43 2/2012, 14-16

Anzeige



### Bahtinovmasken für Fotoobjektive

Endlich können Sie auch Ihre Fotoobjektive mit einer Bahtinovmaske fokussieren! Durch die hohe Zahl an feinen Schlitzen entsteht ein sehr kontrastreiches Beugungsmuster, das eine zuverlässige Fokussierung ermöglicht!

Maske aus Metall in einer hochwertigen Schraubfassung.

Verfügbar in allen gängigen Größen von M49 bis M105

Preis ab EUR 39,50 (inkl. 19% Ust.)

Alles rund um Astrofotografie www.gerdneumann.net

Dipl. Ing. Gerd Neumann, Neumann-Reichardt-Str 27-33; Hs 4; D-22041 Hamburg; Fon: 040/694 638 93, eMail: info@gerdneumann.net

## Echelle-Spektroskopie für Amateure?

von Berthold Stober

Echelle-Spektrografen arbeiten zweidimensional. Das Spektrum eines Objekts wird im gesamten optischen Wellenlängenbereich in einem Schuss in hoher Auflösung aufgenommen, aber in viele Ordnungen linear aufgeteilt (Abb. 7). Bis vor wenigen Jahren war die Echelle-Spektroskopie eine ausschließliche Domäne der professionellen Beobachter. Mich hat als Amateur gereizt zu untersuchen, ob Echelle-Spektroskopie auch für Nicht-Fachleute machbar ist.

#### Meine Gründe, mich mit Echelle-Spektrografen zu befassen, waren:

- Die technische Herausforderung, ein solches Gerät bauen und bedienen zu können.
- Mit dem Gerät ist der gesamte sichtbare Spektralbereich mit hoher Auflösung darstellbar.
- 3. Keine Verstellnotwendigkeiten und

-möglichkeiten im praktischen Einsatz. Somit immer eine konstante Auflösung über den gesamten Spektralbereich.

Einen funktionsfähigen Echelle-Spektrografen selbst zu bauen, stellt erhebliche Anforderungen, die ich zwar grundsätzlich lösen konnte. Allerdings bin ich nicht so weit gekommen, dass eine dauerhaft routinemäßige Anwendung zustandekam. Über die vielen Versuche kann ich vielleicht ein anderes Mal berichten. Hier möchte ich über meine Erfahrungen im Umgang mit dem fasergekoppelten Echelle-Spektrografen der Firma Shelyak berichten und dabei meine eigenen Versuche nur kurz streifen.

#### **Apparatives**

Die fasergekoppelte Echelle-Spektroskopie setzt drei apparative Einheiten voraus.

- 1) den Echelle-Spektrografen (Abb. 1)
- 2) eine Vorrichtung im Fokus des Teleskops, die das Licht aus dem Teleskop in die Glasfaser einkoppelt, die sogenannte "fiberinjection" (Abb. 2)
- die Kalibriereinheit (Abb. 3) zur Bereitstellung von Flatlicht und Kalibrierlicht.

Der "eShel"-Spektrograf selber kommt als ein geschlossener Kasten, an dem das Echelle-Gitter um seine Längs- und Querachse verstellt werden kann. Diese Justierung muss nur einmal gemacht werden. Änderungen während des Betriebes sind nicht notwendig. Das aus der Faser kommende Licht passiert einen Linsensystem-Kollimator, der den divergenten Lichtstrahl parallelisiert, und beleuchtet danach ein sogenanntes Echelle-Gitter. Das ist ein mit relativ wenigen





Echelle-Spektrograf der Fa. Shelyak, Typ "eShel", mit Fasereintritt (links) und CCD-Kamera (oben).

