

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae with dem BACHES Echelle-Spektrografen und der Remote Calibration Unit (RCU) von Dipl.-Phys. Bernd Koch, Baader Planetarium GmbH

### Zusammenfassung

Das komplexe Spektrum des symbiotischen Doppelsterns  $\beta$  Lyrae wurde mit dem BACHES Echelle-Spektrografen unter Verwendung der Remote Calibration Unit (RCU) untersucht.

### Der Baches Echelle-Spektrograf

Ein leistungsfähiger, hochauflösender Echelle-Spektrograf, wie ihn der **BACHES**<sup>1</sup> von der Firma Baader Planetarium darstellt, ist die Voraussetzung für die **zeitgleiche Untersuchung** von Veränderungen im Spektralprofil während eines Umlaufs der beiden stellaren Komponenten von  $\beta$  Lyrae (Abb. 1).



Abb. 1: BACHES Echelle-Spektrograf mit angesetzter CCD-Kamera SBIG ST-8300M, per Glasfaserkabel und Steuerungskabel verbunden mit der Remote Calibration Unit (RCU)

$\beta$  Lyrae ist ein typisches Beispiel dafür, warum der BACHES Echelle gegenüber einem herkömmlichen Blazegitter-Spektrographen vergleichbarer Auflösung im Vorteil ist: Das nahezu vollständige Spektrum im sichtbaren und nahe infraroten Licht von 3900Å bis 8000Å, insbesondere der hier physikalisch aussagekräftige Bereich von ca. 4300Å bis 7600Å, wird auf einer einzigen Spektalaufnahme zeitgleich hochaufgelöst erfasst: Die durchschnittliche spektrale Auflösung des BACHES beträgt dabei rund  $R=18000$ . Es manifestieren sich spektrale Variationen aufgrund von variablen Gasströmen in Abhängigkeit des Bedeckungsgrads dieses Systems zeitgleich an verschiedenen Stellen im Spektrum (Abb. 2).

<sup>1</sup> [www.baader-planetarium.de/baches](http://www.baader-planetarium.de/baches)

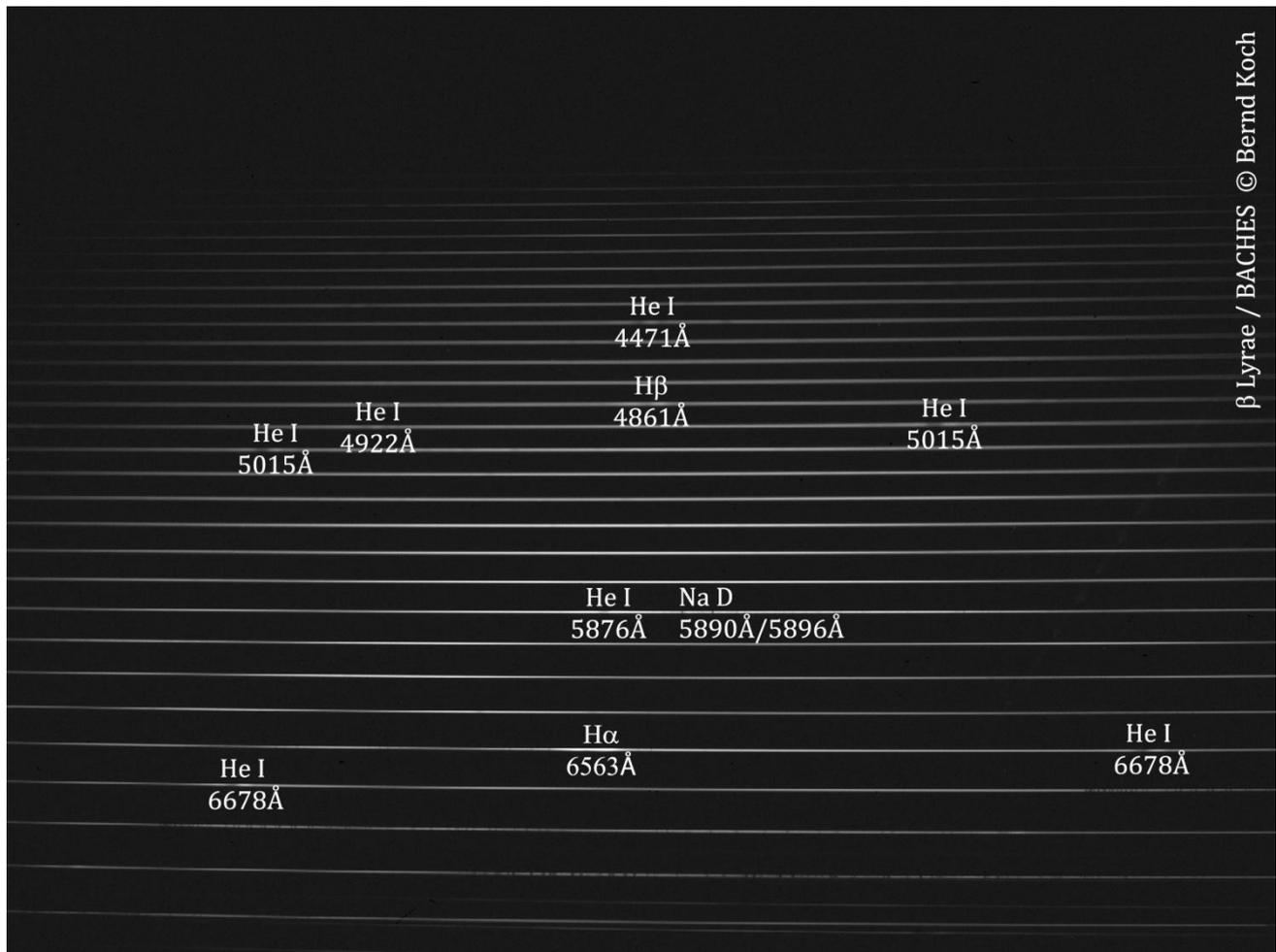


Abb. 2: Spektrum des symbiotischen Doppelsterns  $\beta$  Lyrae, aufgenommen am 8.6.2014 um 00:07:24 UT mit dem BACHES Echelle Spektrografen und einer SBIG ST-8300M CCD-Kamera im 2x2-Binning bei 10,8 $\mu$ m Pixelgröße. Es handelt sich um eine Einzelaufnahme mit 300s Belichtungszeit, von der ein Darkframe subtrahiert wurde. Das Spektrum entstand am Astro-Physics 130mm EDF-S Apo-Refraktor bei f/6

Das Spektrum wurde mit Hilfe der Linux-Software ESO-MIDAS<sup>2</sup> kalibriert, welche in einer virtuellen Box unter Windows 7 parallel zu Win 7 lief. Das Licht einer Thorium-Argon Referenzlampe bzw. das einer Halogenlampe wurde mittels einer Glasfaserverbindung von der Remote Calibration Unit (RCU) eingekoppelt. Das ThAr-Spektrum dient als Wellenlängenreferenz (Abb. 3). