

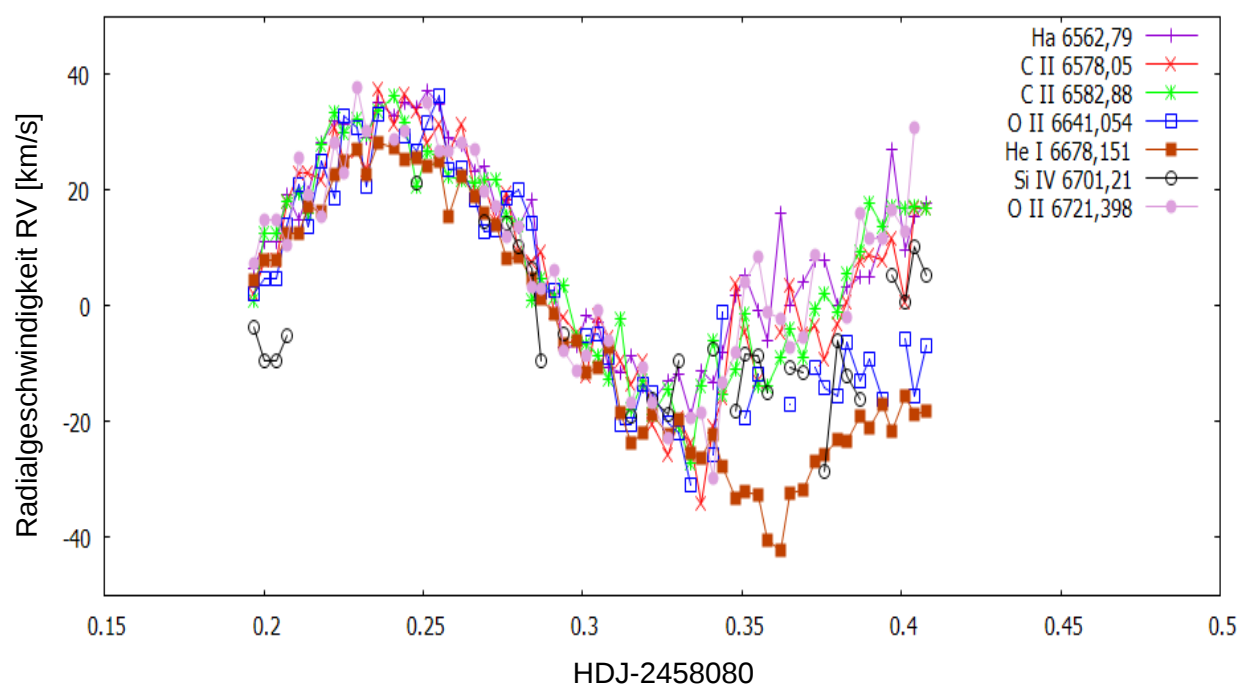
SPEKTRUM

Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie
in der Vereinigung der Sternfreunde e.V.

Journal of the Section Spectroscopy of the Society of German Amateur Astronomers

Nr. 53

1 / 2018



β CEP

LITTROW-ÉCHELLE

QUASARE

ISSN 2363-5894

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde wird herausgegeben von der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde e.V. Es erscheint halbjährlich als PDF-Ausgabe oder auf Wunsch als Druckversion. Das Journal dient dem überregionalem als auch dem internationalen Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Astrospektroskopie besonders für Amateure. Dazu können Beiträge in Deutsch oder English publiziert werden. Senden Sie Ihre Beiträge, Auswertungen, Erfahrungen und Kritiken an **Spektrum** zur Veröffentlichung ein, damit andere Spektroskopiefreunde an Ihren Erkenntnissen teilhaben und davon lernen können.

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde is issued twice a year by Fachgruppe Spektroskopie of Vereinigung der Sternfreunde e.V. (spectroscopy section of the German amateur astronomical society). The journal is published as a PDF or as a printed version on special request. The aim of the journal is to be a national and international communication especially for amateurs, on topics related to astronomical spectroscopy. Contributions are welcome in German or English. Please send your papers, results, experiences and reviews to **Spektrum** for publication. The community can then benefit from your experience.

Registriert bei der Deutschen Nationalbibliothek / Registered at Deutsche Nationalbibliothek: DNB 1013413024
ISSN 2363-5894

Die Fachgruppe Spektroskopie im Internet: spektroskopie.fg-vds.de

Die Vereinigung der Sternfreunde e.V. im Internet: www.vds-astro.de

Kontaktadresse (Redaktion, Bestellung gedruckter Ausgaben, Einsendung von Manuskripten)

Dr. Thomas Hunger
Weinbergstraße 12
D-01129 Dresden
thunger03@web.de

Hinweise für Autoren:

Nur durch Ihre Artikel wird Spektrum gefüllt. Die Redaktion behält sich vor, in Rücksprache mit den Autoren Beiträge zu kürzen, anzupassen oder zu ändern. Für die Inhalte der Artikel ist aber allein der Autor verantwortlich. Mit der Einreichung eines Beitrages erklärt der/die Autor(en) die Bereitschaft zur Publikation auch im Journal für Astronomie der VdS e.V.

Reichen sie Ihren Beitrag bitte elektronisch unter Berücksichtigung folgender Regeln ein:

Form des Textes: Senden sie vorzugsweise als unformatierten ASCII-Text. Tabellen mit Tabulatoren getrennt. Ein zusätzliches PDF des formatierten Gesamttextes ist anzuraten.

Aufbau der Artikel: Die Artikel benötigen einen Titel, eine vollständige Adressangabe des Autors / der Autoren, eine Kurzzusammenfassung, den klar gegliederten Artikel mit Einleitung und Zusammenfassung sowie eine vollständige Literaturangabe.

Abbildungen: Bitte getrennt vom Text senden. Empfehlenswert sind hochauflösende JPG, PNG und TIFF.

Hints for authors:

Your article will be edited to fit the style of Spektrum. The editor is responsible for editing the article in close collaboration with the author. The author is in charge of the content in all cases, however. The author(s) give(s) the permission for a further publication of the contribution in the journal of the VdS e.V. (Journal für Astronomie) right with its transfer to the editor of Spektrum. Please send your contribution via electronic mail considering the following rules:

Text: Prepare it as unformatted text (preferably ASCII). Tables: columns separated by tabs. A PDF printout of the whole document is highly recommended.

Article structure: Each article should include a title, an address line of the author(s), an abstract, a clear text body with introduction and conclusion and complete references.

Figures: Please send them separate from text. High resolution JPG, PNG or TIFF files are recommended.

Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind, stellen nicht in jedem Falle die Meinung des Herausgebers oder der Redaktion dar. Beiträge in dieser Ausgabe dürfen nicht ohne Genehmigung der Redaktion bzw. des Sprechers der Fachgruppe Spektroskopie in der VdS e.V. nachgedruckt, kopiert oder anderweitig weiterverwendet werden.

Umschlagfoto: Zeitverlauf der Radialgeschwindigkeiten in km/s der beobachteten Linien von β Cep. Näheres im Artikel von Christian Netzel im Heft.

Inhaltsverzeichnis / Content

<i>Daniel P. Sablowski:</i> A compact Littrow-Échelle-Spectrograph Design	4
<i>Bernd Bitnar:</i> Spektroskopie von Quasaren mit hoher Rotverschiebung	11
<i>Ulrich Waldschläger:</i> „E1“ - ein Echelle-Spektrograph für die Amateurastronomie	17
<i>Christian Netzel:</i> Beobachtung von β Cephei im November 2017	26
<i>Rainer Borchmann:</i> Die ASpekt17 in St. Niklausen, Schweiz – Tagungsbericht	30
<i>Ulrich Waldschläger (Rezendent):</i> D.P. Sablowski & L.F. Schanne: Astrophysikalische Instrumentierung und Messtechnik für die Spektroskopie	37
Termine	40
Mitgliederverzeichnis (nur Mitglieder) / Register of members (members only)	41

Editorial

Liebe Leser des Spektrums,
liebe Fachgruppenmitglieder,

nach nunmehr einem Jahr halten Sie die neue Ausgabe von Spektrum in Händen. Ende November vergangenen Jahres habe ich entschieden, die Ausgabe 2/2017 zu streichen, da sich aus verschiedenen Gründen die Herausgabe nicht realisieren ließ. Dafür ist das nun vorliegende Heft dank der engagierten Autoren prall gefüllt. Ich hoffe, das Warten hat sich gelohnt.

Etwas untergegangen ist die Tatsache, dass die Fachgruppe am Rande der BoHeTa 1992 ins Leben gerufen wurde und damit schon 25. Geburtstag (!) gefeiert werden konnte.

Frühjahr heißt auch wieder, dass die ASpekt – die Jahreskonferenz der Fachgruppe – näher rückt. Anmelden nicht vergessen! Wir sehen uns in Frankfurt/Main.

Apropos Astrospektroskopie-Veranstaltungen: Shelyak bietet wieder die OHP Spectro Star Party im Juli an. Ich selbst war noch nicht da, aber von den Teilnehmern hört man nur Gutes. Nicht zu vergessen: Ernst Pollmann bietet seinen Kurs in Wuppertal an.

Mit sternfreundlichen Grüßen,
Ihr Thomas Hunger



Dear readers of Spektrum,
Dear members of the section group,

After a year now, you have the new issue of Spektrum in your hands. At the end of last November, I decided to cancel the issue 2/2017 because of some reasons finally preventing the publication in good times. However, thanks to the dedicated authors, this new issue is now fully packed with information. I hope waiting was worth it.

Somewhat under the surface of common perception the fact happened that the specialist group was launched on the course of BoHeTa 1992. Thus the 25th anniversary (!) could be celebrated.

Spring also means that the ASpekt – the annual meeting of the section – is coming closer. Do not forget to apply soon! See you in Frankfurt/Main.

Speaking of astro-spectroscopic events: Shelyak again offers the OHP Spectro Star Party in July. I myself never took part yet, but one hears only good things from the participants. And, last not least: Ernst Pollmann offers his seminar in Wuppertal.

Clear skies.
Yours Thomas Hunger

A compact Littrow-Échelle-Spectrograph Design

Daniel P. Sablowski

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam, Germany,
Email: dsablowski@aip.de

Abstract

The article describes a design of a very compact Échelle spectrograph near Littrow configuration. This system is advantageous to be connected directly to the telescope, since its small size will minimize mechanical deformations. At the same time, the system provides moderate resolution and wavelength coverage over the visible range of the spectrum.

Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt eine Konstruktion für einen kompakten Échelle-Spektrograph nahe an der Littrow-Konfiguration. Dieses System bietet Vorteile für eine direkte Teleskopkopplung aufgrund seiner geringen Größe, welches mechanische Verbiegungen minimiert. Gleichzeitig erlaubt es mittlere Auflösung und die Abbildung des gesamten visuellen Spektralbereiches.

Received: 2017-11-23, Revised: 2018-01-13, Accepted: 2018-01-25

1. Introduction

Spectroscopic systems directly linked to the telescope are advantageous in terms of efficiency over fibre-fed instruments. Furthermore, guiding on an elongated slit is more error-tolerant for tracking faults and, last but not least, without the need of a fibre coupling unit it is cheaper and easier to construct on a shorter time-scale. However, in terms of stability it will not achieve the accuracy of fibre-linked instruments.

Optical fibres are better suited in scrambling the spatial fluctuations of the point spread function at the telescope focal plane, which directly influences the spatial stability of spectral lines in the focal plane of the spectrograph. Furthermore, fibre-linked instruments placed at a stable position (e.g., Coudé room) are free of any bending. Additionally, since fibre-linked instruments are not limited in size and weight, it can be placed in a sealed, vacuumed or otherwise controlled environment. This will enhance the precision introduced against pressure and temperature fluctuations which will cause e.g. a change in the index of refraction of the air. The above-mentioned effects can be reduced for direct-linked instruments by taking calibration exposures between individual science exposures during the night. However, the long-term stability of the zero-point calibration of the instrument will never be conserved. Finally, direct-linked systems can be used best for observations with weaker claims on precision in wavelength stability, systems with lower resolution or dispersion, respectively, and budget-limited project.

The optical design of the Échelle system will be described in the next section and followed by a discussion of the performance. The paper is finished by a conclusion section.

2. Optical Design

Littrow based designs have the attraction of reduced number of optical components, since collimating elements are used for imaging as well. However, for an Échelle [3] system with dispersion also in the direction perpendicular to the Échelle dispersion, it is more challenging to find a system which provides reasonable optical quality and a small angle at the grating to be still considered as a Littrow. That small angle in the Littrow configuration offers the advantage of reducing the overall size of the system compared to other (classical, white pupil) designs.

There are two ways of arranging the grating: The “theta arrangement” is the somehow classical case in which the grating is turned around an axis parallel to the grooves to separate the incident and diffracted beam. The second, the “gamma arrangement” has equal angles for input and diffracted rays but is turned around an axis perpendicular to the grooves. This introduces a tilt of the slit image on the detector. However, if that angle can be kept small, the tilt could be neglected. Otherwise it needs to be handled from the data reduction routine to maintain the resolution.

Based on experience with Petzval systems [2] made of two off-the-shelf achromatic lenses, it was intended to use such a system for collimation and imaging. Furthermore, a resolving power of around $R = 10k$ was projected. A further reduction of the size of the spectrograph was achieved by using an Échelle grating with a higher blaze angle (76°). Key was the reduction of the beam diameter and hence the optical aberrations providing higher spectral resolution. However, to reduce the total angle at the Échelle (if one works on theta rather than gamma), a lower line density, i.e., shorter free spectral range is preferable. We will show two versions, differing in the parameters of the Échelle grating. Version one has the before mentioned 76° grating with 31.6 grooves/mm and version two uses a grating with lower blaze angle of 63° but a higher line density of 79 grooves/mm. A grating is often classified by the tangents of its blaze angle, e.g., a grating with a 63.4° blaze is called an R2 grating, since $\tan(63.4^\circ) \approx 2$.

The layout of version one is shown in Fig. 1. The light transmitted at the slit passes a small 9 mm achromatic lens (Edmund Optics 49-320) and is reflected by a small mirror towards the second achromat (Thorlabs AC254-200-A) of the Petzval system. The cross-disperser, a coated dispersive prism of F2 glass (Knight Optical PEG2525) is used in double pass. To separate the input and output, the incoming and diffracted beam are slightly separated by the Échelle grating. Hence, to reduce off-axis aberrations introduced by the first lens of the Petzval system, the displacement and angle of the incoming beam as well as the angle at the Échelle were optimized. The possibility of splitting the rear lens of the Petzval system avoids further off-axis aberrations for the central chief ray. This last lens (EO 49-781) needs to have a larger diameter due to the dispersion. The size has to be greater in cross-dispersion which allows to put the fold mirror in front of that lens without vignetting the diffracted beam.

The image quality is demonstrated in fig. 2 where spot diagrams for three diffraction orders (a-c) are shown. The box size is $50 \mu\text{m}$. Three wavelengths, middle (blue), upper (red) and lower (green) of the diffraction order are shown. The encircled energy for a central wavelength is shown in (d). The blue line corresponds to the point spread function and the black line shows the diffraction limit. The tip and tilt angles of the image plane were also free parameters in the optimization process.

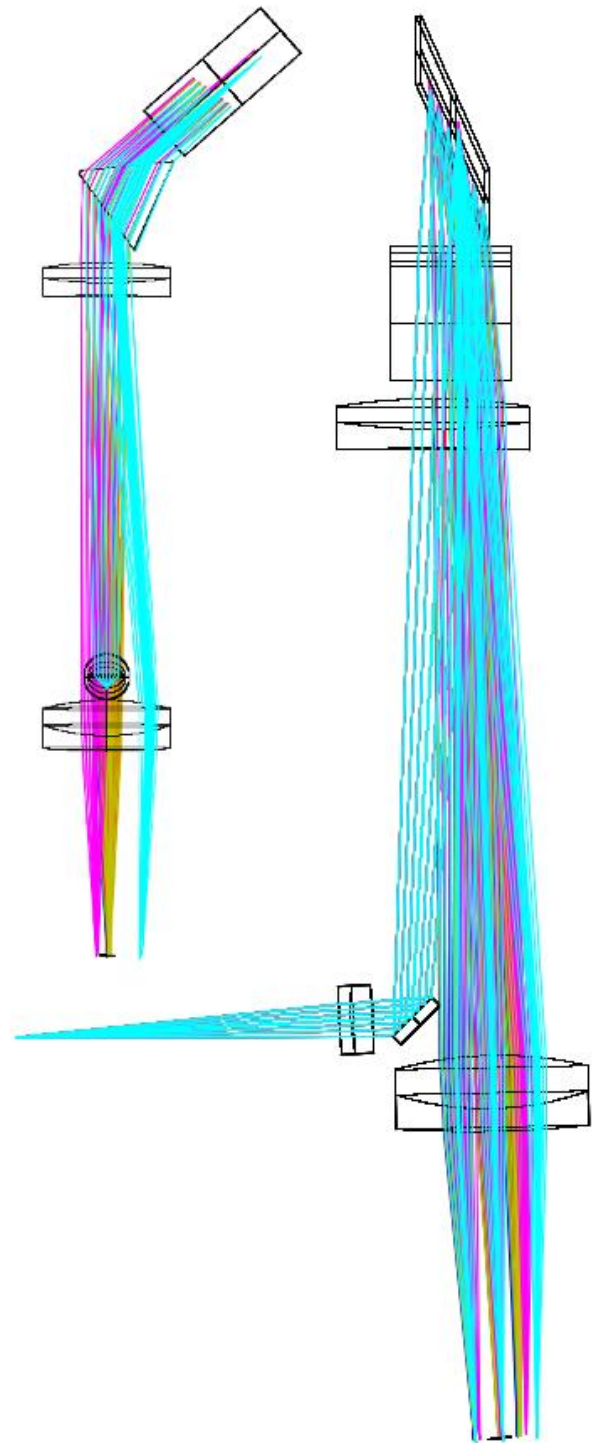


Fig. 1: Layout of version #1 with an R4 31.6 grooves/mm Échelle grating.

For version two with an R2 79 grooves/mm Échelle, same diagrams are shown in figs. 3 and 4. The image quality is comparable to version one with slight differences coming from the different angles at the Échelle grating.

The construction of the opto-mechanics is only challenging for the rear part, i.e., the small lens

with the fold flat and the focusing unit for the CCD which allows adjustment for tip and tilt. The mirror mount for the fold flat has to fit in front of the imaging achromat without vignetting the diffracted beam. This mount has to be very stable since it defines the input angle onto the Échelle and will have direct influence to shifts of the spectrum on the image plane.

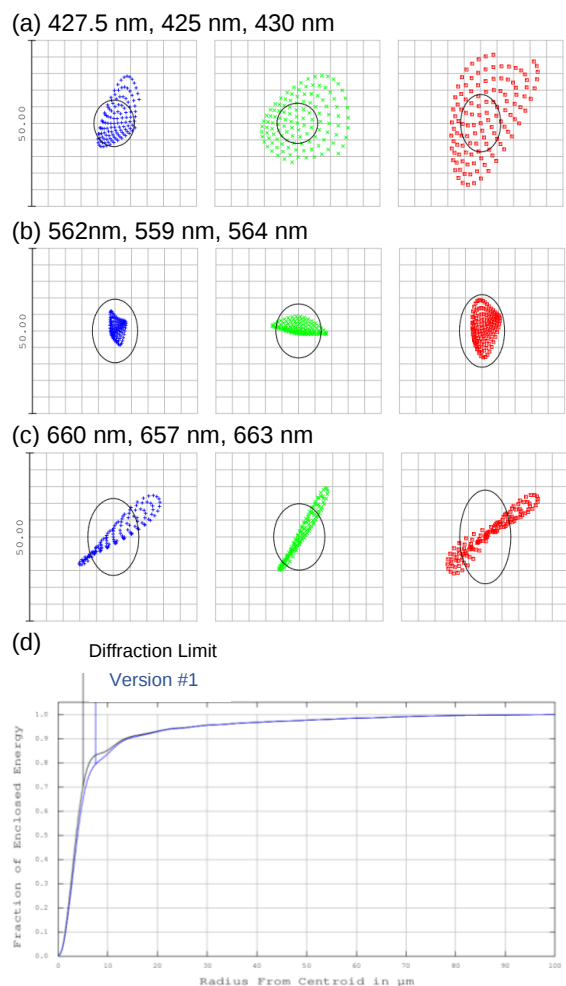


Fig. 2: Spot diagram for three spectral orders (a-c) and encircled energy for central wavelength (d) of version #1.

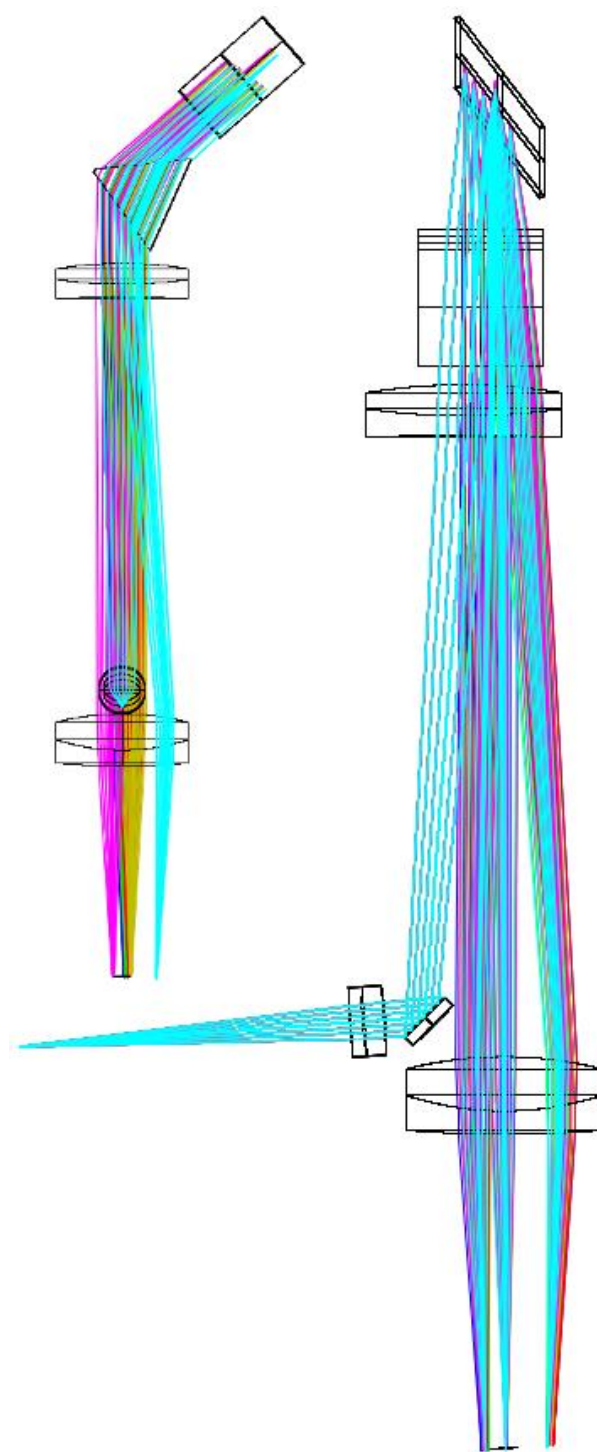


Fig. 3: Layout of version #2 with an Échelle grating of 63° blaze angle and 79 grooves/mm.

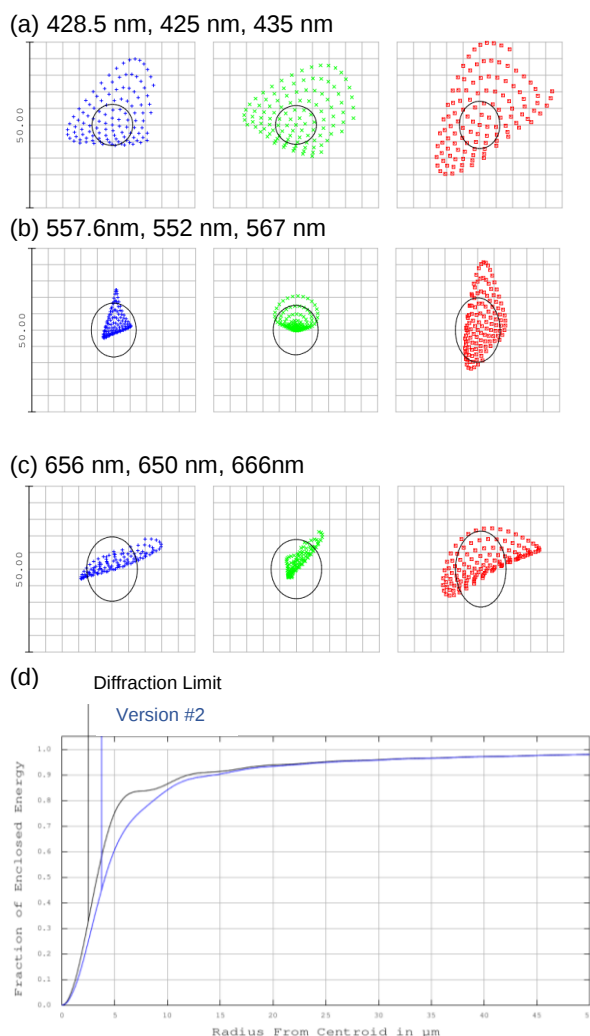


Fig. 4: Spot diagram for three spectral orders (a-c) and the energy for a central wavelength (d) of version #2.

3. Optimized System

The image quality shown in the previous section was based on off-the-shelf lenses. In this section we will demonstrate the increase in image quality by optimizing some parameters, e.g., radius of curvature of the optical components¹. In a first step all radii of the lenses are set to be variable and a local optimization was performed on that. Since the image quality of the central diffraction order which is less affected by off-axis aberrations will change little, only the quality for the upper and lower diffraction orders are shown in figs. 5 and 6. Note that the size of the box has decreased to 30 μm .

A global optimization on glasses and radii of all lenses yields a further improvement of the image quality, which is shown in figs. 7 and 8.

The black circle in the spot diagrams shows the Airy disc, i.e. the diffraction limit. Hence, the image quality for the optimized systems are at diffraction limit. This offers two main advantages: Firstly, the system will work at maximum resolution. Secondly, the fitting of spectral lines, especially the calibration lines, will be more robust due to the homogenous intensity distribution of the image of a monochromatic line. In diffraction limit and for a slit, this is represented by a sinc-function. The maximum of such a function can be approximated well by a gaussian fit, which most of the data reduction pipelines provide.

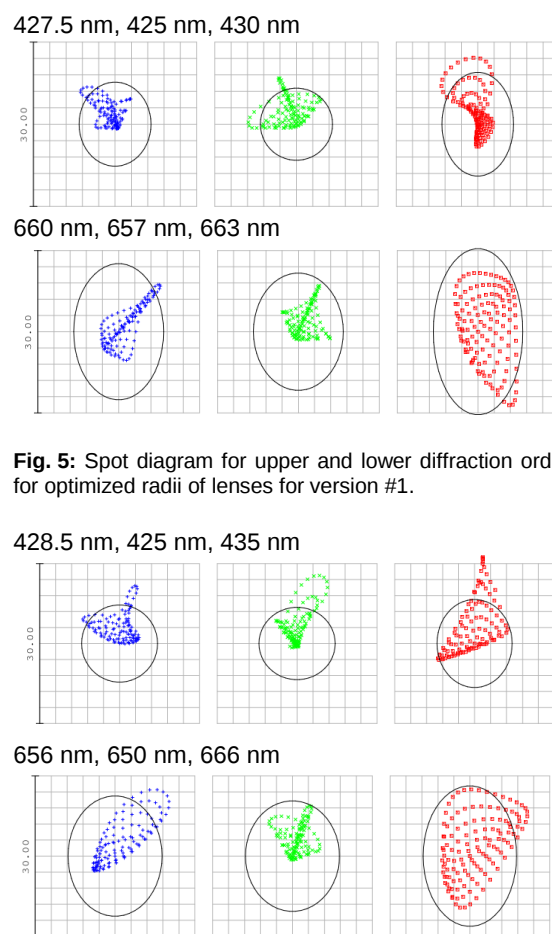
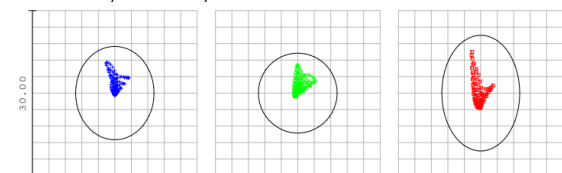


Fig. 5: Spot diagram for upper and lower diffraction order for optimized radii of lenses for version #1.

Fig. 6: Spot diagrams for upper and lower diffraction order for optimized radii of lenses for version #2.

¹ Radius of curvature of a simple lens is in fact the focal length at a fixed index of refraction initially chosen.

427.5 nm, 425 nm, 430 nm



660 nm, 657 nm, 663 nm

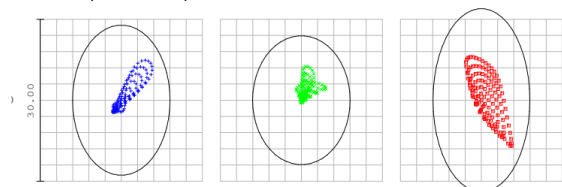
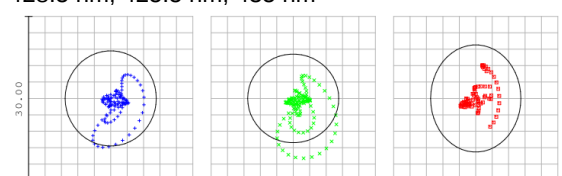


Fig. 7: Spot diagrams for upper and lower diffraction order for optimized glasses and radii of lenses for version #1.

428.5 nm, 425.5 nm, 435 nm



656 nm, 650 nm, 666 nm

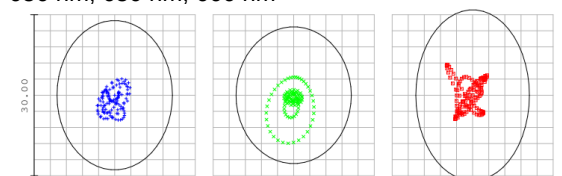


Fig. 8: Spot diagrams for upper and lower diffraction order for optimized glasses and radii of lenses for version #2.

4. Spectral Performance Analysis

In this section some parameters in dependence on wavelength are shown to demonstrate the spectral performance of the presented design. The tool SILENT [1] was used for these analyses. Firstly, the geometrical and overall optical data of the two versions are summarized in tab. 1.

Version	#1	#2
Échelle grooves/mm	31.6	79
blaze angle	76°	63°
total angle	5°	
collimator	80 mm	
camera	80 mm	
f-ratio input	f/10	
X-disperser	F2 prism	
pixel number in x	1024	1536
pixel number in y	1536	1024

Tab. 1: Overall system data.

A KAF1603ME (9x9 μm^2 pixel size) and a slit width of 50 μm was used for the following calculations. The wavelength coverage from 400 to 700 nm is listed in tab. 2 and 3 for the two versions.

Order	Lower λ [nm]	Middle λ [nm]	Upper λ [nm]	Overlap
153	397.826	401.284	404.078	no
152	400.443	403.924	406.736	yes
151	403.095	406.599	409.43	yes
150	405.782	409.31	412.159	yes
149	408.506	412.057	414.926	yes
148	411.266	414.841	417.729	yes
147	414.063	417.663	420.571	yes
146	416.9	420.524	423.451	yes
145	419.775	423.424	426.372	yes
144	422.69	426.365	429.333	yes
143	425.646	429.346	432.335	yes
142	428.643	432.37	435.38	yes
141	431.683	435.436	438.467	yes
140	434.767	438.546	441.599	yes
139	437.894	441.701	444.776	yes
138	441.068	444.902	447.999	yes
137	444.287	448.15	451.269	yes
136	447.554	451.445	454.588	yes
135	450.869	454.789	457.955	yes
134	454.234	458.183	461.372	yes
133	457.649	461.628	464.841	yes
132	461.116	465.125	468.363	yes
131	464.636	468.676	471.938	yes
130	468.21	472.281	475.569	yes
129	471.84	475.942	479.255	yes
128	475.526	479.66	482.999	yes
127	479.27	483.437	486.802	yes
126	483.074	487.274	490.666	yes
125	486.939	491.172	494.591	yes
124	490.866	495.133	498.58	yes
123	494.856	499.159	502.633	yes
122	498.913	503.25	506.753	yes
121	503.036	507.409	510.941	yes
120	507.228	511.638	515.199	yes
119	511.49	515.937	519.529	yes
118	515.825	520.309	523.931	yes
117	520.234	524.756	528.409	yes
116	524.718	529.28	532.965	yes
115	529.281	533.883	537.599	yes
114	533.924	538.566	542.315	yes
113	538.649	543.332	547.114	yes
112	543.458	548.183	551.999	yes
111	548.354	553.122	556.972	yes
110	553.339	558.15	562.036	yes
109	558.416	563.271	567.192	yes
108	563.586	568.486	572.444	yes
107	568.854	573.799	577.794	yes

106	574.22	579.212	583.244	yes
105	579.689	584.729	588.799	yes
104	585.263	590.351	594.461	yes
103	590.945	596.083	600.232	yes
102	596.739	601.927	606.117	yes
101	602.647	607.886	612.118	yes
100	608.673	613.965	618.239	yes
99	614.822	620.167	624.484	yes
98	621.095	626.495	630.856	yes
97	627.498	632.954	637.36	yes
96	634.035	639.547	643.999	yes
95	640.709	646.279	650.778	yes
94	647.525	653.154	657.701	yes
93	654.487	660.178	664.773	yes
92	661.601	667.353	671.999	yes
91	668.872	674.687	679.384	yes
90	676.304	682.183	686.932	yes
89	683.903	689.848	694.651	yes
88	691.674	697.688	702.544	yes

Tab. 2: Wavelength coverage for version #1.

Order	Lower λ [nm]	Middle λ [nm]	Upper λ [nm]	overlap
56	392.76	402.71	411.17	no
55	399.902	410.032	418.646	yes
54	407.308	417.625	426.399	yes
53	414.993	425.505	434.444	yes
52	422.974	433.688	442.799	yes
51	431.267	442.191	451.481	yes
50	439.893	451.035	460.511	yes
49	448.87	460.24	469.909	yes
48	458.222	469.828	479.699	yes
47	467.971	479.825	489.905	yes
46	478.144	490.256	500.555	yes
45	488.77	501.15	511.679	yes
44	499.878	512.54	523.308	yes
43	511.503	524.46	535.478	yes
42	523.682	536.947	548.227	yes
41	536.455	550.043	561.599	yes
40	549.866	563.794	575.639	yes
39	563.965	578.25	590.399	yes
38	578.806	593.467	605.935	yes
37	594.45	609.507	622.312	yes
36	610.962	626.438	639.599	yes
35	628.418	644.336	657.873	yes
34	646.901	663.287	677.222	yes
33	666.504	683.387	697.744	yes

Tab. 3: Wavelength coverage for version #2.

The resolving power and Nyquist sampling factor over wavelength for version #1 are shown in figs. 9 and 10. The Nyquist factor is one in case of a slit image of 2 pixels in size. It would be 0.5

in case of a slit image of only one pixel. Since the sampling is high, which is advantageous for line-profile analysis, it is also possible to mount the grating in the opposite direction such that the anamorphism decreases to values smaller than unity. However, this will cause shadowing and a decrease of efficiency for high total angles but may be acceptable at the 5°-level here and the brightness of the targets. The resolving power will rise to $R = 14.000$ in average, which is a significant enhancement and, as mentioned, it may be acceptable in terms of a decrease of efficiency.

The graphs for version #2 are shown in figs. 11 and 12. Flipping the Échelle grating in that configuration will result in a resolving power of 6.600 in average and is not as significant as in version #1 which is due to the smaller blaze angle.

Another way of increasing the resolving power is the reduction of the slit width. Small telescopes working at $f/10$ with a focal length of $f = 1200$ mm will yield a seeing disc (assuming 4" seeing) of around 25 μm . A slit of that size would double the resolving power at equal efficiency.

Using a telescope at $f/10$ with 250 mm aperture diameter and a 25 μm slit gives an efficiency at the slit of only 40% instead of 70% for a 50 μm slit.

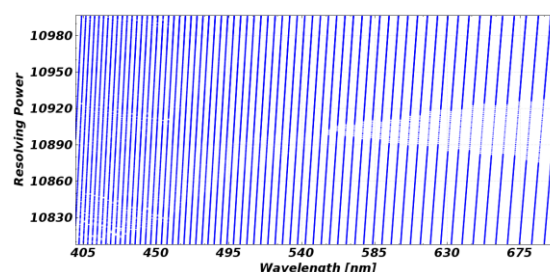


Fig. 9: Resolving power over wavelength for version #1.

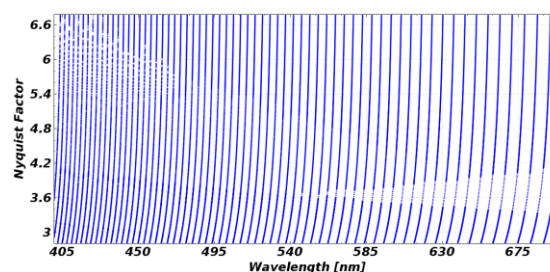


Fig. 10: Nyquist sampling factor (one means sampling of two pixels) over wavelength for version #1.

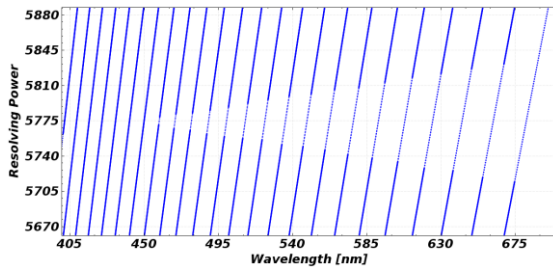


Fig. 11: Resolving power over wavelength for version #2.

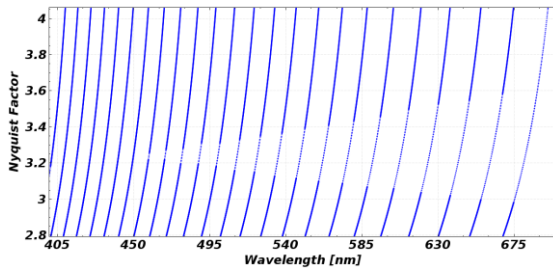


Fig. 12: Nyquist sampling factor (one means sampling of two pixels) vs. wavelength for version #2.

4. Conclusion

A compact design for a small-sized Échelle spectrograph working near Littrow conditions was presented. The optics for collimation and imaging are based on a Petzval system made from off-the-shelf components. The novelty of this Petzval lens, adapted for that purpose, is the “split” rear lens. A small lens for the collimating path in front of the larger lens for the focusing path. The potential of the system was also demonstrated by a simple optimization on the off-the-shelf components.

As already mentioned, the mechanics for the small fold flat are crucial, since instabilities caused by mechanical or environmental changes can be directly translated to a change of angles at the échelle grating and will cause a movement of spectral lines. Hence, special care should be taken when building these parts. Furthermore, baffling of the focal plane is required

to avoid any ghosting and stray light from the fold flat and input beam.

The performance for the R4 system (version #1) is comparable to larger spectrographs working with an R2 grating. However, the size and thus the weight of the instrument is reduced significantly, such that these systems can be mounted to even smaller telescopes. Additionally, working near Littrow further reduces the footprint size of the optical layout.

In case that the reader is interested in building such a system, the author will be happy to send further details on optical components used.

References

- [1] The tool is available on GitHub:
<https://github.com/DPSablowski/silent>
- [2] Warren J. Smith, *Modern Optical Engineering: The Design of Optical Systems*, 1990, 2nd edition, McGraw-Hill
- [3] Daniel J. Schröder, *Astronomical Optics*, 1987, 1st edition, Academic Press

Daniel P. Sablowski, born in 1987, studied Physics at the Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg and University Bayreuth (B. Sc.) and later at University Potsdam (M. Sc.). Currently, he works at the Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) as a PhD student. For some years he owned a business for development and sale of spectral devices and auxiliary equipment.

Spektroskopie von Quasaren mit hoher Rotverschiebung

Bernd Bitnar

Heinrich-Heine-Str. 2E, 01728 Bannewitz, Germany, Email: bernd.bitnar@gmx.de

Zusammenfassung

Mit dem Transmissionsgitter Staranalyser 100 lassen sich niedrig aufgelöste Spektren lichtschwacher Objekte aufnehmen. Eine vielversprechende Anwendung ist die Messung der Rotverschiebung von Quasaren. Dieser Artikel stellt die Messung der Rotverschiebung schwacher, sehr weit entfernter Quasare vor. Es wurden Rotverschiebungen von Objekten mit einer Helligkeit bis zu 16,4 mag bestimmt. Das entfernteste Objekt dieser Untersuchung ist der Quasar APM 08279+5255 mit einer Rotverschiebung $z = 3.9$. Bis zu einer Helligkeit von 17,0 mag ließen sich Aussagen über den Kontinuumsverlauf treffen, was am Beispiel des Gravitationslinsen-Quasars Q0957+561 gezeigt wird.

Abstract

By using the Staranalyser 100 transmission grating low dispersion spectra of faint objects can be obtained. A promising application is the measurement of the redshift of quasars. In this article an investigation of faint, very distant quasars is presented. Redshifts of objects with a brightness down to 16.4 mag could be determined. The most distant object of this study was the quasar APM 08279+5255 with a redshift of $z = 3.9$. Down to a brightness of 17.0 mag the shape of the continuum could be determined, which was demonstrated for the gravitational lens quasar Q0957+561 as an example.

Received: 2017-08-07, Accepted: 2017-11-01

1. Einführung

Der Staranalyser 100 ist ein Transmissionsgitter mit 100 Linien/mm, das im konvergenten Strahlengang des Teleskops vor dem Kamerasensor angeordnet wird [1]. Mit dieser Anordnung lassen sich auf einfache Weise niedrig aufgelöste Spektren gewinnen [2]. Dass sich der Staranalyser auch für die hochaufgelöste Spektroskopie eignet, ist eindrucksvoll in [3] dargestellt.