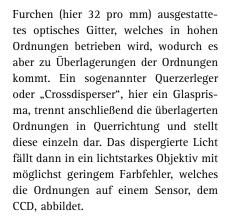


2

Fasereinkopplungs-Einheit der Fa. Shelyak am Teleskop ("fiberinjection" = weißes Gehäuse)



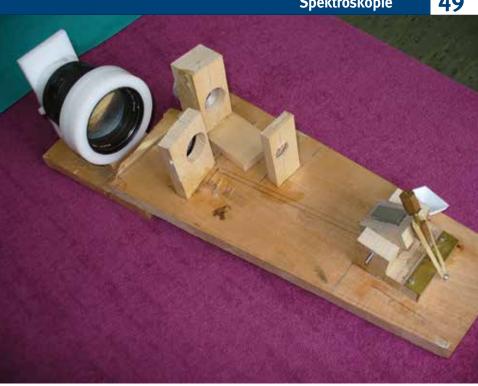




Voraussetzung für eigene Konstruktionsversuche eines Echelle-Spektrografen war die Entwicklung einer Berechnungsroutine für diese Geräteklasse. Diese wurde mir von Dr. Klaus Vollmann zur Verfügung gestellt, der ebenfalls Mitglied in der Fachgruppe Spektroskopie ist.

Mein Prototyp war zunächst wegen der leichteren Bearbeitbarkeit aus Holz gefertigt (Abb. 4). Zunächst in f/10-Ausführung als direktgekoppelter Spektrograf zum direkten Anbau im Teleskopfokus. Dadurch wurden zunächst nur klein dimensionierte, optische Bauelemente notwendig.

An diesem Prototyp habe ich meine ersten Erfahrungen mit der Echelle-Spektroskopie gemacht. Mit dem Ergebnis, dass das Echelle-Prinzip auch für Amateure handhabbar ist. In Abbildung 4 lässt sich recht gut das Prinzip

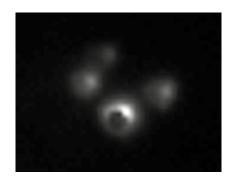


Prototyp eines einfachen Echelle-Spektrografen, aus Holz gefertigt

eines Echelle-Spektrografen skizzieren: Oben links sitzt in einem Holzklotz der Lichteintritts-Kurzspalt. Das vom Teleskop über den Spalt kommende Licht passiert die kleine Linse, die als Kollimator wirkt und trifft dann in parallelisierter Form auf das Echelle-Reflexionsgitter. Von diesem wird es dispergiert und passiert den sogenannten Querzerleger oder auch Crossdisperser direkt vor dem Fo-

toobjektiv. Dieser kann ein Prisma oder - wie hier - ein Gitter sein. Anschließend wird das Spektrum durch das sehr lichtstarke Objektiv abgebildet. Hier liegt eines der Hauptprobleme des Echelle-Spektrografen. Die Objektive müssen sich widersprechende Anforderungen möglichst gleichzeitig optimal erfüllen: hohe Lichtstärke einerseits und beste Abbildungsleistung über den gesamten



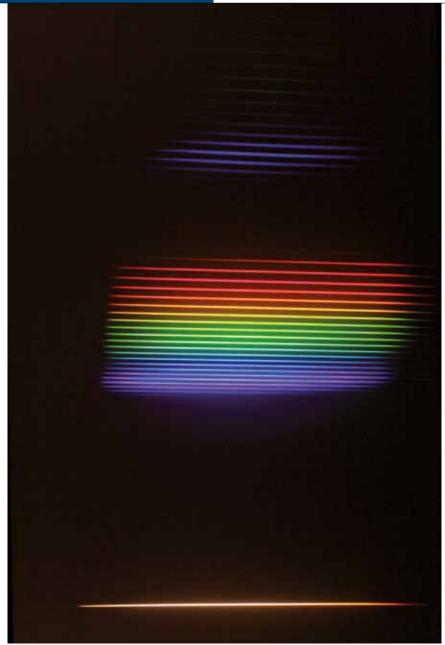


Autoguideraufnahme mit dem Trapezstern the1 Ori C auf dem Pinhole (Fasereintritt)

sichtbaren Wellenlängenbereich andererseits, also geringe Farblängsfehler. Das ist technisch schwer zu realisieren und wird meist nur als Kompromiss – auch finanzieller Art – zu finden sein.

Ein weiteres Problem bei diesem "Holz-Echelle" war das Fehlen eines passenden Kurz-Spaltes. Es stand nur ein 50-Mikrometer-Pinhole zur Verfügung. Hiermit ist keine gute Effizienz bei der Nachführung des Sternbildes auf dem Pinhole im Fokus des Teleskops zu erzielen. Genau wegen dieser Probleme wandte ich mich dann der glasfasergekoppelten Echelle-Spektroskopie zu. Allerdings zeigte sich, dass eine effiziente Lichteinkopplung in eine Faser von 50 Mikrometer für Amateure nur schwierig zu bewerkstelligen ist. Die französische Firma Shelyak bietet eine solche "fiberinjection" fertig an, die ich dann auch gekauft habe. Es folgte daraus die Notwendigkeit, einen passenden Echelle-Spektrografen zu bauen, der aber aus faserbedingten Gründen eine Öffnungsblende von f/4 haben musste, was relativ große optische Bauelemente erforderlich macht, die dann eben auch deutlich kostspieliger wurden.

Wieder aufgrund bequemerer Variationsmöglichkeiten wurde eine Konstruktion mit den Bauelementen eines Metallbaukastens ("Märklin", Abb. 5) aus meiner Jugend gewählt. Da ein Echelle-Gitter von 25 x 50 Millimetern für einen f/4-Spektrografen zu klein ist, wurde ein 45 x 90-Millimeter-Echelle-Gitter verwendet. Der Kollimator hatte 150 Millimeter Brennweite. Als Crossdisperser diente ein 300 L/mm-Reflexionsgitter und als Kameraobjektiv ein f/2 mit 90 Millimetern von Zeiss. Mit diesem Gerät gewann ich



CCD-Echelle-Spektrumaufnahme vom Licht einer Glühlampe (Flatlicht); optisches Durchlichtgitter als Crossdisperser

durchaus brauchbare Echelle-Spektren am Teleskop. Ein Hauptnachteil dieses "Märklin-Echelles" war aber, dass er mechanisch nicht hinreichend stabil gebaut werden konnte. Deswegen entschloss ich mich, den für Amateure entwickelten Echelle-Spektrografen der Firma Shelyak zu kaufen und damit arbeite ich nun seit etwa zwei Jahren.

Der Umgang mit diesem Echelle-Spektrografen ist verhältnismäßig einfach. Die einzige Schwierigkeit besteht darin, den zu untersuchenden Stern genau auf das Pinhole – also das nur etwa 50 Mikrometer große Loch des Spiegels der "fiberinjection" – zu positionieren und auch da zu halten. Hierfür kann man mit einer zweiten Glasfaser diesen Spiegel retro-

grad beleuchten, so dass man das kleine Loch in dem Spiegel der "fiberinjection" mit der Nachführkamera sieht. Ein auf dem Bildschirm des Computers frei verschiebbares Fadenkreuz kann man dann genau auf das Pinhole einstellen und weiß somit auch bei ausgeschalteter Beleuchtung, wohin das Sternbild positioniert werden muss. Letzteres muss möglichst genau auf dieser Position gehalten werden. Das geschieht über eine "eingescheinerte", parallaktische Montierung und eine Guidingkamera. In meinem Fall verwende ich zusätzlich noch einen hochauflösenden Winkelencoder, um das Guiding möglichst genau zu halten. Abbildung 6 zeigt eine Aufnahme des Trapezes im Orionnebel mit der Autoguidingkamera, wobei das Bild des hellsten

Sterns (the 1 Ori C) auf dem Pinhole sitzt (dunkler Fleck).