Um lichtschwache Objekte mit dem Staranalyser zu untersuchen, ist neben einer großen Teleskopöffnung eine möglichst geringe - gerade noch tolerable - spektrale Auflösung erforderlich, um das Licht des Objekts auf eine möglichst kleine Fläche des Detektors zu verteilen. Eine vielversprechende Anwendung des Staranalysers ist dabei die Messung der Rotverschiebung von Quasaren. Derartige Untersuchungen von helleren Quasaren, wie z.B. 3C273 mit einer Rotverschiebung von $z = 0,16$, finden sich in [2] und [4].

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Spektroskopie von weiter entfernten und lichtschwächeren Quasaren als es bisher in der - zumindest deutschsprachigen - Amateurliteratur beschrieben wurde.

2. Auflösung und Genauigkeit von Staranalyser Spektren

Alle vorgestellten Spektren wurden mit einem TS RC 16" f/8 Teleskop unter einem Vorstadthimmel aufgenommen. Wahlweise wurde das Öffnungsverhältnis durch einen Riccardi Reducer auf f/6 reduziert. Als Aufnahmekamera diente eine Σ1603 Kamera von Fischer Elektronik mit 1,6 MPixel und einer Pixelgröße von $9 \times 9 \mu\text{m}^2$. Der Abstand Staranalyser - CCD Chip wurde in der Regel zu 60 mm gewählt.

Im Folgenden wird die erreichbare Genauigkeit näher untersucht, die bei der Vermessung von Staranalyser Spektren für die genutzte optische Konfiguration erwartet wird. Die erreichbare Genauigkeit der Bestimmung der Wellenlänge einer Spektrallinie wird einerseits durch die spektrale Auflösung, andererseits durch systematische Fehler limitiert. Eine sehr gute Darstellung der Berechnung der Auflösung von Staranalyser-Spektren ist in [5] zu finden.

Die Auflösung A wird durch die Größe des Beugungsscheibchens und die spektrale Koma begrenzt. Die Größe des Beugungsscheibchens ΔS in Bogensekunden bestimmt die Auflösung zu

$$A = 48,5 \frac{\text{\AA}}{n} \cdot \Delta S \cdot \frac{f}{100 \cdot d} \quad (1)$$

mit f als Brennweite des Teleskops und d dem Abstand Staranalyser - CCD Chip.

Für die gewählte Optik mit $f/6$ und einem angenommenen Beugungsscheibchen von 3" Durchmesser ergibt sich nach (1) eine Auflösung von 58 Å.

Durch die Anordnung des Gitters im konvergenten Strahlengang wird die Auflösung durch die spektrale Koma limitiert. Diese berechnet sich nach [5] zu

$$\Delta\lambda = \varepsilon(\lambda) \cdot 3 \cdot \lambda / 8 \cdot N^2 \quad (2)$$

mit der Wellenlänge λ , einem Korrekturfaktor $\varepsilon(\lambda)$ und der Blende des Teleskops N .

Für eine Blende 6 ergibt sich für die Wellenlänge von 6000 Å eine spektrale Koma von 23 Å. Diese ist deutlich kleiner als die Auflösung, die durch die Größe des Beugungsscheibchens limitiert ist.

Die Dispersion auf dem Kamerachip beträgt 15 Å/Pixel (ohne Binning des Kamerachips, bei $f/6$ und $d = 60$ mm). Damit ist die Kameraauflösung höher als diejenige durch die Größe des Beugungsscheibchens. Ein 2x2 Binning wäre in diesem Fall noch vertretbar, ohne die resultierende Auflösung zu verringern.

Ein systematischer Fehler bei der Bestimmung der Wellenlänge einer Spektrallinie in einem Transmissionsgitter – Spektrum entsteht durch die Ortsabhängigkeit der Dispersion auf dem CCD-Chip. Abbildung 1 zeigt eine Skizze der Beugung eines unter dem Winkel α einfallenden Strahls an einem Gitter mit der Gitterkonstanten g . Die erste Beugungsordnung erscheint unter dem Winkel Φ .

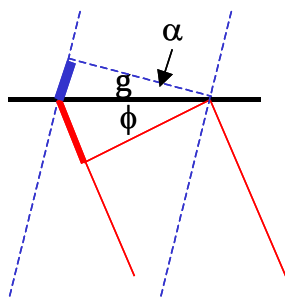


Abb. 1: Beugung von Licht unter einem Einfallswinkel α an einem Gitter mit der Gitterkonstanten g . Der Beugungswinkel ist Φ . Die blau und rot fett gezeichneten Wegstrecken entsprechen dem Gangunterschied der beiden gezeichneten Strahlen.

Die Dispersion des Gitters berechnet sich zu

$$d\lambda/d\Phi = g \cdot \cos \Phi = g \cdot \cos \left(\arctan \left(x/d \right) \right) \quad (3)$$

mit x dem Abstand des gebeugten Strahls auf dem Kamerachip von der Chipmitte. Da der $\cos \Phi$ für kleine Winkel Φ nur näherungsweise gleich dem $\tan \Phi$ ist, hängt die Dispersion auf dem Kamerachip vom Beugungswinkel Φ und damit der Position x ab.

Diese Winkelabhängigkeit der Dispersion könnte man durch eine nichtlineare Dispersionsbestimmung aus dem Referenzspektrum berücksichtigen. Dies funktioniert aber nur dann mit vertretbarem Aufwand, wenn sich das Referenz- und das Objektspektrum an derselben Stelle auf dem CCD Chip befinden. Bei lichtschwachen Objekten, die erst nach mehrminütiger Belichtungszeit sichtbar werden, ist dies in der Praxis nur schwierig zu erreichen.

Im Folgenden werden daher lineare Dispersionsfunktionen verwendet und der Fehler durch die Winkelabhängigkeit der Dispersion nach (3) sowohl durch die Länge des Spektrums auf dem Chip als auch durch eine unterschiedliche Position von Referenz- und Objektspektrum als systematischer Fehler berücksichtigt. In der Praxis beträgt dieser systematische Fehler meist < 5 Å.

Als Gesamtfehler ΔF der Bestimmung der Wellenlänge einer Spektrallinie werden die Einzelfehler gemäß

$$\Delta F = \Delta A_o + \frac{\Delta A_R}{\sqrt{n}} + \Delta s \quad (4)$$

addiert, wobei ΔA_o dem auflösungsbedingten Fehler der Objektaufnahme, ΔA_R demjenigen der Referenzaufnahme, n der Anzahl der Referenzspektren und Δs dem systematischen Fehler entspricht. Für den auflösungsbedingten Fehler wird dabei angenommen, dass er 1/10 der Auflösung des Spektrums beträgt, wenn die Wellenlänge durch einen Gauß-Fit der Emissionslinie bestimmt wird und das SNR des Spektrums ausreichend hoch ist. Die Dispersionsfunktionen der n Referenzaufnahmen werden unabhängig voneinander bestimmt und dann gemittelt. Natürlich könnte der Fehler durch die Verwendung mehrerer Objektaufnahmen weiter reduziert werden. Bei lichtschwachen Objekten ist es aber sinnvoller, die Einzelaufnahmen zu addieren („stacken“), um ein möglichst hohes SNR zu erhalten, und das addierte Spektrum auszumessen.

3. Rotverschiebung von Quasaren

Recht umfangreiche Daten zu weit entfernten lichtschwachen Quasaren enthält Ref. 6. Alle in diesem Artikel untersuchten Objekte sind darin aufgeführt. Eine detaillierte Liste von Emissionslinien, die aus einem Kompositspektrum aus über 2200 Quasarspektren erstellt wurde, ist in Ref. 7, Tabelle 2, zu finden. Neben der Ruhewellenlänge (für die Messung im Vakuum) ist dort auch eine mittlere relative Flussdichte im Vergleich zu Lyman α angegeben. Die stärksten Emissionslinien sind in Tabelle 1 mit deren Wellenlänge für die Messung in Luft aus Ref. 8 und deren relativem Fluß aus Ref. 7 aufgelistet.

Element	Wellenlänge [Å]	Relativer Fluss 100x F/Lyman α
H, Lyman α	1216	100
C IV	1548	25
Mg II	2798	15
H β	4861	9
O III	5007	2,5
H α	6563	31

Tab. 1: Starke Emissionslinien von Quasaren nach Ref. 7. Der relative Fluss ist in Prozent des Lyman α Flusses angegeben.

Der Quasar KUV 1821+643 im Sternbild Drache weist eine Helligkeit von 14,2 mag auf. Abbildung 2 zeigt dessen Spektrum aufgenommen am 10.06.2016. Das Spektrum wurde bei einem gutem Seeing von 2,6" bei f/8 aufgezeichnet. Das Kontinuum wurde korrigiert und auf 1 normiert. Es lassen sich deutlich vier Emissionslinien erkennen, wobei die H β und die O III Linie nicht vollständig voneinander getrennt sind.

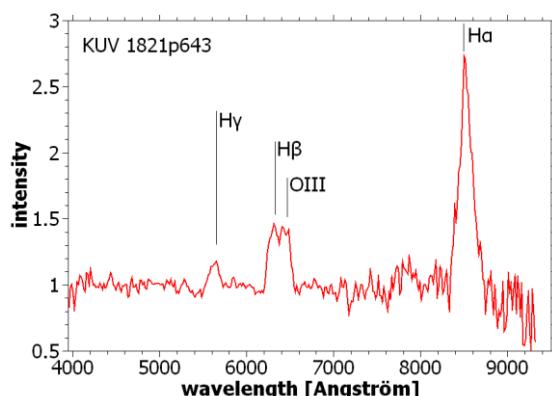


Abb. 2: Spektrum des Quasars KUV 1821+643, aufgenommen am 10.06.2016 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 1800 s.

Für jede Emissionslinie wurde die Rotverschiebung nach

$$z = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} \quad (5)$$

mit λ_1 der beobachteten und λ_2 der Laborwellenlänge der entsprechenden Emissionslinie bestimmt. Die für jede der vier Emissionslinien ermittelten z-Werte wurden gemittelt. Als Fehler wird der nach (4) berechnete Fehler für eine Einzelmessung angegeben. Man erhält: $z = (0,297 \pm 0,002)$. Das Ergebnis stimmt mit dem Literaturwert $z_{Lit} = 0,297$ überein.

Das am weitesten entfernte Objekt in der Liste der Quasare in [7] ist APM 08279+5255 mit einer Helligkeit von 15,2 mag im Sternbild Luchs. Abbildung 3 zeigt das Spektrum dieses Quasars. Die Aufnahmen mit einer Gesamtbelichtungszeit von 4200s erfolgten bei f/8 und 2x2-Binning des Kamerachips. Man erkennt eine scharfe Kante bei 5930 Å, die sich mit der Lyman α Linie identifizieren lässt.

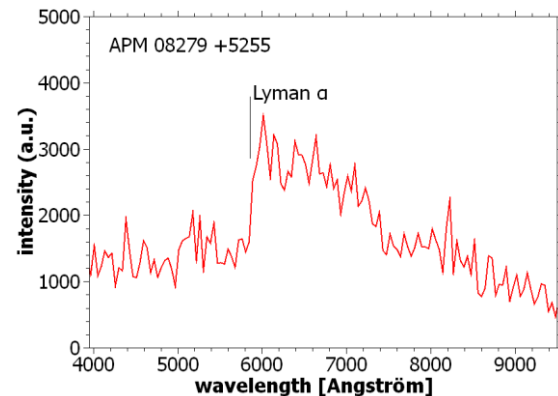


Abb. 3: Spektrum des Quasars APM 08279+5255, aufgenommen am 13.02.2017 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 4200s.

Berechnet man die Rotverschiebung aus der Position der Kante unter der Annahme, dass es sich um die Lyman α Emissionslinie handelt, ergibt sich $z = (3,88 \pm 0,03)$ in ausreichender Übereinstimmung mit dem Literaturwert von $z = 3,91$. Eine Unsicherheit tritt dadurch auf, dass die Emissionslinie nur als Kante erscheint, sich aber aus dem längerwelligen Kontinuum nicht trennen lässt. Das Linienmaximum liegt daher in Wirklichkeit bei etwas höheren Wellenlängen als die Kante.

Der Quasar APM 08279+5255 ist das Objekt mit der höchsten Rotverschiebung, das im Rahmen dieser Untersuchung beobachtet wurde. Es ist ein extrem leuchtkräftiges Objekt mit einer absoluten Helligkeit von $M = -31$ mag. Tatsächlich handelt es sich um ein Dreifachbild durch eine Gravitationslinse mit einem scheinbaren Abstand der Komponenten von 0,4", das mit dem Hubble Weltraumteleskop aufgelöst wurde.

Ein weiterer sehr weit entfernter Quasar ist 1422+231B im Sternbild Bootes. Das Objekt besitzt eine Helligkeit von 15,8 mag. Dessen Spektrum zeigt trotz der geringen Helligkeit sehr deutlich ausgeprägte Emissionslinien der Lyman α Linie und des dreifach ionisierten Kohlenstoffs C IV, siehe Abbildung 4. Es ergibt sich eine Rotverschiebung von $z = (3,62 \pm 0,01)$ in sehr guter Übereinstimmung mit dem Literaturwert von $z = 3,62$.

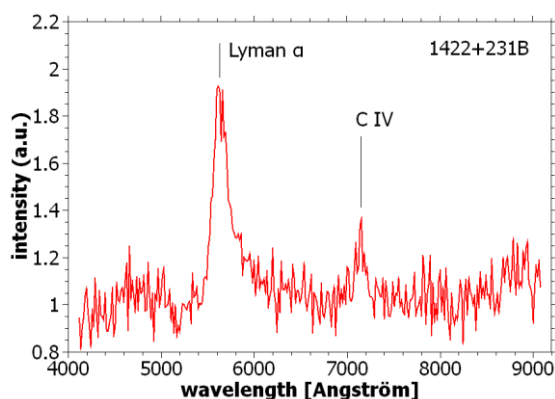


Abb. 4: Spektrum des Quasars 1422+231B, aufgenommen am 30.04.2017 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 2700s bei f/6. Das Spektrum wurde Kontinuum-korrigiert und auf 1 normiert.

Nochmals lichtschwächer ist der Quasar HS 0741+4741 im Sternbild Luchs. Dessen durch die geringe Objekthelligkeit von nur 16,4 mag stark verrauschtes Spektrum in Abbildung 5 zeigt Emissionslinien von Lyman α und C IV. Die gemessene Rotverschiebung beträgt $z = 3,21 \pm 0,01$ in guter Übereinstimmung mit dem Literaturwert $z = 3,22$.

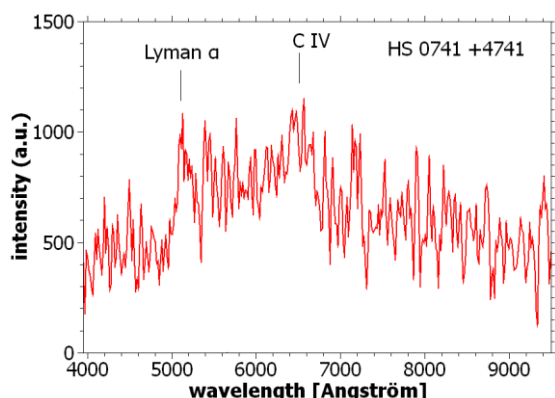


Abb. 5: Spektrum des Quasars HS 0741+4741, aufgenommen am 17.05.2017 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 1800s bei f/6.

Abbildung 6 zeigt das Spektrum des Quasars HS 1700+6416 im Sternbild Drache. Dem Spektrum ist ein Vordergrundstern überlagert.

Trotz starken Rauschens ist die C IV Emissionslinie sichtbar. An der erwarteten Position der Lyman α Linie (rot gepunktet in Abbildung 6) ist keine Emission zu erkennen. Trotz des Rauschens lässt sich aus der C IV Linie eine Rotverschiebung von $z = (2,76 \pm 0,02)$ bestimmen, in ausreichender Übereinstimmung zum Literaturwert von $z = 2,74$.

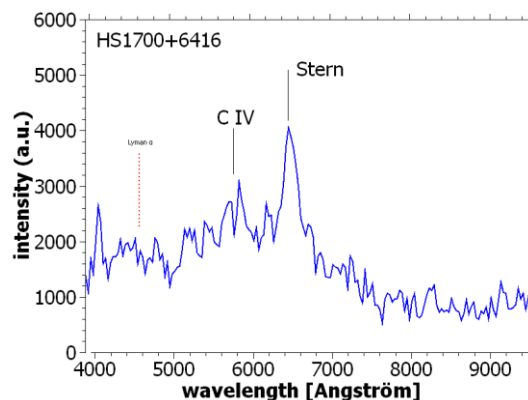


Abb. 6: Spektrum des Quasars HS 1700+6416, aufgenommen am 20.07.2016 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 4500s bei f/8.

Tabelle 2 zeigt zusammenfassend eine Auflistung der gemessenen Rotverschiebungen im Vergleich zu den Literaturwerten.

Objekt	m [mag]	z	z_{Lit}
KUV1821+643	14,2	$0,297 \pm 0,002$	0,297
APM 08279+5255	15,2	$3,88 \pm 0,03$	3,91
1422+231B	15,8	$3,62 \pm 0,01$	3,62
HS 0741 +4741	16,4	$3,21 \pm 0,01$	3,22
HS 1700 +6416	16,2	$2,76 \pm 0,02$	2,74

Tab. 2: Zusammenfassung der gemessenen Rotverschiebungen z im Vergleich zu den Literaturwerten z_{Lit} .

Die Rotverschiebung entsteht durch die kosmologische Expansion des Raumes und ist ein Maß für das Verhältnis des heutigen kosmologischen Skalenparameters $R(t_0)$ zu demjenigen zum Emissionszeitpunkt des Lichts $R(t_E)$ gemäß

$$z = \frac{R(t_0)}{R(t_E)} - 1 \quad (6)$$

Nähere Ausführungen zur kosmologischen Expansion sind in Ref. 2 zu finden.

Nicht alle Quasare zeigen Emissionslinien. So wurden auch Spektren der Objekte SS0041+81 im Cepheus, OJ287 im Krebs und UM425 im

Löwen aufgenommen, darin aber keine Emissionslinien gefunden.

4. Gravitationslinsen Quasar Q0957+561

Das bekannteste Beispiel eines durch eine Gravitationslinse verursachten Quasar-Doppelbildes ist das Objekt Q0957+561 im Sternbild Großer Bär. Die Linsengalaxie ist im Amateurfernrohr unsichtbar. Die beiden Quasarbilder haben Helligkeiten von 16,7 und 17,0 mag und sind 6" voneinander entfernt. Die Quelle ist variabel mit einer Amplitude von 0,2 mag. Das Objekt wurde erst im Jahre 1979 als Gravitationslinse entdeckt. Die Rotverschiebung beträgt $z = 1,41$. Spektren der beiden Teilbilder von Q0957+561 sind in Abbildung 7 gezeigt. Durch die sternreiche Nachbarschaft gestaltet es sich schwierig, eine Überlappung der beiden Objektspektren mit anderen Sternen oder Sternspektren zu vermeiden. Ein solcher, das Spektrum überlappende Stern wurde aus dem schwarzen Spektrum in Abbildung 7 manuell entfernt.

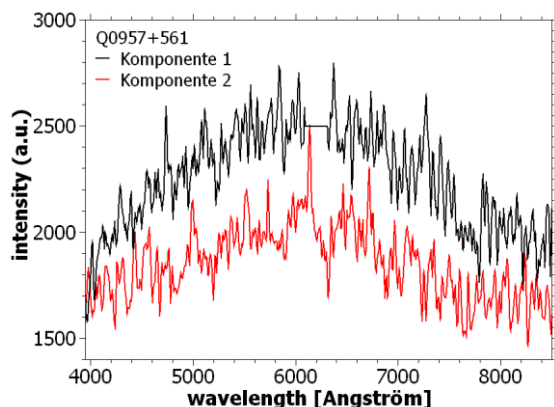


Abb. 7: Spektren der beiden Teilbilder der Gravitationslinse Q0957+561, aufgenommen am 27./28.05.2017 mit einer Gesamtbelichtungszeit von 10800 s bei f/6. Dem schwarzen Spektrum war ein Vordergrundstern überlagert, der zwischen 6000 und 6200 Å manuell entfernt wurde.

Die Spektren zeigen keine Emissionslinien. Von den möglichen Linien, die in Tabelle 1 aufgeführt sind, befände sich bei der Rotverschiebung von $z = 1,41$ nur die Mg II Linie mit einer Ruhewellenlänge von 2798 Å im visuellen Spektralbereich.

Nach einer sorgfältigen Korrektur des Untergrundes ist es aber möglich, die Kontinua der beiden Komponenten miteinander zu vergleichen. Dabei zeigt sich, dass beide Komponenten im Rahmen des Rauschens den gleichen Kontinuumsverlauf aufweisen. Dies ist ein Hinweis auf die Natur des Objekts als Gravitationslinse, die ein Doppelbild einer einzigen Ursprungsquelle erzeugt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit einem größeren Amateuerteleskop lassen sich unter Verwendung des Staranalysers auch unter einem Vorstadthimmel Quasare sehr hoher Rotverschiebung spektroskopieren. Der Quasar APM 08279+5255 stellt dabei mit einer Rotverschiebung von nahezu $z = 4$ einen persönlichen Entfernungsrekord dar.

Die schwächsten Objekte, an denen im Rahmen dieses Artikels Rotverschiebungen gemessen wurden, liegen zwischen 16,0 und 16,5 mag. Als beobachtungstechnisches „Grenzobjekt“ erscheint der Gravitationslinsen Quasar Q0957+561 mit einer Helligkeit der Teilbilder bis 17,0 mag und einer Separation von 6".

Bei der Spektroskopie solch schwacher Objekte muss man stark verrauschte Spektren auswerten. Dieser Artikel soll Mut machen, sich auch mit Amateurmitteln solch lichtschwacher exotischer Objekte anzunehmen. Viele Spektren, die auf den Rohbildern kaum vom Hintergrundrauschen zu unterscheiden sind, lassen sich mit einer Genauigkeit der Rotverschiebung von deutlich besser als 1% auswerten.

Dieser Artikel soll weiterhin Amateuren, die Zugang zu größeren Teleskopen an besseren Standorten haben, Beobachtungsanregungen liefern. Dabei könnten Spektrographen mit höherer Auflösung als es der Staranalyser ermöglicht Emissionslinien erkennbar werden lassen, die im Rahmen dieses Artikels nicht nachgewiesen werden konnten. Gerade im Fall des Gravitationslinsen Quasars Q0957+561 wären Spektren, die identische Emissionslinien beider Teilbilder zeigen, der direkte Beweis für das Auftreten einer Gravitationslinse. Weiterhin könnte untersucht werden, ob sich die optische Variabilität von Q0957+561 in einer Variation des Spektrums widerspiegelt. Wäre dies der Fall, könnte versucht werden, die Lichtlaufzeitdifferenz von 417 Tagen zwischen den beiden Bildern spektroskopisch nachzuweisen.

Sicher sind durch solche Messungen keine wissenschaftlich relevanten Erkenntnisse mehr zu erwarten. Es erscheint aber möglich, mit Amateurmitteln experimentell recht tiefgehende kosmologische Fragestellungen nachzuvollziehen.

Literatur

- [1] <http://www.patonhawksley.co.uk/staranalyser.html>
- [2] B. Bitnar, „Spektroskopie mit dem Staranalyser 100“, Spektrum 48 (2015) 7
- [3] U. Zurmühl, „Medium and high resolution spectroscopy with transmission gratings in slitless configuration“, Vortrag auf der ASpekt 2017

- [4] R. Bähr, „Fernes Licht, im Garten zerlegt“ SuW 2 (2015) 66
- [5] U. Zurmühl, „Transmission gratings – resolution optimization for convergent beam setups“, Spektrum 51 (2016) 10
- [6] W. Steinicke, „Galaxien“, interstellarum, Oculum Verlag 2012
- [7] D. E. van den Berk et al. „Composite quasar spectra from the Sloan Digital Sky Survey“, arXiv:astro-ph/0105231v1 (2001)
- [8] www.pa.uky.edu/~peter/atomic/index.html



Bernd Bitnar ist Physiker. Beruflich beschäftigt er sich mit der Entwicklung von Solarzellen und Leistungselektronikchips. Als Amateurastronom blickt er auf viele Jahre Deep Sky Photographie zurück. Seit geraumer Zeit ist die Stellarspektroskopie die neue Herausforderung, der in der eigenen kleinen Sternwarte nachgegangen wird.

„E1“ - ein Echelle-Spektrograph für die Amateurastronomie

Ulrich Waldschläger

Am Schmeding 39, 12685 Berlin, Germany, Email: xray@kabelmail.de

Zusammenfassung

Nach etwa drei Jahren Erfahrungen mit einem faser-gekoppelten f/10 Czerny-Turner Spektrographen an einem 10" LX200 und einem C14, entstand der Wunsch die analytische Leistungsfähigkeit mit Hilfe eines Echelle-Spektrographen deutlich zu verbessern. Die hier vorgestellte Technik entstand in den Jahren 2016/17 im Rahmen eines Selbstbauprojektes. Es werden das Konzept, die technische Umsetzung und die bisher bestimmten Leistungsparameter des Echelle-Spektrographen präsentiert. Darüber hinaus werden Möglichkeiten für eine weitere Verbesserung des Systems aufgezeigt.

Abstract

After about 3 years experiences in astro-spectroscopy with fiber linked f/10 Czerny-Turner spectrograph at 10" LX200 or 14" SCT set ups the motivation rises to improve the analytical performance and throughput by means of an Echelle-spectrograph. The presented technique was developed and set up in 2016 and 2017 within a self-made project. The concept, the technical solution and current performance will be presented. Furthermore, future opportunities for improvement will be described.

Received: 2017-10-23, Accepted: 2017-11-01

1. Einführung

Die Hauptmotivation für den Start dieses Entwicklungsprojektes im Jahr 2016 entstand ganz einfach aus den immer offensichtlicher werdenden Limitierungen eines bestehenden Astro-spektroskopie-Messplatzes [1]. Obwohl zahlreiche Optimierungen über die Jahre die analytische Leistungsfähigkeit der Instrumentierung verbessert hatten, blieb z.B. die Sensitivität des Systems doch hinter vergleichbaren Kombinationen von Teleskopen und direkt gekoppelten Spektrographen deutlich zurück. Dieser Mangel konnte auch nur zum Teil durch längere Messzeiten ausgeglichen werden.

Die zunehmende Anzahl von Projekten (Deneb, ϵ Per, Mizar, etc.) in denen ein erweiterter Spektralbereich parallel in einem begrenzten Zeitraum von Minuten oder Stunden mit ausreichender Auflösung und Signalqualität (SNR) aufgezeichnet werden muss, führte automatisch zum Konzept des Echelle-Spektrographen. Da aus eigener beruflicher Tätigkeit Erfahrungen im wissenschaftlichen Gerätebau vorhanden waren, lag es nahe, einen Echelle-Messplatz im Rahmen eines Eigenbauvorhabens zu realisieren.

Das Projekt wurde erheblich durch den existierenden Knowhow-Transfer aus zahlreichen Eigenbauprojekten [2,3], Produktanalysen [4,5], Literatur [6] und Software Tools [7,8] anderer Amateurastronomen und Firmen unterstützt. Ohne diesen Hintergrund hätte das Projekt

nicht in so relativ kurzer Zeit verwirklicht werden können.

Das nachfolgend beschriebene Messinstrument hat durchaus noch eine Reihe von Mängeln, die aber erst in einem zukünftigen Entwicklungsschritt eliminiert werden können. So gesehen war der zurückliegende Entwicklungsprozess zum Teil eine gewisse „Erfolgsstory“ und zum anderen aber auch eine Geschichte von Fehlern, Fehlschlägen und Kompromissen.

Die im Titel verwendete Bezeichnung „E1“ ist nicht als Branding eines zukünftig kommerziell verfügbaren Produktes zu verstehen. Viel mehr liegt es im Interesse des Autors, durch diesen Artikel andere Amateurastronomen für diese Technologie zu interessieren bzw. bei der Verwirklichung eines eigenen Projektes hilfreich zu sein.

2. Konzept des Echelle-Spektrographen

Die Entwicklung des Konzeptes für einen Spektrographen im Rahmen eines Selbstbauprojektes ist ein sehr komplexer Entscheidungsprozess. Üblicherweise startet man von einer vorhandenen Teleskoptechnik und den Randbedingungen der geplanten Beobachtungsprojekte mit einer groben Definition der analytischen Leistungsfähigkeit, z.B. dem spektralen Auflösungsvermögen. Hinzu kommt eine Reihe technischer Details zur optischen Kopplung, Kalibrierung und den Einstellmöglichkeiten des

Spektrographen, die für den analytischen Betrieb von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind. Nicht zuletzt spielen auch finanzielle Aspekte eine nicht unwesentliche Rolle.

Die technische Ausgangssituation bestand in diesem Fall aus einem 14" SCT „C14“ auf einer EQ8 Montierung und einer peltiergekühlten CCD-Kamera STF 8300 M von SBIG. Der Beobachtungsstandort in Berlin verfügt über ein typisches Seeing im Bereich von 4", das aber insbesondere im Winter auch durch den Einfluss lokaler Eigenheim-Heizungsanlagen etwas schlechter sein kann.

Zu den bis dahin bearbeiteten Aufgabenstellungen in der Astrospektroskopie gehörten die Analyse von Linienprofilen und die Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten. Aus diesen Gründen startete das Projekt mit folgenden Basisforderungen:

- Spektrale Auflösung im Bereich von 10.000 bis 20.000 bei einem variabel einstellbaren Eintrittsspalt von 20 ... 50 μm ,
- Spektralbereich von 400 bis 800 nm,
- Gute F-Zahl Anpassung an den Teleskopausgang,
- Hohe Stabilität des Systems unabhängig von der Teleskopposition,
- Geringe thermische Drift und
- Geringe Lichtverluste.

Eine der schwierigsten Entscheidung zu Beginn des Projektes war die Frage nach einer direkten oder einer lichtleiterbasierten Kopplung an das Teleskop. Hauptnachteile einer Faserkopplung sind zusätzliche Lichtverluste, FRD-Effekte (Focal Ratio Degradation) und Faserrauschen.

Demgegenüber stehen als Vorteile die wesentlich besseren Bedingungen für eine höhere Stabilität durch die mechanische und thermische Entkopplung des Spektrographen und des Teleskops. Weiterhin bietet die Bauweise als „Table-top“-Gerät die Möglichkeit, Materialien und Baugruppen zu verwenden, die man aus Gewichtsgründen bei einem direkt gekoppelten Spektrographen nicht in Betracht ziehen dürfte.

Da beim vorangegangenen Messplatz bereits erfolgreich Erfahrungen mit einer Faserkopplung gesammelt werden konnten, wurde die Entscheidung zu Gunsten dieses Prinzips gefällt.

Um das Entwicklungsrisiko zu minimieren, wurden beim Design außerdem Lösungen und Erfahrungen berücksichtigt, die bereits bei anderen Echelle-Spektrographen umgesetzt und gesammelt wurden. Dazu gehörten u.a. das kommerzielle System „eShel“ der Firma Shelyak,

der Eigenbau-Echelle „Dilines“ von Daniel Sablowski und diverse Eigenbauprojekte anderer Amateurastronomen wie Martin Huwiler, Lothar Schanne, Berthold Stober u.a.

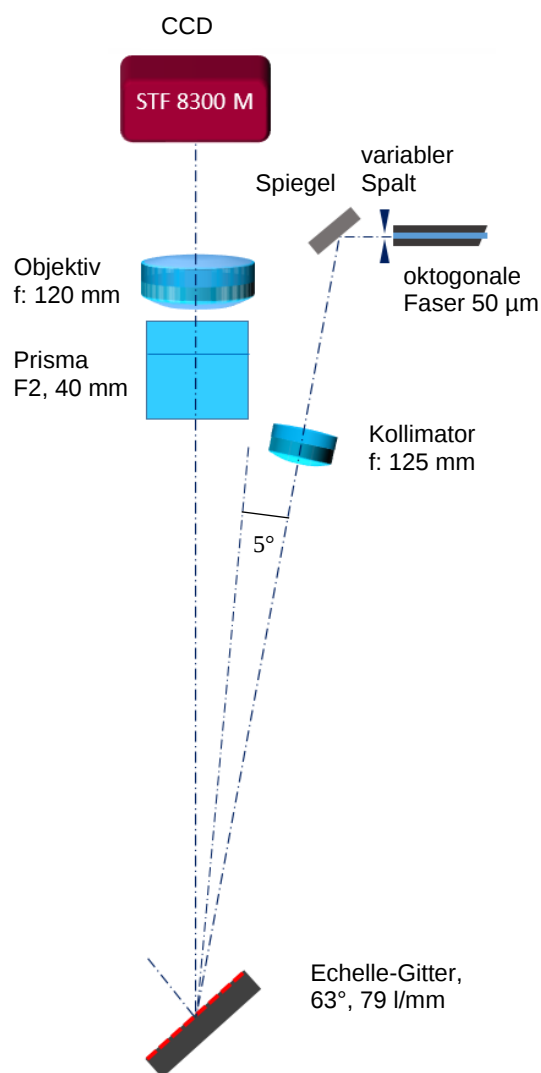


Abb. 1: Basiskonzept für das Funktionsmuster eines Echelle-Spektrographen.

Im nächsten Schritt wurde unter Zuhilfenahme des EXCEL-Tools SIMCHELLE und der Software SILENT (Autor: Daniel Sablowski) eine erste Basiskonfiguration mit folgenden Parametern definiert:

- Faserkopplung mit oktagonaler 50 μm -Faser (CeramOptec),
- Variabler Eintrittsspalt 0...100 μm (Zeiss),
- „Theta-Konfiguration“ des Strahlengangs mit $\theta = 5^\circ$,
- Kollimator: Achromat, $D = 18 \text{ mm}$, $f = 125 \text{ mm}$ (Edmund Optics),
- Echelle: „R2“, 79 Linien/mm, 63° , $50 \times 25 \text{ mm}^2$ (Thorlabs),
- Cross Disperser: F2 Prisma, $40 \times 40 \text{ mm}^2$ (KnightOptical),

- Kamera: Achromat, $D = 31,5 \text{ mm}$, $f = 125 \text{ mm}$ (Qioptiq),
- CCD: STF 8300 M (SBIG),
- Gehäuse: 20 mm Al-Basisplatte mit Sandwich-Gehäuse als Lichtschutz und
- Workflow mit „Baches-Routine“ unter MIDAS.

Abb.1 veranschaulicht das prinzipielle Design dieses Konzeptes. Hier nicht sichtbar ist die Kippung des Strahlengangs hinter dem Prisma aus der Bildebene heraus.

Da mit Echelle-Spektrographen keinerlei Erfahrungen vorlagen, begann die technische Umsetzung zunächst mit einem einfach modifizierbaren Funktionsmuster. Später, mit zunehmender Erfahrung, folgten nach einigen Optimierungen ein „Prototyp“ und schließlich ein „Beta-Gerät“.

Die optischen Komponenten wurden bei gängigen Lieferanten neu beschafft (s.o.). Das mechanische Design orientierte sich an dem Wunsch, möglichst alle wichtigen Komponenten mehrachsrig justieren zu können. Dabei konnte aus eigener beruflicher Tätigkeit auf einen gewissen Fundus an mechanischen Bauteilen aus verschrotteten Messgeräten zurückgegriffen werden. Fast alle diese aufwendigen Komponenten könnten aber auch relativ einfach durch Standard-Bauteile üblicher Lieferanten (z.B. Thorlabs) ersetzt werden.

3. Funktionsmuster

Abb. 2 zeigt eine allererste Version des Funktionsmusters. Auf der rechten Seite ist der Fiber-Port mit dem einstellbaren Eintrittsspalt und dem Umlenkspiegel zu sehen. Davor befindet sich der Kollimator und weiter unten im Bild das Echelle-Gitter. Weiter oben im Bild befinden sich das Prisma und die Kamera mit der CCD-Kamera (hier QHY8). Ebenfalls zu sehen sind die verschiedenen Linearschlitten für die Justage der Optikkomponenten. Für die Positionierung des Echelle-Gitters wurde eine ehemalige Justageeinheit eines Kristallmonochromators aus der Röntgendiffraktometrie verwendet. Diese verfügt über zwei horizontale Goniometerachsen, eine vertikale Rotationsachse und zwei horizontale Linearachsen. Alle Komponenten wurden auf einer 15 mm starken Al-Platte montiert. Das Funktionsmuster diente in erster Linie dazu, sich mit den Komponenten, dem Aufbau und der Justage eines Echelle-Spektrographen vertraut zu machen.

Beim Aufbau eines solchen Messgerätes muss man sich darüber im Klaren sein, dass alle relevanten Baugruppen bezüglich eines idealen

Strahlengangs drei Ortskoordinaten X, Y, Z und teilweise auch noch zwei bis drei relevante Winkelkoordinaten α, β, ω haben. Das macht insgesamt mehr als 40 Positionsparameter, um die man sich kümmern muss. Nicht alle diese Koordinaten sind gleichermaßen wichtig, aber leider sind viele Parameter voneinander abhängig. Ändert sich die Position des einen Bauteils, müssen häufig nachfolgende Bauteile nachjustiert werden.

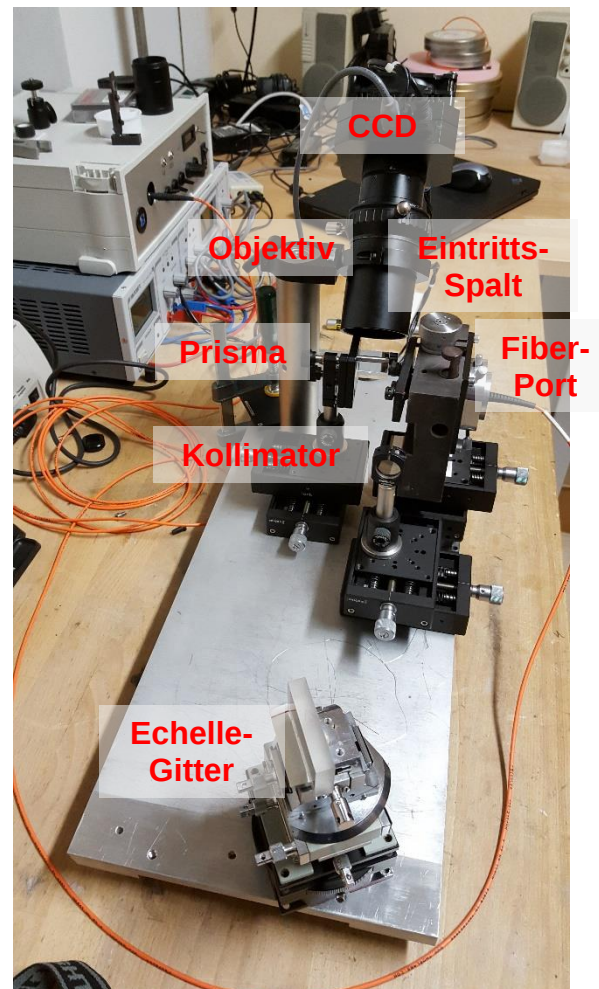


Abb. 2: Funktionsmuster für erste Tests.

Relativ schnell ergab sich darum auch der Bedarf für ein paar Hilfsmittel zur Justage des Systems. Abb. 3 zeigt beispielhaft einen einfachen Projektionsschirm mit „Skale“ (1), ein Messfernrohr (2) und einen ganz einfachen Justierlaser (3) auf Basis eines Laserpointers.

Das Messfernrohr dient in erster Linie der Justierung des Kollimators. Dazu stellt man das Fernrohr z.B. mit Hilfe eines Sterns auf unendlich ein und fixiert es anschließend. Der Ausgang der Lichtleitfaser wird dann unmittelbar bis an den Eintrittsspalt justiert und am anderen Ende mit einer nicht zu starken Lichtquelle ver-

bunden. Anschließend schaut man von der anderen Seite des Spalts aus Richtung des Echelle-Gitters (muss entfernt werden) über den Kollimator auf den Faserausgang und verstellt den Kollimator auf der optischen Achse solange, bis der Ausgang der Faser hinter dem Spalt scharf erscheint.



Abb. 3: Justier-Hilfsmittel: 1: Projektionsschirm mit Skala, 2: Messfernrohr, 3: Justierlaser

Mit dem Justierlaser im Fiber-Port und dem Projektionsschirm wurden die horizontale Strahlführung und die Zentrierung von Baugruppen im Strahlengang kontrolliert.

Die Gesamtjustage des Spektrographen erfordert durchaus Geduld, Sorgfalt und eine ständige Analyse der Ergebnisse. In der Regel durchläuft man den Prozess mehrmals bis man ein halbwegs zufriedenstellendes Ergebnis hat.

Wie sich dann auch relativ schnell herausstellte, war die Nutzung eines solchen Funktionsmusters von essentieller Bedeutung für das Projekt. So ergab sich z.B. relativ schnell nach der Inbetriebnahme des Funktionsmusters ein Widerspruch zwischen den gemessenen Spektren und den Berechnungen der Simulationssoftware. Insbesondere stimmte die Lage der verschiedenen Ordnungen nicht mit den Erwartungen überein. Bei einem Echelle-Spektrographen dieser Konfiguration liegt die H-alpha Wellenlänge z.B. relativ zentrisch in der 34. Ordnung. Dies wird auch durch Spektren anderer Spektrographen mit ähnlichen Parametern bestätigt. Auch die Länge und Lage der anderen Ordnungen wich eindeutig ab.

Als Anfänger war die erste und recht hartnäckige Annahme, dass es sich um einen Fehler

beim Aufbau und der Justage des Spektrographen handeln musste! Trotz zahlreicher Versuche und Überprüfungen der Konfiguration konnte das Problem nicht gelöst werden. Eine Kontrolle des Echelle-Gitters mit einem Meßmikroskop ergab zumindest bei der Liniendichte keine nennenswerten Abweichungen. Nachfragen zu Toleranzen beim Hersteller, ergaben auch kein Ergebnis und eine Vorrichtung zur Messung des Blaze-Winkels stand kurzfristig nicht zur Verfügung. Um das Problem etwas zu entschärfen, wurde der Entschluss gefasst, den Winkel Θ von 5° auf 7° zu erhöhen. Dadurch wanderte der interessierende Wellenlängenbereich etwas weiter in den Ordnungsbe- reich mit der höheren Intensität, verlor aber natürlich auch gleichzeitig an Intensität durch Abschattungseffekte am Gitter. Für eine genauere Betrachtung dieser und anderer Effekte sei nachdrücklich auf das Buch „Spectroscopic Instrumentation“ von Thomas Eversberg und Klaus Vollmann [6] verwiesen. Abb. 4 zeigt beispielhaft das Spektrum einer ThAr-Lampe, das mit diesem Funktionsmuster aufgenommen wurde.