Zum Schluss dieses kleinen Artikels möchte ich noch einige Aufnahmen zeigen, wie sie bei der Arbeit mit diesem Echelle-Spektrografen entstanden. Weil es mir besonders eindrucksvoll erscheint, zeige ich als erstes in Abbildung 7 eine farbige Flatspektrumaufnahme. Jede Sprosse der Leiter ("les echelles"!) zeigt einen bestimmten Wellenlängenbereich (Ordnung des Echelle-Gitterreflexes). Dieses Spektrum wurde mit einem von mir selbst gebauten Echelle-Spektrografen erstellt. Im Gegensatz zu den weiter unten folgenden Spektren, bei denen die Ordnungen etwas gebogen sind, sind hier die Ordnungen gerade. Das von mir als Crossdisperser eingesetzte, optische Durchlichtgitter erzeugte gerade Ordnungen. Bei den weiter unten folgenden Spektren wurde als Crossdisperser ein Prisma eingesetzt, das gebogene Ordnungen ergibt. Oberflächenvergütete Prismen sind insofern vorteilhafter, weil deren Effizienz höher ist, als die optischer Gitter (geringere Lichtverluste).

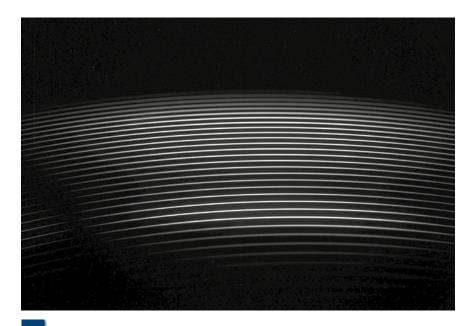
In Abbildung 7 sieht man unten die nullte Ordnung des Spektrums als weiße Linie, welche durch den Crossdisperser erzeugt wird. In der Mitte des Bildes ist das farbige Spektrum der Glühlampe zu sehen. Die im oberen Bildbereich erscheinenden blauen Linien gehören schon zur zweiten Ordnung des Crossdispersers.

Auch bei der Echelle-Spektroskopie werden sogenannte Kalibrierspektren zur Wellenlängenkalibrierung benötigt. Diese können mit einer Thorium-Argon-Hohlkathodenlampe erzeugt werden. Diese Lampe erzeugt sehr viele Emissionslinien, so dass für jede Ordnung ausreichend viele Kalibrierlinien zur Verfügung stehen (Abb. 8). Die Wellenlängen der einzelnen Lichtpunkte in Abbildung 8 in den verschiedenen Ordnungen sind bekannt (Kalibrierspektrum).

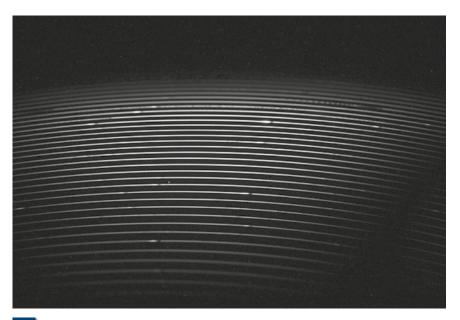
Die Spektren eines Echelle-Spektrografen, bei dem als Crossdisperser ein Prisma eingesetzt ist, hat – wie bereits erwähnt – "gebogene" Ordnungen. Dies sieht man auch deutlich in Abbildung 9, einer zu Abbildung 8 passenden Flatlichtaufnahme.



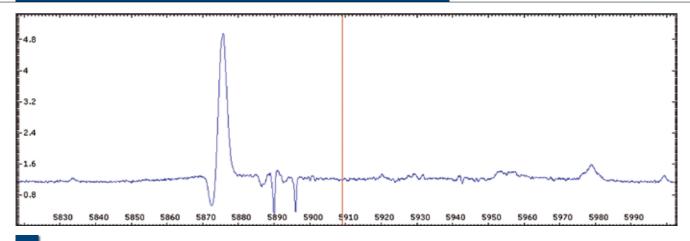
Spektrumaufnahme einer Th-Ar-Hohlkathodenlampe zur Wellenlängenkalibrierung



Flatlicht-Aufnahme



10



Ausschnitt aus dem ausgewerteten Spektrum von P Cyg als Resultat der Messungen (Abszisse: Wellenlänge in Å, Ordinate: relativer, auf das Kontinuum normierter Lichtfluss)

In Abbildung 10 zeige ich eine Spektrumaufnahme des Sterns P Cyg.

Deutlich sind die Wasserstoff- und Heliumemissionslinien zu erkennen und die typischen P Cyg-Profile, die knapp neben den Emissionen auf der kurzwelligen Seite auftretenden Absorptionen. Der Effekt wird durch Absorption im durch den Lichtdruck beschleunigten Sternwind verursacht. Diese zweidimensionalen Spektrenaufnahmen müssen in einer komplizierten Datenreduktionsprozedur ausgewertet werden, die hier aus Platzgründen nicht näher beschrieben werden kann. Dabei entsteht als Resultat ein Graf (Abb. 11), auf dessen x-Achse die Wellen-

länge aufgetragen ist und auf dessen y-Achse der relative, auf das Sternkontinuum normierte Lichtfluss dargestellt wird.

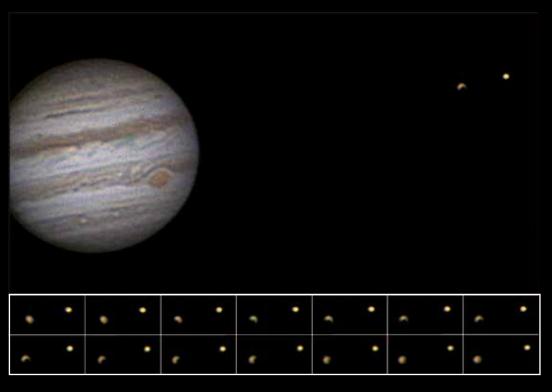
#### **Ausblick**

Letztlich kann die doch ziemlich aufwändige Echelle-Spektroskopie durchaus von engagierten Amateuren angewendet und beherrscht werden. Allerdings ist eine ziemlich intensive Beschäftigung mit der Technik als solcher und der vergleichsweise komplizierten Methodik der Datenreduktion erforderlich. Vorwiegend bedingt durch die im Vergleich zur Direktkopplung weniger effiziente Lichteinkopplung über eine Glasfaser benötigt man relativ große Teleskope, um die Pa-

lette der untersuchbaren Objekte nicht zu sehr einschränken zu müssen.

Allerdings erscheint mir ein solches Vorhaben ohne die Unterstützung erfahrener Sternfreunde als nahezu nicht machbar. Daher möchte ich nicht versäumen, mich bei den Herren Dr. Otmar Stahl (Landessternwarte Heidelberg), Dr. Lothar Schanne, Dr. Klaus Vollmann und Dr. Martin Dubs zu bedanken. Ohne deren engagierte Mithilfe hätte ich den Einstieg in die Echelle-Spektroskopie sicher nicht geschafft.

#### **Impression**



## Verfinsterung Ganymeds durch lo am 12.02.2015

Silvia Kowollik nutzte ein Maksutov-Teleskop 150 mm/ 1.800 mm mit 2-facher Barlowlinse und eine ALCCD5L-IIc (Video). Aufnahme mit Firecapture, Bildbearbeitung mit AutoStakkert und GIOTTO, Animationserstellung mit VirtualDub. Die beiden unteren Reihen zeigen den Schattenwurf von Io auf den Mond Ganymed, von links oben nach rechts unten. Beginn der Verfinsterung auf Bild 1 um 21:45:22 UT, Ende der Verfinsterung auf Bild 14 um 21:50:26 UT (jeweils Mitte der Videosequenzen).

# Ziele und Aktivitäten der Fachgruppe Spektroskopie (FGS)

von Daniel Sablowski, Lothar Schanne (Fachgruppenredakteure des VdS-Journals) und Rainer Borchmann (gewählter Sprecher der FG Spektroskopie)