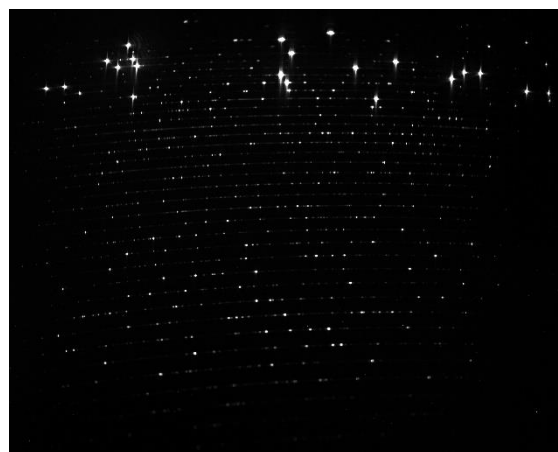


Abb. 4: Spektrum einer ThAr-Kalibrierlampe, aufgenommen mit dem Funktionsmuster aus Abb. 2.

Obwohl es sich bei der Kamera nur um einen einfachen Achromaten handelte, demonstrieren die ersten Spektren eine relativ gute Abbildungsqualität über einen weiten Spektralbereich. Trotzdem wurde entschieden, dass in der nächsten Entwicklungsstufe ein deutlich besseres Objektiv zur Anwendung kommt.

4. Prototyp

Basierend auf den Erfahrungen, die mit dem Funktionsmuster gemacht wurden, sollte im nächsten Entwicklungsschritt mit dem Prototyp ein Messsystem entstehen, das durchaus schon für den Einsatz am Teleskop geeignet ist.

Zu den wesentlichen Änderungen im Vergleich zum Funktionsmuster gehörten:

- Nutzung eines Canon-Objektives EF 135 mit Festbrennweite,
- CCD-Kamera STF 8300 M anstelle der QHY8,
- Lichtdichtes Gehäuse aus Sandwichplatten,
- Minimierung von Sekundärreflexionen und
- Verbesserter Umlenkspiegel am Eintrittsspalt.

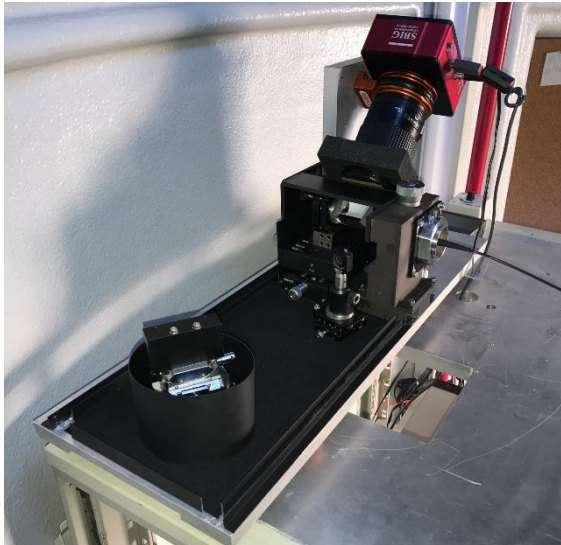


Abb. 5: Echelle-Prototyp ohne Gehäuse.

Abb. 5 zeigt den Echelle-Prototyp ohne Leichtbaugehäuse und Abb. 6 im geschlossenen Zustand. Der Gehäuseverschluss war zumindest so lichtdicht, dass man auch bei Tageslicht Spektren von Kalibrierquellen aufnehmen konnte ohne einen zusätzlichen Untergrund durch Streulicht zu haben. Zum Kompromiss bei der Nutzung des Canon-Objektives muss gesagt werden, dass auf der Negativseite neben den Anschaffungskosten (gebraucht, eBay, 645 €) natürlich zusätzliche Lichtverluste an den Grenzflächen stehen. Auf der Habenseite zählen aber die sehr guten Abbildungseigenschaften und der exzellente Komfort bei der Fokussierung des Spektrums. Leider ist die Blende des Objektives nur elektronisch verstellbar und steht nicht „live“ zur Verfügung.

Mit dem Prototyp wurden dann auch tatsächlich die ersten Sternspektren aufgenommen und der Workflow unter MIDAS installiert und trainiert. Die Kalibrierung des Systems erfolgte mit Hilfe einer selbst gebauten Kalibrierlichtquelle. Diese Lichtquelle verfügt über zwei Halogenlampen mit unterschiedlichen Filtern, die über einen Strahlteiler gemischt werden und über eine ThAr-HKL für die Wellenlängenkalibrierung.

Abb. 7 zeigt den gesamten Messplatz innerhalb der Kuppel.

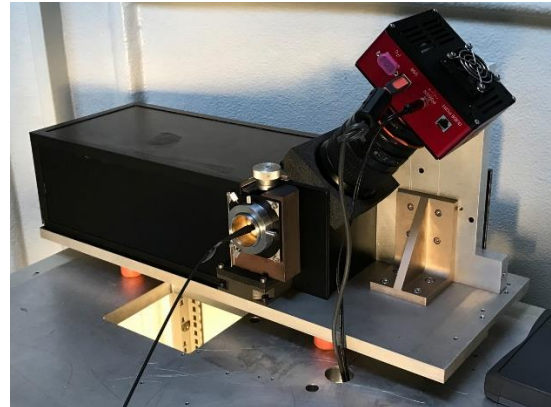


Abb. 6: Echelle-Prototyp ohne Gehäuse.

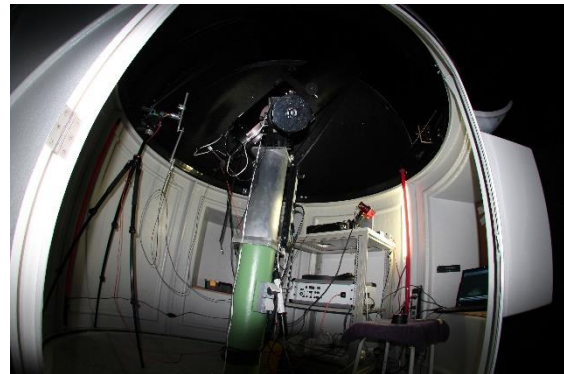


Abb. 7: Spektroskopie-Messplatz.

Bei diesen ersten Messreihen manifestierte sich dann auch zunehmend der Nachteil, dass sich einer der wichtigsten Spektralbereiche ($H\alpha$) im Echellogramm über zwei Ordnungen verteilt. Abb. 8 soll das anhand der 33. und 34. Ordnung des Spektrums von ζ UMa (Mizar) verdeutlichen.

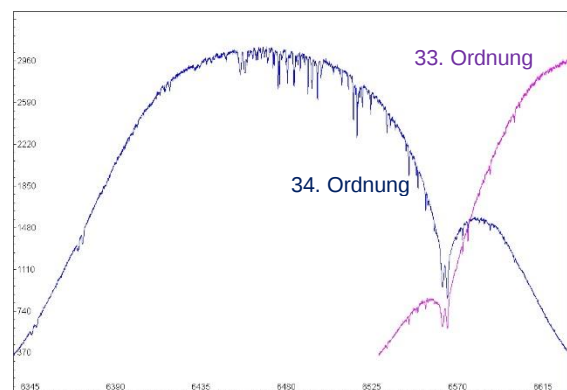


Abb. 8: Ordnungen 33 und 34 eines Spektrums von ζ UMa. Die wichtige Linie $H\alpha$ liegt in den Flanken der Intensitätsverteilungen der gezeigten Ordnungen.

Prinzipiell besteht natürlich die Möglichkeit den Überlapp beider Ordnungen aufzusummieren, doch führt dies zu zusätzlichen Problemen bei der ohnehin nicht ganz einfachen Normierung der Spektren.

Die mit dem System erreichte spektrale Auflösung entsprach relativ genau den Vorhersagen von SIMCHELLE. Abb. 9 zeigt die spektrale Auflösung für die verschiedenen Linien einer ThAr-HKL nach dem Kalibriervorgang unter MIDAS. Für eine Spaltbreite von 30 µm lag die mittlere Auflösung bei etwa 17.000.

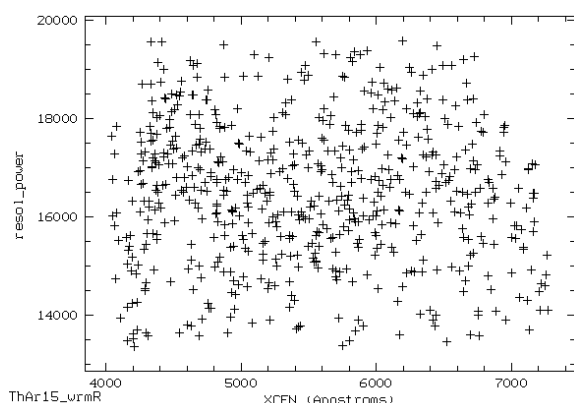


Abb. 9: Spektrale Auflösung für eine ThAr-HKL bei einem Eintrittsspalt von 30 µm.

Abgesehen von dem Detailproblem mit dem Echelle-Gitter konnten am Prototyp bereits die wichtigsten der unter Abschnitt 2 definierten Leistungsparameter erreicht werden. Ein erneuter Vergleich der Lage und Länge der Ordnungen der gemessenen Spektren mit den Berechnungen mittels SIMCHELLE ergab dann eine erstaunlich genaue Übereinstimmung, wenn für den Blaze-Winkel ein Wert von 61,2° angesetzt wurde. Eine ähnliche Übereinstimmung konnte in der Simulation durch die Variation anderer Parameter nicht erreicht werden.

Eine Erklärung für diesen Sachverhalt konnte man beim Lieferanten des Gitters auch nicht finden. Insbesondere deshalb nicht, da ja genau dieser Gittertyp in zahlreichen anderen Fällen seine Parameter bereits unter Beweis gestellt hatte.

5. Beta-Gerät

Die Probleme mit dem ersten Echelle-Gitter waren der Grund, warum für den Aufbau des „Beta-Gerätes“ als endgültigen Routine-Messplatz noch einmal ein alternatives Gitter aus dem „Over-Stock“ der Firma Richardson (Newport) beschafft wurde. Dieses Gitter besitzt folgende Werte:

- Typ: plan
- Linien/mm: 79 Linien/mm
- Blaze-Winkel: 63,43°
- Material: Zerodur
- Beschichtung: Aluminium
- Substratgröße: 40 x 60 x 16 mm³
- Gitterfläche: 35 x 56 mm²

Die Gittermaße sind etwas größer als für die gewählte Geometrie notwendig, bieten aber auch gleichzeitig Raum für zukünftige Experimente.

Neben dieser sehr wichtigen Modifikation gab es beim Aufbau des Beta-Gerätes noch drei weitere Veränderungen:

- Austausch des F2 Prisma mit 40 mm Kantenlänge durch ein F2 Prisma mit 60 mm Kantenlänge und AR-Beschichtung,
- Aufhängung der Kamera/Objektiv-Baugruppe an einem Linearschlitten und
- Neue 15 mm Al-Gussplatte „Alimex“.

Abb. 10 zeigt das Ergebnis des vorläufig letzten Entwicklungsschrittes bei abgenommenen Gehäuse.

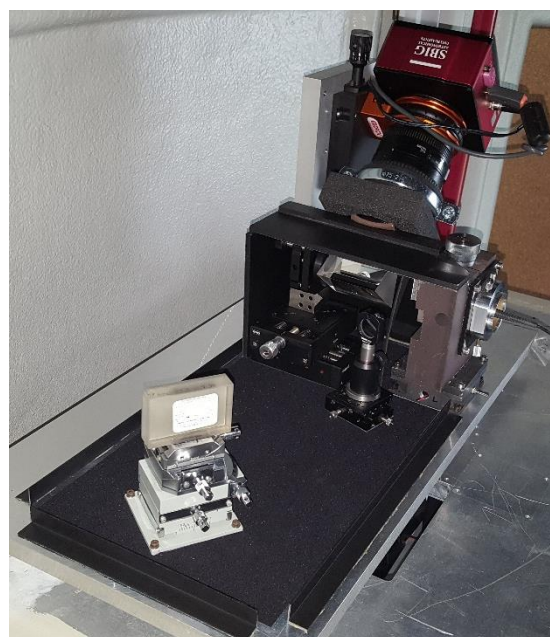


Abb. 10: Aktueller Echelle-Spektrograph für die Astrospektroskopie.

Das größere Prisma sollte die Justage erleichtern, mögliche Lichtverluste im Randbereich verhindern und eventuelle Streustrahlungseffekte an den matten Seitenflächen reduzieren. Der Linearschlitten an der Kamerabaugruppe dient einer etwas leichteren Positionierung dieser recht schweren Baugruppe.

6. Evaluierung des Spektrographen

Eine prinzipielle Evaluierung des Konzeptes bezüglich der analytischen Performance erfolgte bereits recht erfolgreich beim Prototyp. Die noch verbleibenden Tests befassten sich unter anderem mit dem neuen Gitter und der thermischen Drift des Systems.

Erfreulicherweise konnte das Problem der Echelle-Ordnungen mit dem neuen Gitter eindeutig gelöst werden.

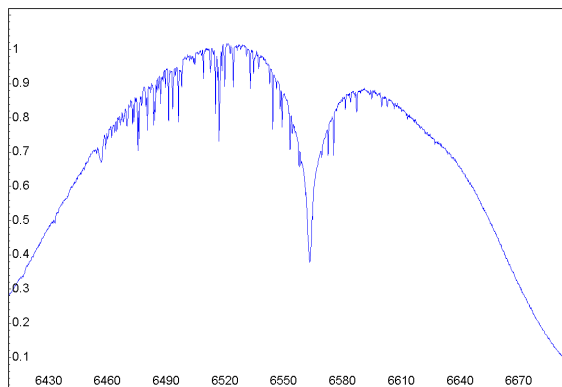


Abb. 11: Echelle-Ordnung 34, Mizar, 3 x 600 s.

Abb. 11 zeigt für ein Spektrum des Sterns Mizar den $H\alpha$ -Bereich in der 34. Ordnung. Das Spektrum ist ein Mittelwert aus 3 Messungen zu jeweils 600 s. Die maximalen ADU-Werte der Einzelmessungen lagen in dieser Ordnung bei ca. 30.000. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis betrug nach der Mittelwertbildung $S/N > 350$, die Auflösung lag bei 18.000.

Ein genauer Vergleich mit dem vorherigen Czerny-Turner Spektrographen bezüglich der Effizienz ist relativ schwierig und noch nicht abgeschlossen. Da der Czerny-Turner Spektrograph nicht mehr zur Verfügung steht, können die Leistungsparameter beider Spektrographen unter Laborbedingungen nicht mehr direkt verglichen werden. Es besteht aber die Möglichkeit, Sternspektren von beiden Systemen zu analysieren, die mit der gleichen Teleskop- und Kameratechnik gemacht wurden.

	Czerny-Turner	Echelle E1
Messzeit	3 x 1200 s	3 x 600 s
Binning	2 x 2	2 x 2
R	13.000	18.000
S/N	350	350

Tab. 1: Vergleich von Czerny-Turner und E1 bei Messungen am Stern Mizar, R ist die Auflösung, S/N das Signal-zu-Rausch-Verhältnis.

Tab. 1 zeigt exemplarisch das Ergebnis dieses Vergleichs für eine Stichprobe von drei Spektren des Sterns Mizar, die mit den verschiedenen Spektrographen entstanden. Alle Messungen wurden mit einem C14 auf einer EQ8 Montierung durchgeführt. Natürlich kann das kein repräsentativer Vergleich sein. Trotzdem deckt sich das Ergebnis sehr gut mit den Erfahrungen, die bisher mit dem neuen Messsystem gemacht wurden.

Ein abschließender Test des Systems beschäftigte sich noch mit der thermisch bedingten Drift der Wellenlängenkalibrierung und der Frage ob diesbezüglich zusätzliche Maßnahmen zur Stabilisierung notwendig sind.



Abb. 12: Klimakammer (Bruker Nano GmbH).

Erfreulicherweise stand für diesen Test zeitlich begrenzt eine Klimakammer im Fertigungsbereich der Firma Bruker Nano GmbH zur Verfügung. Abb.12 zeigt den Spektrographen innerhalb der Kammer, rechts hinter der Tür die Kalibrierlichtquelle und der Messrechner.

Ziel des Tests war die Simulation eines Temperaturabfalls um ca. 15 K und die Messung der damit verbundenen Drift. Dazu wurde in der Kammer ein entsprechendes Temperaturprofil gefahren und alle 5 min ein ThAr-Spektrum zusammen mit dem Temperaturwert innerhalb des Spektrographen aufgenommen.

Bei der Auswertung wurde dann für alle Spektren die gleiche Kalibrierung benutzt, die für die ersten Spektren bestimmt wurde, die Peak-Lage ausgewählter Linien aber neu über einen Fit bestimmt.

Abb. 13 zeigt die relative Änderung der Peak-Lage für drei ausgewählte Linien des ThAr-Spektrums. Das negative Vorzeichen der Drift bedeutet eine scheinbare Verschiebung der Spektrallinien zu kürzeren Wellenlängen. Der Grafik kann man entnehmen, dass die Temperatur in drei Schritten verändert und eine maximale Temperaturdifferenz von ca. 16 K erreicht wurde.

Die Messwerte zeigen eine relativ zeitnahe Verschiebung der Linien bei Temperaturabnahme. Warum diese Dynamik nicht gleichermaßen bei Temperaturzunahme zu beobachten war, konnte noch nicht geklärt werden. Für eine erste Betrachtung sind die Werte aber schon sehr hilfreich und ermöglichen eine Abschätzung der Linien-Verschiebung bei bestimmten Temperaturveränderungen:

- 4348,06 Å: 0,032 Å / K
- 5231,16 Å: 0,043 Å / K
- 6531,34 Å: 0,049 Å / K

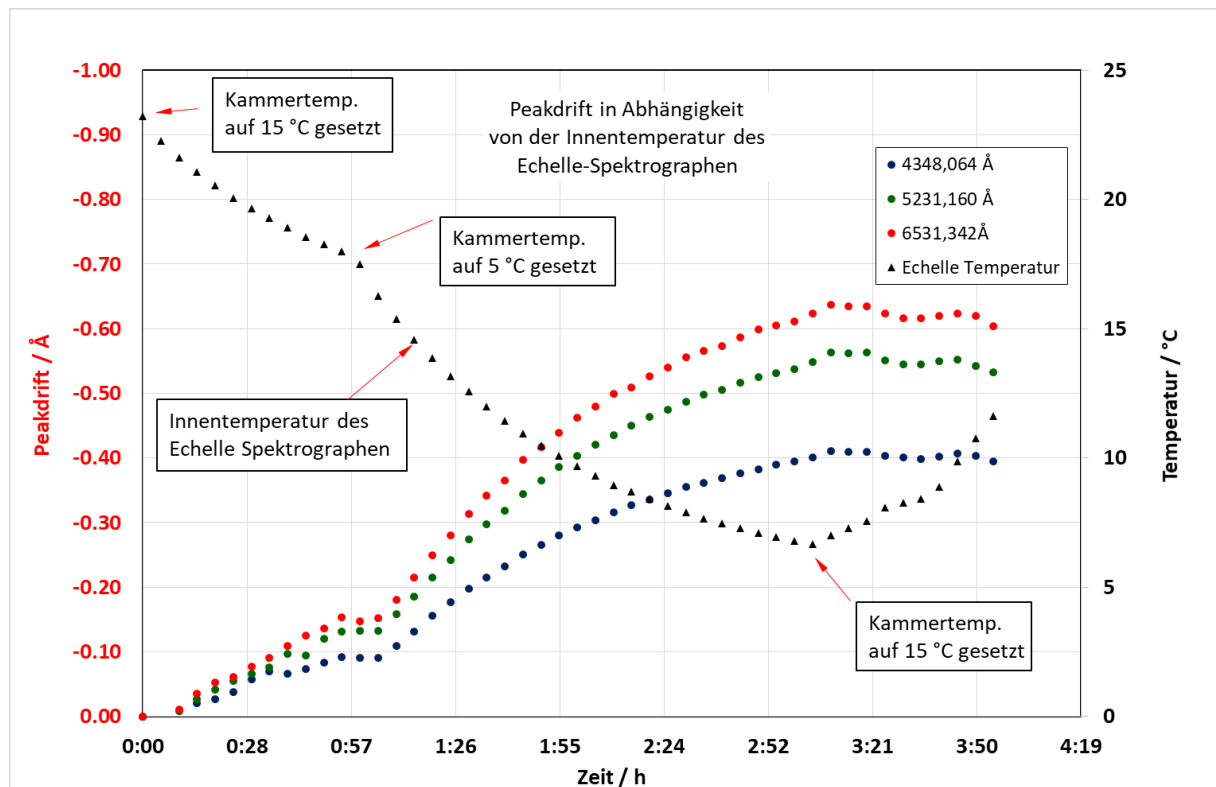


Abb. 13: Zeitliche Änderung der Linienposition bei Änderung der Spektrographentemperatur.

Für eine Radialgeschwindigkeitsbestimmung ergibt sich damit bei 6531,34 Å ein Fehler von 2,25 km/s pro Grad Kelvin Temperaturänderung. Das ist zwar kein besonders großer Fehler, für ambitionierte Projekte aber schon relevant und bestätigt noch einmal den Bedarf bei längeren Messreihen relativ häufig zu kalibrieren und vor allem über Nacht den Temperaturgang zu beobachten. Inzwischen werden natürlich auch Überlegungen zu einer thermischen Stabilisierung des Systems angestellt.

7. Fazit

Im Rahmen dieses Artikels konnten natürlich nicht alle Aspekte dieses Projektes beleuchtet werden. Die Beschreibung des Fiber-Ports, der Kalibrierlichtquelle und der Datenreduktion unter MIDAS müssen weiteren Berichten vorbehalten bleiben.

Mit ca. 10 Monaten war die Dauer für dieses Vorhaben innerhalb eines Freizeitprojektes sogar relativ kurz. Die mehr oder weniger intensive Vorbereitung hatte natürlich wesentlich länger gedauert. Vor allem wäre ohne die direkte Unterstützung von Fachkollegen und die vielen Beiträge im Forum der Fachgruppe Spektroskopie dieses Projekt nie zustande gekommen. Mein besonderer Dank gilt hier stellvertretend den Fachkollegen:

- Daniel Sablowski,
- Siegfried Hold,
- Lothar Schanne,
- Thomas Eversberg und
- Berthold Stober.

Aufgrund des Echelle-Gitters von Richardson, dem Festbrennweitenobjektiv von Canon und einiger mechanischer Komponenten waren die Beschaffungskosten (ohne CCD) für das Beta-Gerät mit ca. 3.800 € relativ hoch. Nicht enthal-

ten sind in diesen Kosten die bereits vorhandenen Linearschlitten für die Optikkomponenten, die Verstelleinheit für das Gitter, der Fiber-Port am Spektrographen und der einstellbare Spalt von Zeiss. D.h. selbst bei Verwendung eines günstigen Echelle-Gitters von Thorlabs (ca.200 €) und geschickter Auswahl von mechanischen Komponenten, muss bei komplettem Neubau eines solchen Spektrographen mit ähnlichen Materialkosten gerechnet werden.

Insgesamt stellt dieser Echelle-Spektrograph zusammen mit der Kalibrierlichtquelle im Vergleich zum vorherigen Messplatz einen erheblichen Fortschritt dar. Das bezieht sich sowohl auf den Spektralbereich als auch auf die Empfindlichkeit des Gesamtsystems. Aktuell werden 25 Ordnungen des Echelle-Spektrums in einem Bereich von 400 bis 750 nm ausgewertet. Weitere Ordnungen im blauen und roten Bereich wären sogar noch verfügbar.

Nach wie vor gibt es noch Raum für Verbesserungen im Messprozess. Dazu gehören unter anderem die Auswerteroutinen unter MIDAS und die Optimierung der Messparameter für die jeweiligen Fragestellungen.

Die neuen Möglichkeiten führen natürlich auch zu neuen Herausforderungen. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass ein Echelle-Messplatz natürlich auch Datenmengen erzeugt, die gehandelt sein wollen.

Verweise

- [1] U. Waldschläger, „Faserkoppelung eines Laborgitterspektrographen OVA 284 an ein 10" SCT - erste Erfahrungen“, Spektrum 45 (2013) 4
- [2] D.P. Sablowski, M.M. Roth, „ESpekDiko – Ein Echellespektrograph für Amateurbeobachtungen“, Vorlesung Astrophysikalische Instrumente, AIP Potsdam, 02/2013, <http://spektroskopie.fg-vds.de/downloads/Dokumentation%20ESpekDiko.pdf>
- [3] B. Stober, „Echelle-Spektroskopie für Amateure?“, VdS Journal für Astronomie 53 (2015) 48
- [4] R. Walker, „SQUES Echelle Spektrograf, Erste Eindrücke“, Version 1.2, September 2012, <https://www.astronomie.info/forum/viewtopic.php?f=28&t=5597>
- [5] T. Eversberg, „Off-the-shelf Spectroscopy: Two Devices on the Test Block“, PASP, 128 (2016) 115001
- [6] T. Eversberg, K. Vollmann, „Spectroscopic Instrumentation“, Springer Verlag 2015
- [7] SIMCHELLE.xls, „Software zur Berechnung eines Echelle-Spektrographen“, <http://spektroskopie.fg-vds.de/>
- [8] Daniel Sablowski, SILENT, Software zur Berechnung und Simulation von Echelle-Spektrographen <https://dpsablowski.wordpress.com/silent/>



Ulrich Waldschläger ist Physiker und arbeitet seit 23 Jahren in der industriellen Forschung an der Entwicklung von energiedispersiven Röntgenanalysegeräten. Seit 2012 beschäftigt er sich am Stadtrand von Berlin in seiner Freizeit mit der Astrospektroskopie.

Beobachtung von β Cephei im November 2017

Christian Netzel

Breitbendenstraße 94, 52080 Aachen-Eilendorf, Germany, Email: chr_netzel@gmx.de

Zusammenfassung

Beta Cephei (β Cep), auch unter dem Namen Alfirk bekannt, ist der Namensgeber einer kleinen Gruppe von pulsierenden Sternen, den Beta Cepheiden. Diese Objekte dürfen keinesfalls mit der sehr viel größeren Gruppe der Delta Cepheiden, auch einfach Cepheiden genannt, verwechselt werden. Bei beiden Arten von Variablen ist der sogenannte κ -Mechanismus als Ursache für die Pulsation verantwortlich. Im Gegensatz zu den Cepheiden ist die Helligkeitsschwankung als auch deren Periode sehr klein. Die kurzen Perioden von wenigen Stunden ermöglichen es, eine volle Pulsationsperiode ohne Unterbrechung spektroskopisch in einer Nacht zu beobachten und daraus unter Ausnutzung des Dopplereffektes Pulsations- und Radialgeschwindigkeit zu bestimmen.

Abstract

Beta Cephei (β Cep), also known as Alfirk, is the name giving member of a small group of stars, the Beta Cepheids. These objects must not mix up with the well-known Cepheids which forms a much larger group and are named after Delta Cepheids. For both groups the so called κ -mechanism is responsible for the pulsation. The Beta Cepheids show smaller brightness variations as well as shorter periods than the Cepheids. The short periods of some hours allow for a continuous observation over a full period without a break during a single night. Therefore, using the Doppler effect, pulsation and radial velocities can be easily determined.

Received: 2018-01-09, Revised: 2018-02-07, Accepted: 2018-02-20

Objekt

Beta Cephei ist der Namensgeber einer Klasse von pulsationsveränderlichen Sterne mit Spektraltypen zwischen B0.5 und B2 etwas oberhalb der Hauptreihe [1], die etwa 30 Objekte umfasst (Helligkeit $< 13,5$ mag) [2]. Die Helligkeit schwankt mit einer Amplitude von $< 0,2$ mag und Perioden zwischen 3 und 7 h. Die Leuchtkraftklassen liegen zwischen I und V, meistens sind es aber Riesen mit III und Unterriesen mit IV.

Die Pulsationsperiode von β Cep (HD 205021) beträgt $0,1904844$ d = 4 h 34 min 17,85 s [3].

Weitere Kenndaten sind [1]

RA (J2000.0): 21h 28m 39,6s

Dec (J2000.0): $+70^\circ 33' 39''$

Scheinbare Helligkeit: 3,15 - 3,21 mag

Spektralklasse: B2

Entfernung: 700 Lj

Radius: $5,5 R_\odot$

Oberflächentemperatur: 14.600 K

β Cep hat einen Begleiter mit einer Umlaufperiode von $(91,6 \pm 3,7)$ a [4]. Die Existenz eines weiteren Begleiters wird von manchen Autoren angenommen [5].

Der κ -Mechanismus

Die Pulsation wird durch den sogenannten κ -Mechanismus verursacht [6]. Mit κ bezeichnet man die Opazität (genauer die Rosseland-Opazität als gewichteter Mittelwert der frequenzabhängigen Opazität κ_ν)

$$\kappa_\nu = \alpha_\nu / \rho \quad (1)$$

mit α_ν dem frequenzabhängigen Absorptionskoeffizienten und ρ der Materiedichte [7].

Unter der Voraussetzung, dass es einen Bereich im Sterninneren gibt, in dem die Opazität mit steigender Temperatur zunimmt, läuft folgender Zyklus ab:

Da die Strahlung nur ungenügend entweichen kann, wird es noch wärmer. Der Stern dehnt sich dann aus, d. h. er leistet Arbeit. Dadurch sinkt die Temperatur und damit sinkt auch die Opazität. Es kann mehr Licht entweichen. Der Stern wird wieder kleiner und damit wärmer. Dem zu Folge steigt wieder die Opazität und der Prozess wiederholt sich. Im Fall von β Cep wird vermutet, dass die Pulsation in tiefen Schichten mit $T \approx 150.000$ K (Ionisationszone des Eisen) getrieben wird.

Beobachtung und Auswertung

Die Spektren wurden mit einem Lhires III zusammen mit einem C11 und einer Atik 383L+ als CCD-Kamera erstellt. Das verwendete Gitter hatte 2.400 Linien/mm, der Spalt eine Breite von 35 μm . Die Dispersion betrug 0,135 $\text{\AA}/\text{Pixel}$ unter Berücksichtigung des 2x2 Binning, die spektrale Auflösung $R = 13.000$ bei einem Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 80. Zur Wellenlängenkalibrierung wurde die eingebaute Ne/Ar-Lampe verwendet.

Am 3.11.2017 wurden 28 Spektren mit jeweils 300 s Belichtungszeit im H α -Bereich aufgenommen, entsprechend einer halben Pulsationsperiode. Am 22.11.2017 folgten 60 Spektren ebenfalls mit 300 s Belichtung und 5 Kalibrationsspektren. Vor der Aufnahme des ersten Objektspektrums wurde ein Kalibrationsspektrum erstellt, danach ein weiteres nach jeweils 12 Objektspektren, also pro Stunde ein Ne-Ar-Spektrum. Die gesamte Beobachtungszeit am 22.11.2017 betrug daher etwas mehr als 5 Stunden, was mehr als einer Periode entspricht.

Die Reduktion und Auswertung wurde mit IRAF 2.16.1 durchgeführt. Da die durch die Kalibrationsspektren erzielte Genauigkeit nur $\sim 0,1 \text{ \AA} \approx 5 \text{ km/s}$ beträgt, wurde mittels der tellurischen O $_2$ - und H $_2$ O-Linien eine Nachkorrektur durchgeführt, was zu einer Genauigkeit von 1,5 km/s führte. Abschließend erfolgte eine heliozentrische Korrektur der Wellenlänge λ bzw Radialgeschwindigkeit (RV) v_r .

Wegen des Dopplereffektes durch die Pulsation und der Eigenbewegung von β Cep als auch der Bewegung der Erde um die Sonne sind die Linien spektral verschoben. Die gemessene RV ist:

$$v_r = c \cdot \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (2)$$

mit c als Lichtgeschwindigkeit, λ_{obs} der beobachteten Wellenlänge und λ_0 die Ruhewellenlänge. Ein negativer Wert der RV bedeutet eine Blauverschiebung, das Objekt nähert sich dem Beobachter. Rotverschiebung bedeutet Bewegung vom Beobachter weg. Die Spektrallinien aus Tab. 1 wurden zur Bestimmung der RV verwendet.

Linie	λ_0 [$\text{\AA}$]	
	Ref. 3	Ref. 8
H α	6.562,817	6.562,79
C II	6.578,052	6.578,05
C II	6.582,882	6.582,88

O II	6.640,994	6.641,054
He I	6.678,151	6.678,151
Si IV	6.701,205	6.701,21
O II	6.721,358	6.721,398

Tab. 1: Die in der Untersuchung zur Bestimmung der RV benutzten Spektrallinien.

Ergebnisse

Abb. 1 zeigt beispielhaft ein Objektspektrum und ein Kalibrationsspektrum. Leicht erkennt man bereits im Objektspektrum die H α - und He-Linien. In Abb. 2 ist das normierte Spektrum dargestellt.

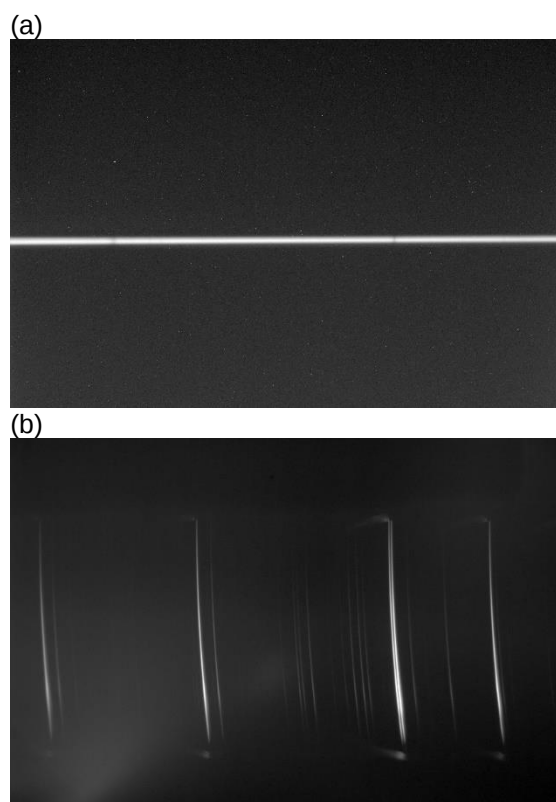


Abb. 1: (a) Spektrum von β Cep mit deutlich sichtbaren H α - und He I-Linien – links und rechts im Spektralfaden. (b) Zugehöriges Kalibrationsspektrum.

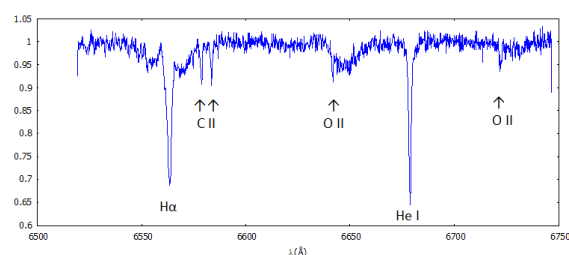


Abb. 2: Normiertes Spektrum mit den Linien, die zur RV-Untersuchung herangezogen wurden. Si IV bei 6701 $\text{\AA}$ ist nicht sichtbar.

Die sich aus den einzelnen Linien ergebenden RV zeigt Abb. 3. Die Si-Linie war nur selten beobachtbar, da sie meistens vom Rauschen überdeckt wurde. Die He-Linie zeigt ab $t = 0,34$, die O II-Linie ($\lambda 6641$) ab $t = 0,37$ ein abweichendes Verhalten vom Trend aller anderen Linien. Es hat den Anschein, als würden die He-Atome zwischen $t = 0,34$ und $0,36$ noch weiter eine gleichmäßige Beschleunigung erfahren und die O II-Ionen ($\lambda 6641$) ab $t = 0,37$ nicht beschleunigt werden. In früheren Arbeiten wird ein derartiger Befund nicht erwähnt.

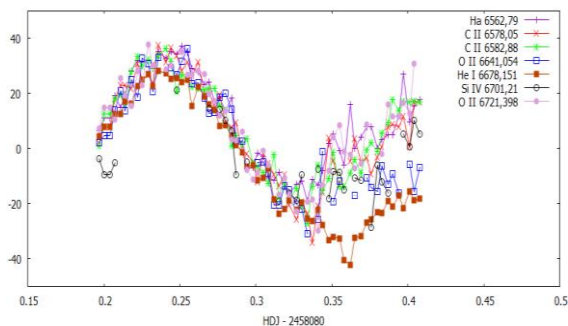


Abb. 3: Zeitverlauf der RV in km/s der beobachteten Linien. He I und O II ($\lambda 6641$) weichen im letzten Teil der Pulsation vom allgemeinen Trend der anderen Linien ab.

Den zeitlichen Verlauf für das über alle untersuchten Linien aus Tab. 2 gemittelten RV gibt Abb. 4 wieder, vergleiche auch Ref. 9.

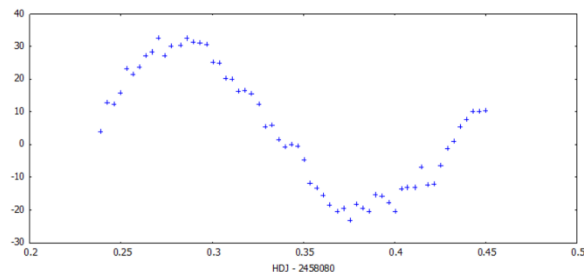


Abb. 4: Zeitverlauf der gemittelten RV in km/s der beobachteten Linien über die Pulsationsperiode.

Die gemittelte Radialgeschwindigkeit beträgt $(4,3 \pm 1,5)$ km/s, wenn man die NIST-Ruhewerte zugrunde legt. Die von Hadrava und Harmanec verwendeten Ruhewerte ergeben $-3,2$ km/s. Demgegenüber ergaben frühere Messungen von Hadrava und Harmanec aus 1996:

HJD 2450284,45: $-18,87$ km/s
HJD 2450285,46: $-18,35$ km/s
HJD 2450286,55: $-19,11$ km/s
HJD 2450291,45: $-18,08$ km/s

Die Abweichungen beruhen auf dem gravitativen Einfluss des Begleiters.

Aus dem zeitlichen Verlauf der RV lässt sich durch Integration der scheinbar zurückgelegte Weg eines Punkts auf der Sternoberfläche berechnen. Mit anderen Worten, wir können ermitteln, wie stark β Cep pulsiert. Da am Rand des Sterns die pulsationsgetriebene RV stets verschwindet, erfordert dies einen zusätzlichen Faktor 1,3 bis 1,4 [10], der in Abb. 5 nicht berücksichtigt wurde.

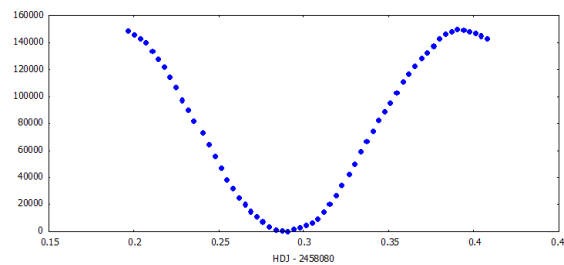


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Pulsation als Radiusänderung in km aus der Integration der RV.

Fazit

Es konnte durch die Beobachtung über mehr als eine Pulsationsperiode die Radialgeschwindigkeit und das Ausmaß der Pulsation von β Cep ermittelt werden. Da die mittlere RV wegen des Begleiters variiert, sollte diese Messung in bestimmten Abständen wiederholt werden, um die Bahnelemente genauer zu bestimmen.

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Beta-Cephei-Stern>, Abruf: 30.01.2018
- [2] N.N. Samus et al., General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1, Astronomy Reports, 61 (2017) 80 <http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs/>
- [3] P. Hadrava and P. Harmanec P., A&A 315 (1996) L401
- [4] A. Pigulski and D.A. Boratyn, A&A 253 (1992) 178
- [5] R.S. Schnerr et al., A&A 459 (2006) L21
- [6] R. Kippenhahn and A. Weigert, Stellar Structure and Evolution, Springer-Verlag, 1994
- [7] E. Böhm-Vitense, Introduction to Stellar Astrophysics, Vol. 3, Cambridge University Press, 1992
- [8] NIST Webseite, https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html Downloaddatum 06.02.2018
- [9] E.A. Panko and A.E. Tarasov, Odessa Astronomical Publications 12 (1999) 227
- [10] J.R. Percy, Understanding Variable Stars, Cambridge University Press, 2007



Christian Netzel war nach dem Studium von Mathematik und Physik, dass er mit einer Promotion abschloss, als Versicherungsmathematiker tätig. Seit mehr als 10 Jahren interessiert er sich für Astronomie mit Schwerpunkt Spektroskopie.

Die ASpekt17 in St. Niklausen, Schweiz – Tagungsbericht

Rainer Borchmann

Bäuminghausstraße 150, 45326 Essen, Germany; E-Mail: Rainer@Borchmann.de

Zusammenfassung

Die Jahreskonferenz der Fachgruppe ASpekt17 fand erstmals in der Schweiz statt. Mein persönliches Fazit: Eine gelungene Konferenz mit Teilnehmern aus Portugal, Österreich, Deutschland und der Schweiz in wunderschöner Umgebung mit herausragenden Vorträgen und Postern wird in Erinnerung bleiben.

Abstract

ASpekt17, the annual meeting of the section group, took place in Switzerland for the first time. My personal summary: A successful conference with participants from Portugal, Austria, Germany and Switzerland in beautiful surroundings with great talks and poster will be remembered.

Received: 2018-02-19, Revised: 2018-04-03, Accepted: 2018-04-07

Unsere Fachgruppe wollte der stärker werden, den Zusammenarbeit der europäischen Spektroskopiker auch mit der Wahl des Tagungsortes Ausdruck geben. Die Konferenz bietet eine Plattform, auf der sich die interessierten Liebhaber*innen mit Profis, Einsteigern und Fortgeschrittenen über Aufnahmetechniken, Auswertungen, Veröffentlichungen und Didaktik spektroskopischer Arbeiten informieren können. Nicht zuletzt ist das persönliche Kennenlernen immer auch eine gute Grundlage zur Profilierung kleiner Projektteams.