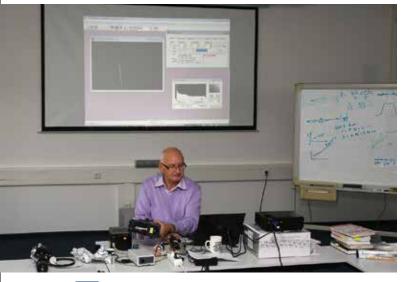
Die Fachgruppe Spektroskopie (FGS) wird von außen vornehmlich durch ihre Internetseite [1] und ihr Internetforum [2] wahrgenommen. Im Forum finden und sammeln sich Interessierte aus dem deutschsprachigen Raum, aber auch aus anderen Ländern bis nach China. Deshalb ist das Forum deutsch- und englischsprachig. Derzeit sind wir 300 eingetragene und schreibberechtigte Nutzer (Stand: September 2014). Hier werden alle möglichen Themen besprochen, Ergebnisse vorgestellt und diskutiert und viele technische Fragen über den Bau von Spektrografen und peripheren Einrichtungen gelöst. Insbesondere Anfänger finden schnelle Hilfe und Unterstützung für ihren erfolgreichen Einstieg in die Amateurspektroskopie.

Apropos Unterstützung: Es ist bei uns seit Jahren Brauch, dass wir Schüler und Studenten finanziell und auch materiell unterstützen, wenn sie spektroskopische Projekte beginnen oder durchführen wollen, ihnen aber die Mittel fehlen, z. B. um sich eine spektrografische Ausrüstung anzuschaffen oder an einer spektroskopischen Veranstaltung teilzunehmen (Kurs, Jahrestagung). Die dazu nötigen Gelder

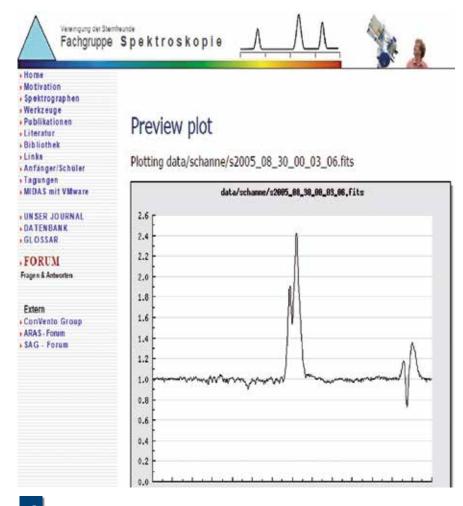
werben wir auf unseren Veranstaltungen und anderweitig in Form von Kleinspenden ein. Diese Unterstützungsmaßnahmen laufen unbemerkt im Hintergrund, ohne Aufsehen oder Öffentlichkeitswirksamkeit. Beispielsweise bekam im Sommer 2014 eine Schülergruppe einer Astro-AG aus Neckargemünd einen Zuschuss für einen Spektrografen, mit dem sie ihre gewitzten Beobachtungen, die sie im Mai auf unserer Jahrestagung in Köln vorgestellt hatten, vertiefend weiterführen können. Ebenso wurde ein Sonnenspektrograf mitsamt einfachem Teleskop, CCD-Kamera und Laptop angeschafft, welcher kostenfrei ausgeliehen werden kann. Mit diesem Aufbau wurden bereits zwei Schülerarbeiten durchgeführt. Voraussetzung für die Unterstützungsmaßnahmen der FGS ist die erklärte Bereitschaft der Empfänger, auch etwas an die FGS zurückzugeben. Meist in Form eines Vortrags über ihre Aktivitäten und Ergebnisse auf unserer Jahrestagung. Auch unser heutiger Webmaster hat so vor wenigen Jahren angefangen und sich in die Fachgruppe eingebracht. Informationen für Jugendliche finden sich ebenfalls auf der Homepage der Fachgruppe [1].

Im Laufe eines Jahres stoßen immer wieder Anfänger zu uns, die dankbar sind, wenn ihnen theoretisch und auch mit Praxiswissen unter die Arme gegriffen wird. Neben den persönlichen Beratungen im Forum und durch persönliche Kontakte bilden unsere Herbst-Wochenend-Spektroskopiekurse an der Starkenburg-Sternwarte in Heppenheim eine willkommene Möglichkeit, Praxiswissen zu tanken, zu üben und persönliche Kontakte zu Gleichgesinnten in einer privaten Atmosphäre der Freundschaft zu knüpfen. Gelegentlich werden auf Anforderung auch Spektroskopiepraktika/-kurse bei Vereinen abgehalten. Dies geschah bereits in Kolding (Dänemark) und in Brittheim. Zusätzlich werden von FGS-Mitgliedern regelmäßig auch Vorträge über die Amateurspektroskopie gehalten. Entsprechende Anfragen an uns wurden bisher nie abgelehnt.