Über 40 Teilnehmer aus Portugal, Österreich, Deutschland und der Schweiz haben den teilweise sehr langen Anfahrtsweg in Kauf genommen, um über Doppler-Tomographie, WR- und O-Sterne, Stickstoffvariationen auf unserer Sonne, Echelle-Spektrographenselbstbau und den Vergleich mit Profiinstrumenten zu reden. Wir hätten uns sehr gefreut, wenn auch unserer französischen Kollegen in den Kanton Zürich gekommen wären. Alles in allem lebt die Spektroskopieszene in Europa durch ein hohes Maß an Bescheidenheit, Kompetenz und gegenseitiger Achtung; und das gefällt mir jedes Jahr aufs Neue.

Durch die intensive Beschäftigung mit der Physik des Lichtes, mit der mathematischen Beschreibung von Brechung und Beugung, begreift auch der Einsteiger, wie man aus ein paar hundert Euro Einsatz einen kleinen Beitrag für die Wissenschaft und einen großen zur eigenen Befriedigung bei der Frage, was die Welt wohl zusammenhält, erreichen kann. Und Spaß macht es auch noch. Die Staranalysernutzer – oft als die ewigen Einsteiger bezeichnet (je-

mand sagte: Mob!) – können sehr wohl den Profis Auflösungsvermögen von mehr als 20.000 präsentieren, und dass bei deutlich geringerem finanziellen Aufwand.

St. Niklausen? Irgendwo in der Schweiz? JA.

Seit Jahren besuchen Schweizer Amateure „unsere“ VdS-Konferenzen in Deutschland. So entstand schon 2012 in Bad Boll die Idee, ein Treffen in der Schweiz durchzuführen. 2015 in Freiburg haben wir die Schweizer Kollegen Patricia Otero und Thomas Blank angesprochen, ob sie nicht Lust haben, so eine Unternehmung mit zu organisieren. Wir leben schließlich in Europa, im 21. Jahrhundert.

Meine größte Sorge dabei: Alles musste in zwei verschiedenen Währungen organisiert werden, die keinen festen Umtauschkurs besitzen. Das wird ein Organisationsspaß werden. Und 2015 wollte ein deutscher Finanzminister mal so nebenbei die Kavallerie in die Schweiz schicken. Aber letztendlich hat alles funktioniert, sogar bis zur ausreichenden Anzahl von 220V-Adaptoren für unsere Notebooks.

Was macht man, wenn man in ein fremdes, wenn auch nahes Land kommt? Man macht sich schlau über Geschichte und Gepflogenheiten des Gastgebers, das Gästehaus des Klosters Bethanien in St. Niklausen. Das haben Bruder Thomas und Schwester Christa aus der Klosterführung im ersten Vortrag übernommen. Da wir nicht zuletzt aus Kostengründen bei unseren Tagungen gerne kirchliche Tagungshäuser bevorzugen, können wir feststellen: das war der freundlichste Aufenthalt, der uns je geboten wurde. Viele der Teilnehmer hatten deshalb

auch Freunde und Partner mitgebracht und sind länger geblieben. Weiterhin begrüßte uns der Präsident der Schweizer Astronomischen Gesellschaft (SAG), Christian Wernli herzlich.



Abb. 1: Gästehaus Kloster Betanien in St. Niklausen, CH



Abb. 2: Bruder Thomas und Schwester Christa stellen das Gästehaus, das Dominikanerkloster und die Gemeinschaft Chemin Neuf vor.

Nun zu den Vorträgen: In den letzten Jahren hat Bernd Bitnar immer mit seinem Vortrag die Konferenz eröffnet. Wir haben das auch dieses Jahr wieder so gehalten. Bernd kann mit seiner Erfahrung im praktischen Beobachten, Auswerten und Publizieren unsere Teilnehmer immer bestens auf die Tagung einstellen. Außerdem gehört er zur „Berlin-Dresden-Beobachtungsgruppe“ mit Ulrich Waldschläger und Christian Brock, die im Team auch große Projekte stemmen können. Ihr Vortrag „Spectroscopic investigation of an eclipsing binary system“ stellte Algol unter den Gesichtspunkten:

- $H\alpha$ emission structure observed in Algol spectra
- Separation of emission from $H\alpha$ absorption line
- Introduction to velocity space analysis
- Outlook: Doppler tomography vor.



Abb. 3: Grußworte des Präsidenten der SAG Christian Wernli.

Algol als Bedeckungsveränderlicher wechselt seine scheinbare Helligkeit zwischen 2,3 und 3,5 mag mit einer Periode von 2,87 Tagen. Seine Helligkeit macht ihn attraktiv für uns Amateure, auch mit höherer Auflösung über mehrere Perioden zu beobachten. Das Algol-System zeigt eine prominente $H\alpha$ -Emissionsstruktur mit Variationen als Funktion der Umlaufphase. Die Emissionsstruktur wird auf einen Hot Spot zurückgeführt. Mit der Doppler-Tomographie werden Bilder von Algol im Geschwindigkeitsraum erzeugt.



Abb. 4: Bernd Bitnar.

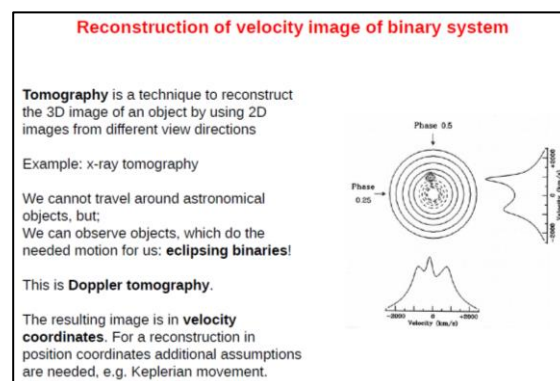


Abb. 5: Aus dem Vortrag von Bernd Bitnar.

Thomas Eversberg, der die Amateurszene auf jeder Konferenz mit neuesten Ergebnissen der Profiastronomen „versorgt“, hatte auch dieses Mal einen Beitrag zu Be- und WR-Sternen mitgebracht. Dabei zeigt sich, dass sich die Amateurergebnisse aus internationalen Kampagnen gegenüber denen der Profis nicht verstecken müssen. Das „Geheimnis“ dabei ist die monatelange Zusammenarbeit der Amateure. Das ist nicht einfach; müssen doch Messmethoden, Arbeitszeiten, Kalibrierungen und Auswertungen untereinander koordiniert und abgeglichen werden. Aber es lohnt sich, wie die Ergebnisse zeigen: durch eine Kampagne ließen sogar Oberflächenphänomene von ζ Pup nachweisen.



Abb. 6: Thomas Eversberg.

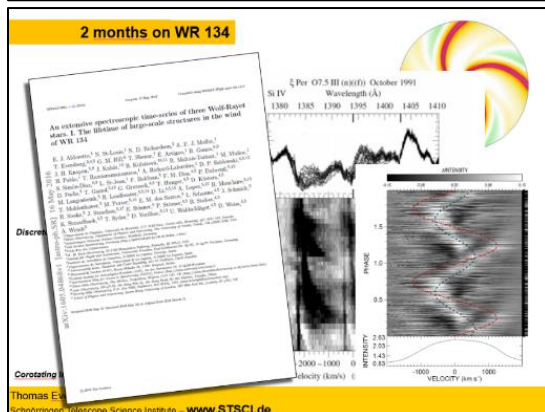
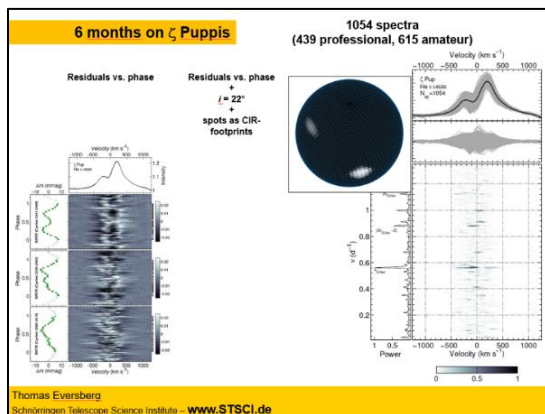


Abb. 7: Aus der Präsentation von Thomas Eversberg über ζ Pup und WR134.

Dieter Goretzki's Vortrag schloss sich an. Wir alle kennen Dieter Goretzki als einen der wenigen Beobachter unserer Sonne in unserer Gruppe. Sein Vortrag beleuchtet die Variation der beiden stabilen Stickstoff-Isotope im gesamten solaren System: Sonne, Planeten, Meteorite, Monde. Er erläuterte, wie man zu der Angabe einer „kosmischen Elementverteilung“ gelangt. Zudem zeigte er die Möglichkeiten, wie man die Isotopenverteilung von der Erde aus und mit Missionen (z.B. Huygens und Genesis) messen kann.



Abb. 8: Dieter Goretzki.

Herbert Pühringer brachte wieder einmal seine Schüler mit zur Konferenz. So begann die Nachmittagssitzung mit dem Vortrag von Matthäus Kammerlander zur „Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit von Jupiter nach der Dopplerformel“.



Abb. 9: Matthäus Kammerlander.

Es schloss sich der Vortrag von Harald Dauermann „Do-it-yourself project to develop, build and run a multipurpose fiber coupled Echelle

Spectrometer" an. Er zeigte die Entwicklung von Hard- und Software für seinen Eigenbau-Échelle-Spektrographen. Als Softwareentwickler hat mich besonders seine Software interessiert. Er zeigte Ergebnisse an β Lyr, β CMi und P Cyg.



Abb. 10: Harald Daumann.

In seinem zweiten Vortrag berichtete Thomas Eversberg über den Vergleich von zwei kommerziell erhältlichen Échelle-Spektrographen: BACHES von Baader Planetarium und eShel von Shelyak Instruments. Die Vor- und Nachteile sowie realistische Einschätzung des Leistungsvermögens wurden gegeben.



Abb. 12: Richard Walker.

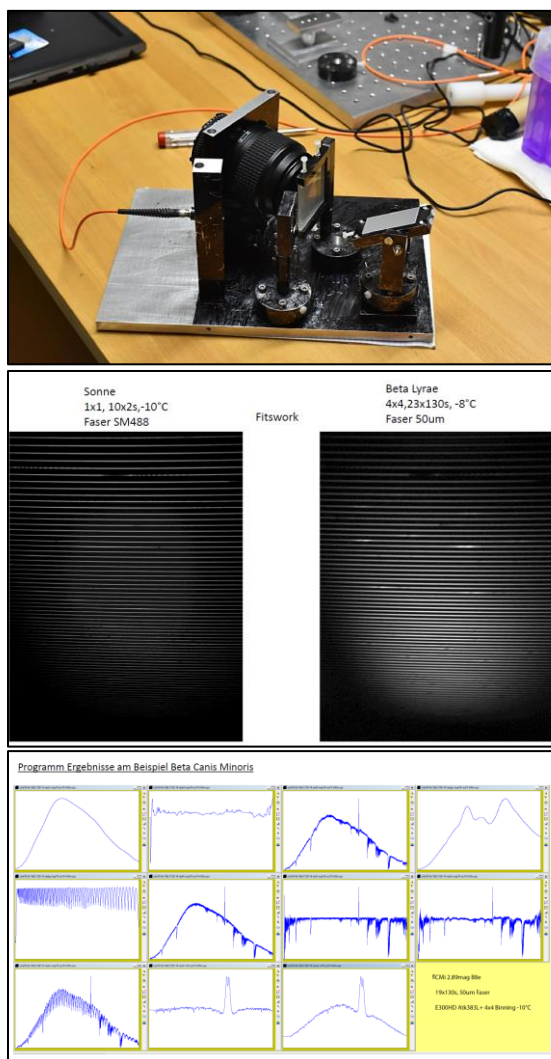


Abb. 11: Aus der Präsentation von Harald Daumann.

Richard Walker ist sicherlich vielen Amateuren ein Begriff. Viele haben die verschiedenen PDF-Versionen seines Spektralatlases auf dem Rechner. Der Spektralatlas ist in den letzten Jahren das Standardwerk geworden. Wer jetzt, nachdem der Spektralatlas als Buch erschienen ist, eine Verkaufspräsentation erwartete, der wurde in seinen Erwartungen enttäuscht. Richard Walker gelang es mit seinem Bericht über seinen Spektralatlas einen weiten Bogen über die Möglichkeiten eines Spektroskopie-Amateurs zu spannen und zeigte Höhepunkte in Beobachtung und Auswertung. Ein spannender Bericht mit hohem Unterhaltungswert für den Zuhörer.

Der letzte Vortrag am Samstag zum Thema „Wir bauen einen Spektrographen, was müssen wir alles beachten?“ war drei weiteren Schülern von Herbert Pühringer vom Herz-Jesu-Gymnasium, Salzburg, vorbehalten. Diese Schülergruppe (Nikolaus Webersberger, Matteo Kucher, Robert Kallinger) ist Preisträger unseres Spektroskopiepreises 2018. Der einleitende Vortrag über das Projekt führte direkt in eine moderierte Diskussion im Plenum über. Denn, wenn man so kompetente Zuhörer wie auf unserer Tagung hat, dann ist ein gegenseitiger Gedanken- und Fragensaustausch eine naheliegende feine Sache – eben auch im Rahmen eines Vortrages. Solch offene Diskussionsrunden sollten wir öfter durchführen.



Abb. 13: Nikolaus Webersberger, Matteo Kucher, Robert Kallinger.

Der Samstagabend klang nach einem stärken- den Abendbrot in geselliger Runde unter dem Schweizer Sternhimmel aus.

Den Sonntagvormittag eröffnete Thomas Hunger mit einem Vortrag zur Rückschau auf 25 Jahren FG Spektroskopie. Danach stand die Wahl des Fachgruppensprechers und seiner Vertreter an. Für unsere FG darf ich für weitere vier Jahre der Sprecher sein, Thomas Hunger und Ulrich Waldschläger sind die Stellvertreter.

Anschließend folgte ein weiteres Highlight der Konferenz - ein weiterer Vortrag zum Thema Echelle. Der Vortrag „Measuring the throughput in spectrographs“ von Carlos Guirao und Gerardo Avila aus der bekannten CAOS-Gruppe spannte den Bogen von den theoretischen Erklärungen zur Effizienz von Spektrographen über die verwendeten Fiber-Optiken und den Reflexionen, denen ein Lichtstrahl im Spektrographen ausgesetzt ist. Auch Vergleiche zwischen Gittern und Prismen wurde zur Bewertung herangezogen. Selbstverständlich gehörte auch die Kamera-Effizienz zum Vortragsthema. Alle die Punkte demonstrierten Carlos Guirao und Gerardo Avila live in ihrem Vortrag. Die Demonstration war dicht umlagert.



Abb. 14: Carlos Guirao und Gerardo Avila umringt während der praktischen Vorführung.

Die Spektroskopiker, die mit einem Staranalyser unterwegs sind, werden bei vielen Konferenzen oft als die ewigen Einsteiger bezeichnet. Ich zähle ja selbst zu dieser Gruppe von Ama-

teuren. Das der Staranalyser dennoch bemerkenswerte Ergebnisse liefern kann, zeigte Uwe Zurmühl in seinem Vortrag, dem ich in der Vorbereitung mehr Raum hätte einräumen müssen. Denn Uwe Zurmühl zeigte, was alles nötig ist, um das einfache Durchlichtgitter zu einem ernstgemeinten Instrument für Hobby-Astronomen zu machen. Aber das wusste ich zum Zeitpunkt der Vortragsanmeldung leider noch nicht. Uwe Zurmühl zählte das so auf: Da wären erst einmal unendliche Neugier die mit einem großen Wissen um die physikalischen Vorgänge der Licht Entstehung und den mathematisch-physikalischen Vorgängen im Spektroskop gepaart sein müssen. Einfach ein paar bunte Streifen auf eine CCD zu zaubern und mit einer Software auszuwerten, deren inneren Funktionen man nicht kennt... das macht Spaß und man kann ein bisschen auf den Stern schauen. Aber der Staranalyser kann mehr, wenn man die Mathematik dahinter versteht. So zeigt Uwe Zurmühl tatsächlich, wie man hochauflösende Spektren mit dem Staranalyser erreichen kann.



Abb. 15: Uwe Zurmühl.

Wie man mit einfachen Mitteln ein $R > 20.000$ erreichen kann, dürfte auch bei den anwesenden Profis mehr als nur ein Aufblicken ausgelöst haben. Wenn es eines Tages für den besten Vortrag einen Preis gegeben würde, dann hätte Uwe Zurmühl diesen Preis schon 2017 gewonnen. Vielleicht sollten wir in der FG wirklich überlegen jedes Jahr den besten Vortrag zu wählen und auszuzeichnen?

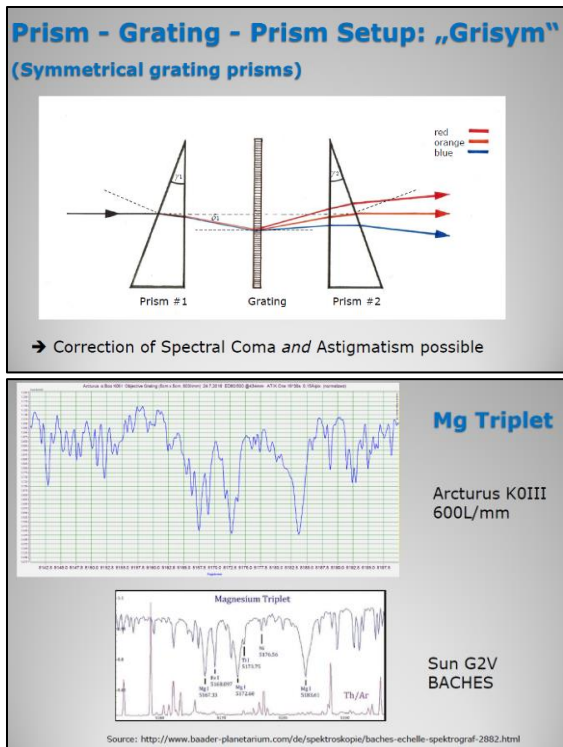


Abb. 16: Aus dem Vortrag von Uwe Zurmühl.

Sebastian Heß, der die kommende Konferenz in Frankfurt mitorganisiert, schloss sich mit einem Vortrag über die von ihm verfasste freie Software Spektrosoft (<http://www.sebastian-hess.eu/software.html>) an. Ein weiteres Softwarethema also. Sebastian ließ uns an der Entwicklung von Software für die Spektroskopie teilhaben. Er entwickelt mittels Java. Das zeigt dem kundigen Leser, dass seine Software auf allen gängigen Plattformen läuft und mit einfachen Mitteln auch einsehbar ist. So wird aus der Software nicht unbedingt eine schwarze Box, in die wir Messwerte hinlegen und ein Spektrum kommt heraus, von dem wir aber nicht genau wissen, wie es entstanden ist. Ein Problem ist nun einmal, das kommerzielle Anwender ihren Code schützen und wir als Amateure um Transparenz bemüht sind.



Abb. 17: Sebastian Heß.

Neben dem eigentlichen Vortragsprogramm gab es eine Postersitzung mit den Beiträgen:

- Jochem Berlemann, „Moderne Technologien für Spektrographen“
- Ulrich Waldschläger, „Ein neuer Echelle, Inbetriebnahme, erste Ergebnisse“
- Ulrich Waldschläger, „E1“ und „C2“ - ein Echelle Spektrograph und eine Kalibrier Lichtquelle für die Amateur-Astrospektroskopie“

Die von Ulrich Waldschläger vorgestellte Technik entstand in den Jahren 2016/17 im Rahmen eines Selbstbauprojektes. Es wurden das Konzept, die technische Umsetzung und die bisher bestimmten Leistungsparameter des Echelle-Messplatzes präsentiert. Darüber hinaus zeigte das Poster die Möglichkeiten für eine weitere Verbesserung des Systems auf.



Abb. 18: Marc Eichenberger und Roland Stadler während der Führung in der Sternwarte Hubelmatt.



Abb. 19: Sonnenspektrum von Hubelmatt mit „Omo-UV-Erweiterung“.

Der Sonntagnachmittag wurde mit einer Exkursion zur Sternwarte Hubelmatt in Luzern fortgeführt. Das war eine würdige Abschlussveranstaltung unserer Konferenz 2017 mit detaillierter Führung durch Roland Stadler und Marc Eichenberger, einen Blick auf einen Originalrefraktor von Utzschneider / Fraunhofer und einem Sonnenspektrum mit „Omo-UV-Erweiterung“.

Die Konferenz lebt von vielen Mitmachern, die ihre Freizeit für ein gutes Gelingen opfern. Gerit Grutzek und Thomas Eversberg pflegen die Webseiten und „Mastermind“ vor Ort war Patricia Otero. Diese Zusammenarbeit hat mir viel Spaß bereitet, weil Patricia perfekt alle Problemchen von Steckdosenadaptoren bis hin zur Bierkühlung und nicht zuletzt die Exkursion zur Hubelmatt-Sternwarte sauber gemanagt hat. Es

ist schön, mit fachlich versierten, kompetenten Kollegen zusammenarbeiten zu dürfen, die auch über die kleinen Klippen schweizerischer Bürokratie helfen.