Immer wieder organisiert Thomas Eversberg sog. "Pro-Am-Beobachtungskampagnen", die uns Amateuren die Chance bieten, an professionellen Observatorien, wie z. B. an dem Observatorio del Teide in Teneriffa [3], Erfahrungen zu sammeln und wissenschaftlich relevante Ergebnisse zu liefern.







Plot aus der Spektrendatenbank der Fachgruppe Spektroskopie

Das motiviert, erweitert den persönlichen theoretischen und praktischen Hintergrund und macht ganz nebenbei einfach nur Spaß. Aus solchen Projekten ist mittlerweile eine Gruppe von Profi- und Amateurastronomen entstanden, die ihre Arbeiten über eine eigene Webseite koordinieren [4].

Im Laufe der Zeit werden von unseren Mitgliedern und Assoziierten viele Spektren gemessen - mit unterschiedlichen Instrumentarien und Zielsetzungen. Damit all diese Spektren allen zur Verfügung stehen, betreibt die FGS eine eigene Datenbank (administriert von Otmar Stahl von der Landessternwarte in Heidelberg), in der die ausgewerteten Daten als 1d-Spektren im fits-Format gesammelt werden. Jeder kann sich hier über die Spektren von Objekten - überwiegend Sternen - informieren. Die Datenbank ist auf unserer Fachgruppen-Webseite zu finden und enthält derzeit etwa 1500 Spektren von rund 70 Objekten.

Auf unserer Internetseite [1] gibt es viele Hinweise zu Literatur, Projekten, insbesondere auch einführende Texte für Schüler und Anfänger, technische Hilfen, Internetlinks und vieles andere mehr. Es lohnt sich immer, hier einmal reinzuschauen.

Ein internes Fachgruppenjournal namens SPEKTRUM, von Thomas Hunger redaktionell geleitet, als PDF-Datei online oder in gedruckter Form auf Bestellung zugänglich, informiert mehrmals jährlich über fachgruppenspezifische Themen. Die Dateien der einzelnen Ausgaben finden sich auf unserer Fachgruppen-Webseite [1] für Jedermann zum Download.

Der persönliche Erfahrungsaustausch und der Gruppenzusammenhalt dürfen in einer lebendigen Fachgruppe natürlich nicht zu kurz kommen. Sie werden insbesondere durch unsere Jahrestagungen intensiv gefördert. 2014 fand die Konferenz in Köln statt (organisiert von Rainer Borchmann), die nächste wird Anfang Mai 2015 in Freiburg im Breisgau stattfinden. Informationen dazu gibt es in [5]. Außerdem findet üblicherweise im Herbst ein Treffen in Langenselbold bei Hanau statt. Diese von Dieter Goretzki organisierten samstäglichen Treffen laufen ganz informell ab, ohne vorab festgelegte Tagungsordnung. Jeder Teilnehmer kann seine spektroskopischen Probleme einbringen, die dann gemeinsam diskutiert werden. Bei diesem Treffen ist schon manch gute Idee und manche langlebige Freundschaft geboren worden.

Alles in Allem: Diese Fachgruppe gibt ihren Mitgliedern und den über das Forum Assoziierten eine freundschaftliche Heimat, in der sich alle wohl fühlen. Rat und Hilfe im Austausch mit Profis und Amateurspektroskopikern in der ganzen Welt sorgen für eine stetige Weiterentwicklung unseres schönen Hobbys.

Internet- und Literaturhinweise:

- [1] http://spektroskopie.fg-vds.de/
- [2] http://spektroskopieforum.vdsastro. de/index.php
- [3] www.iac.es/eno php?op1=3&tlanq=en
- [4] ConVento-Group: http://spektroskopieforum.vdsastro. de/viewforum.php?f=32
- [5] www.spektralklasse.de/