Einige Vorträge wurden zur Veröffentlichung freigegeben. Aber das sind noch zu wenig, um daraus z.B. einen Vortragsband zu entwickeln. Wir werden uns zukünftig sehr bemühen müssen, alle Vorträge einzusammeln und daraus eine Übersicht über downloadbare Vorträge und Präsentationen zu gestalten. Bisher geht das hier gezeigte Wissen einfach zu oft für die Öffentlichkeit verloren.

Nur wenige Vorträge sind so eingereicht worden, dass sie ohne Überarbeitung veröffentlicht werden können. Mein Wunsch ist es, dass sich

in den nächsten Jahren hier ein Redakteur findet, der seine private Wissensbasis mit den neuesten Vorträgen ausbauen möchte und dieses neue Wissen quasi auf dem Präsentiertablett serviert bekommt. So könnte mit der Zeit ein Archiv der Konferenzen entstehen, wo das Wissen geordnet und dann schnell zugreifbar ist. Gibt es jemanden, der diese Chance nutzen möchte?

Wer das Vortragsmaterial zu einzelnen Vorträgen zum Nachlesen nutzen möchte, der schreibe mir bitte eine persönliche Mail. Wir werden uns 2018 in Frankfurt treffen und ich freue mich schon, viele Teilnehmer der Tagung in St. Niklausen wieder zu sehen.

Bildautor (außer Vortragsfolien): Thomas Hunger



Abb. 20: Gruppenbild.



Rainer Borchmann beschäftigt sich seit seiner Schulzeit mit Astronomie und war Mitglied einer Jugendgruppe an der Sternwarte Rostock. Im Alter von 14 Jahren baute er sich sein erstes Teleskop aus dem legendären Bausatz von Carl Zeiss Jena (50/540). Nach Studium, erster Arbeitsstelle in einem

AKW und politischer Wende in der DDR kam er Anfang der 2000er Jahre zurück in die beobachtende Rolle bei der Liebhaberastronomie. Die fürchterliche Luftverschmutzung am seinem heutigen Wohnort Essen führte ihn schließlich zur Spektroskopie, wo er als Sprecher der Fachgruppe agiert. Ziele für die nächsten Jahre sind eine bessere Verbindung der fortgeschrittenen Kollegen untereinander für engagierte Kampagnen (auch Pro/Am) zu organisieren und unsere herbstlichen Workshops weiter auszubauen, um junge und erfahrene Amateurastronomen an dieses Hobby heranzuführen.

Daniel P. Sablowski & Lothar F. Schanne:
Astrophysikalische Instrumentierung und
Messtechnik für die Spektroskopie – Theo-
rie, Praxis, Technik und Beobachtung
Selbstverlag, 1. Auflage 2018, 595 Seiten
und 508 Abbildungen, ISBN: 978-3-00-
058833-4

Ein erheblicher Teil unseres heutigen Wissens über das Universum basiert auf der spektroskopischen Analyse von Licht. So ist es dann auch nicht verwunderlich, dass die Astrospektroskopie zu einem der interessantesten Betätigungsfelder für Amateurastronomen gehört und sich wachsender Beliebtheit erfreut. Gleichzeitig ist die Astrospektroskopie aber auch eines der methodisch und instrumentell anspruchsvollsten Themen, dem man sich in der Astronomie zuwenden kann. Das wissen die beiden Autoren

Daniel Sablowski und Lothar Schanne aus eigener, langjähriger Erfahrung nur zu gut.

Auf dem Weg von den ersten Sternspektren, die man vielleicht mit einem Transmissionsgitter noch relativ einfach macht, bis hin zu professionellen Daten, die das Interesse von Profiastronomen finden, ist man nicht selten mit einer Vielzahl von anspruchsvollen Herausforderungen konfrontiert. Das kann dann schon zu Frustration und zeitweiliger Entmutigung führen. Die gute Nachricht ist, es gab bereits Amateurastronomen, die diesen Weg gegangen sind und immer noch gehen. Damit sind wir beim Zweck dieses Buches. Eine der wichtigsten Aussagen der Autoren aus dem Vorwort der ersten Auflage ist: „Das größte Ziel ist es, die Leser vor den eigenen Fehlern der Autoren zu bewahren“.

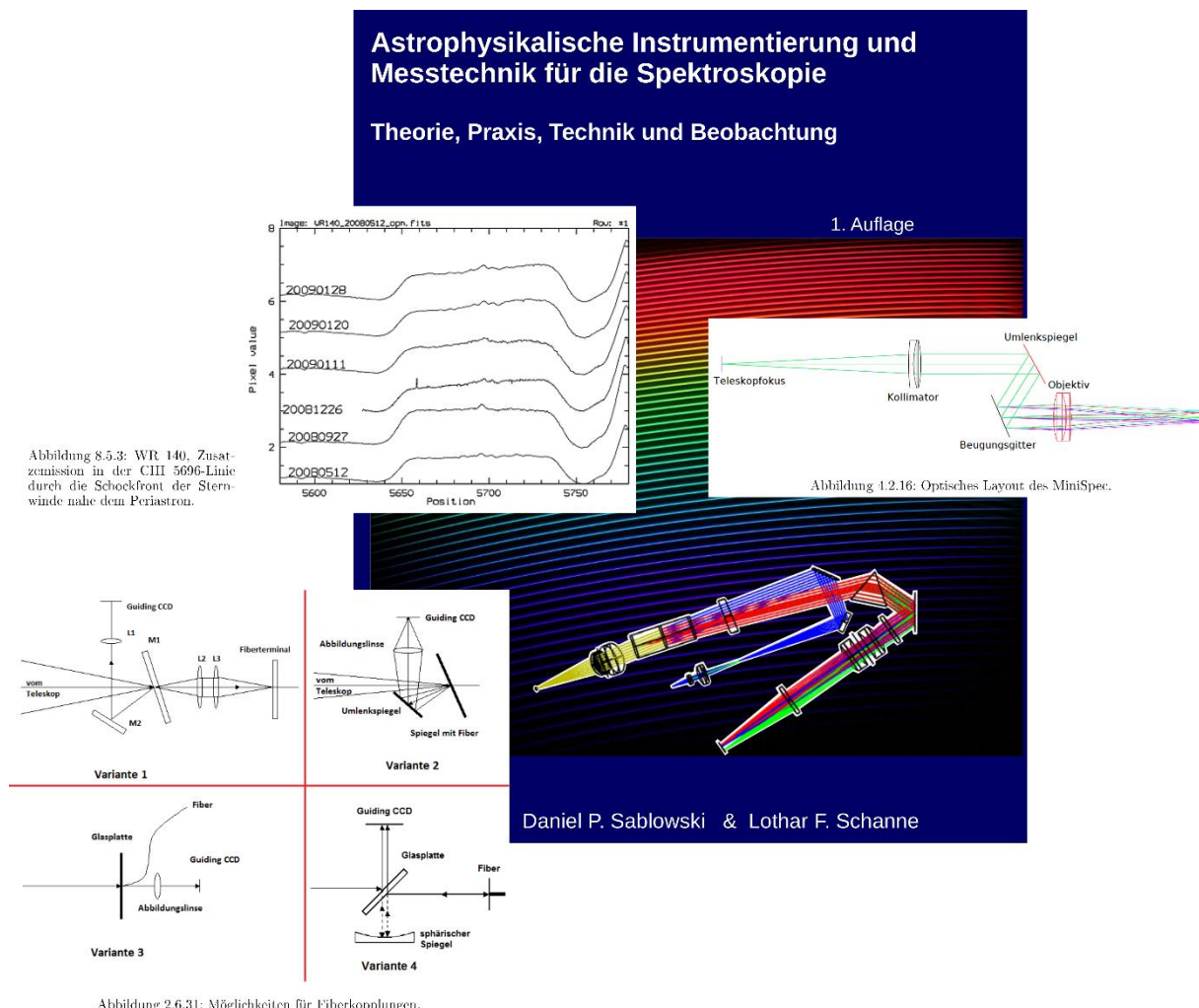


Abbildung 8.5.3: WR 140, Zusatzenmission in der CIII 5696-Linie durch die Schockfront der Sternwinde nahe dem Periastron.

1. Auflage

Abbildung 4.2.16: Optisches Layout des MiniSpec.

Abbildung 2.6.31: Möglichkeiten für Faserkopplungen.

Nun muss auch mit diesem Buch keiner Angst haben, er würde zukünftig seiner eigenen wundervollen Erfahrungen und Fehler beraubt. Dazu wird es noch genügend Gelegenheiten geben. Was man aber mit Sicherheit mit diesem Buch gewinnt, ist Zeit, viel Erfahrung, Geld und Befriedigung durch den schnelleren Erfolg bei

den eigenen Projekten. Das gilt insbesondere für die Vorhaben, an die man sich ohne dieses Buch erst gar nicht gewagt hätte.

Bleibt die Frage zu beantworten, warum dieses Buch das können soll?

Der Titel des Buches nimmt es eigentlich schon vorweg. Beim ersten Betrachten des Inhaltsverzeichnisses (12 Seiten) wird dann recht schnell deutlich, dass es sich hier um eine sehr umfassende Wissensvermittlung zum Thema praktische Astrospektroskopie handelt. Nun ist schiere Menge noch kein Garant für erfolgreichen Kompetenztransfer. Beide Autoren haben diese Themen aber bewusst vor dem Hintergrund eigener wissenschaftlicher Ausbildung und langjähriger astrospektroskopischer Tätigkeit gewählt und sich große Mühe gegeben, nicht nur zu berichten, sondern auch zu vermitteln. Nicht zuletzt darum deklarieren sie Ihr Werk ja auch zurecht als Lehrbuch.

Die beschworene Praxisnähe des Buches kommt natürlich nicht ohne Theorie aus – und davon gibt es reichlich. Folgerichtig werden zu Anfang des Buches in einem weiten thematischen Bogen wichtige theoretischen Grundlagen für die eigene Tätigkeit in der Astrospektroskopie gelegt. Angefangen bei den wichtigsten Gesetzen der optischen Abbildung, den auftretenden Abbildungsfehlern, über die prinzipiellen Grundlagen von messtechnischen Prozessen bis hin zu den atomphysikalischen Zusammenhängen und ersten Basics der Sternphysik, ist reichlich für Lernstoff gesorgt.

Die Fülle und das Niveau der Themen haben dann allerdings auch zur Folge, dass der Stoff an einigen Stellen für Anfänger nicht gerade als „leichte Kost“ daherkommt. Davon muss man sich als Neueinsteiger aber nicht abschrecken lassen. Die wichtigsten Dinge sind auch für Anfänger verständlich erläutert und man kann mit Astrospektroskopie durchaus beginnen ohne jedes Detail komplett verstanden zu haben. Nicht selten wird man später im Laufe der Zeit zu bestimmten Kapiteln zurückkehren um sich Themen zuzuwenden die im ersten Anlauf schwierig zu verstehen oder nicht gleich so wichtig waren. Vielen anderen Lesern wiederum wird die kompakte und fundierte Präsentation des Theorieteils gefallen.

Im weiteren Verlauf des Lehrbuches wird es mit dem Kapitel „2 Optische Instrumente und Ausrüstungen für die Beobachtung“ dann schnell konkreter. Unterstützt durch zahlreiche Grafiken und Bilder wird hier sehr detailreich das technische Umfeld der Astrospektroskopie erläutert. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf der Beschreibung der verschiedenen Spektrographen-Typen, ihrer Funktionsweise, den wichtigsten physikalischen Zusammenhängen und den damit verbundenen Vor- und Nachteilen dieser Geräte im Einsatz. Darüber hinaus werden aber auch Teleskop-, Montierungs- und Sternwarten-Technik beschrieben. Richtig rund

wird dieses Kapitel dann noch durch eine ausführliche Betrachtung der Lichtleitertechnologie als mögliches Bindeglied zwischen Spektrograph und Teleskop (siehe Abbildung).

Eine der großen Tugenden der Astronomen war es schon immer, dass sie die Entwicklung und den Aufbau wissenschaftlicher Ausrüstung selber vorangetrieben und verwirklicht haben. Darum gehört es auch zu den besonderen Vorzügen dieses Buches, dass es sich in der zweiten Hälfte zu einer sehr konkreten Hilfestellung für die Projektierung und den Aufbau eigener wissenschaftlicher Ausrüstung entwickelt. Im Kapitel „3 Planung von Spektrographen“ wird der Leser von den Autoren zuerst einmal mit den wichtigsten Baugruppen eines Spektrographen und den prinzipiellen Grundsätzen ihrer Dimensionierung vertraut gemacht. Der aufmerksame Leser beginnt hier z.B. zu verstehen, welche Konsequenzen eine gewünschte analytische Performance bei einer gegebenen Teleskop-technik für die Dimensionierung eines Spektrographen hat und wie sich die Parameter gegenseitig beeinflussen.

Noch konkreter wird es dann im Kapitel „4 Beispiele für Selbstbauspektrographen“. Hier werden tatsächlich acht (!) mit recht unterschiedlichem Anspruch und Aufwand realisierte Eigenbauvarianten für Astrospektrographen im Detail vorgestellt. Dabei wird z.B. genau erläutert mit welchem Konzept man bei den Leistungsparametern und dem Design (siehe Abbildung) gestartet ist, welche Materialien verwendet wurden, welche Probleme es bei der Umsetzung gab und wie die tatsächlich erreichte Performance dann in der Praxis war. Das alles wiederum begleitet durch zahlreiche Bilder, technische Zeichnungen und Spot-Diagramme. Für Selbstbau-Enthusiasten wird dieses Kapitel mit Sicherheit eine besondere Fundgrube sein.

Der notwendige Kompetenzaufbau für die Astrospektroskopie setzt sich dann in den Kapiteln 5 bis 8 systematisch weiter fort. In Kapitel „5 Fit für das Feld“ und „6 Der Spektrograph im Einsatz“ geht es in erster Linie um die Inbetriebnahme und den Einsatz der zuvor beschriebenen Technik. Hier wird das wesentliche Rüstzeug vermittelt, dass man braucht um Spektrographen zu justieren, sie mit der Teleskop-technik zu verbinden, das Licht des Sterns möglichst effektiv zu erfassen und alle notwendigen Rohdaten für die spektroskopische Analyse zu erzeugen. Kapitel „7 Früchte der Nacht“ widmet sich den finalen Schritten der Datenreduktion, an deren Ende ja erst ein wissenschaftlich nutzbares Sternspektrum zur Verfügung steht. Nach einer prinzipiellen Erklärung der verschiedenen Schritte des Datenreduktionsprozesses, stellen

die Autoren noch einmal exemplarisch drei hierfür nutzbare Freeware Software-Tools vor und geben wertvolle Praxistipps zum Datenmanagement und der Archivierung.

Stellt sich zum Schluss natürlich die Frage: Was sehe ich eigentlich in meinen aufwendig erzeugten Spektren und wie geht es damit weiter? Die Themen der Astrospektroskopie sind ähnlich vielfältig wie die Welt der Sterne im Universum. Das bietet reichlich Möglichkeit für spannende Beschäftigung und Konfusion gleichermaßen. Aus diesem Grund bietet Kapitel „8 Wissenswertes rund um Spektren“ eine Hilfestellung zum Verständnis von Sternspektren. Dazu werden erst einmal wichtige Eigenschaften von Spektren wie z.B. Struktur, spektrale Auflösung, Signal-Rauschverhältnis, Artefakte und Fremmlinien beschrieben. Im zweiten Teil des Kapitels werden dem Leser dann an Hand verschiedener Sterntypen und entsprechender Beispiele (siehe Abbildung) die unterschiedlichen Fragestellungen und Möglichkeiten der Astrospektroskopie nähergebracht.

Seinen inhaltlichen Abschluss findet das Buch mit einer umfangreichen Sammlung von Links zu astrospektroskopischen Vereinen, Gruppen, Datenbanken, Büchern und Lieferanten von Komponenten.

Nach dieser primär inhaltlichen Verdichtung noch etwas Prinzipielles zu diesem Buch: Im deutschsprachigen Raum gibt es derzeit nichts Vergleichbares in dieser Vollständigkeit und vor allem Praxisnähe. Für mich entfaltet das Buch besonders da seine Stärken, wo es aus der Erfahrung der Autoren heraus unglaublich viele Details und Informationen für den Leser im wahrsten Sinne des Wortes „begreifbar“ macht. Erfahrene Amateurastronomen werden für sich hier mit Sicherheit noch etwas Neues und Anregungen finden. Einsteiger erhalten mit diesem Buch ein effektives Rüstzeug für den Start in das Abenteuer Astrospektroskopie. Dem wachsamem Auge wird an einigen wenigen Details das fehlende Lektorat der ersten Auflage auffallen. Das tut dem Wert des Lehrbuches aber keinen Abbruch, sondern trägt noch den Charme einer Veröffentlichung im Selbstverlag. Dies zu bereinigen wird weiteren Auflagen vorbehalten bleiben, die mit Sicherheit erscheinen werden.

Ulrich Waldschläger, Berlin 2018

ASpekt18 - Jahreskonferenz der Fachgruppe Spektroskopie in der VdS e.V.
15.-17. Juni 2018, Physikalischer Verein, Frankfurt/Main
Anmeldeschluss: 1. Mai 2018

Wir laden alle spektroskopisch interessierten Astronomen ein, insbesondere Einsteiger und junge Kolleginnen und Kollegen. Wir bieten

- eine Vortragsreihe zu allen spektroskopischen Themen,
- eine Poster- und Gerätesession,
- informelle Gespräche zum Thema sowie
- Spaß und Geselligkeit.

Frühjankeiser und alle anderen Interessenten treffen sich zu spannenden Diskussionen schon am Freitagabend. Eine VdS-Mitgliedschaft ist nicht nötig.

Infos zur Anmeldung und dem Programm unter www.spektralklasse.de.

Anmeldung bei

Rainer Borchmann: rainer@borchmann.de oder Sebastian Heß: home@sebastian-hess.eu

Für junge Teilnehmer haben wir einen Hilfsfond eingerichtet, mit dem wir auf Anfrage einen vertraulichen Zuschuss anbieten können.

Tagungshotel: „Mercure Hotel & Residenz Frankfurt“. Der Tagungsort ist fußläufig binnen 10 Minuten zu erreichen. Wir bitten in diesem Jahr darum, dass sich jeder Teilnehmer im Hotel unter dem Stichwort "Aspekt 2018" eigenständig anmeldet. Ein Zimmerkontingent ist vorgehalten.

Workshop „Objektbezogene Astrospektroskopie für Amateure“ mit Dozent Ernst Pollmann
20.-22. April 2018, Fr. 18:00 Uhr bis So. ca. 15:00 Uhr, **Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal**

Die Teilnehmerzahl ist auf maximal 12 begrenzt. Hinweise zu Übernachtungsmöglichkeiten nahe der Sternwarte können gegeben werden. Die Kursgebühr beträgt 110 Euro pro Teilnehmer.

Anmeldung bei Ernst Pollmann (ernestospec@hotmail.de). **Anmeldeschluss 31. März 2018.**

Hinweis: Bitte lassen Sie sich rechtzeitig vormerken. Unserer Erfahrung nach werden die Kursplätze nach kurzer Zeit vergeben sein.

www.baader-planetarium.de/workshop-spektroskopie/kurs-pollmann.htm

OHP Spectro Star Party 2018

Every year, Association Aude and Shelyak Instruments organize the Spectro Star Party at the **Observatoire de Haute Provence, in St Michel l'Observatoire**, near Manosque in southern **France**. This year, the event will take place from **13th to 18th July 2018**. Detailed information: www.shelyak.com

This event is an opportunity to observe in exceptional conditions on a closed and privileged site: you will be able to set up your equipment on the ground and leave it in place for the following nights. Beginners in spectroscopy are particularly welcome! So much so that this year, we have decided to offer, within the Star Party, a training course for those of you that interest. It is a matter of accompanying the beginners in spectroscopy by an experienced observer, in small groups, as well during the observations as for the data reduction. Conferences are offered in the afternoon, in French or English, on Astrophysics. Among the speakers, Steve Shore (astrophysicist) will make us once again the honor of his presence. The full program will be sent to you later. The night is devoted to observing the sky, whether you are an amateur or a confirmed astronomer, with or without a telescope, you will have the opportunity to practice or to see how to practice the spectro. If you wish to take advantage of this training course, please indicate it on your registration form (specifying the type of instrument you are interested in). We invite you to come without an instrument: you will work with your animator. On the other hand, take your laptop (if you have one). Each year, the course brings together people from very different backgrounds (France, Switzerland, Belgium, United Kingdom, Germany, Italy, but also regularly from far away (USA, Australia, China ...)) Exchanges are usually in French or In English, all in a great conviviality.

The proposed rates are as follows:

Full board in single room: 468.00 €

Full board in 2-bed room: 389.00 €

Full board price with sleeping off site, version offered to good hikers, site does not accept the cars at night: 253.00 €

Nur für Mitglieder der Fachgruppe Spektroskopie in der
Vereinigung der Sternfreunde e.V.

For members of the Section Spectroscopy
of the Society of German Amateur Astronomers only.

Besuchen Sie / Visit

<http://spektroskopie.vdsastro.de>

**und werden Sie Mitglied. Einfach per Mail an den Sprecher
der Fachgruppe.**

**and become a member by sending an e-mail to the spokes-
man of the section.**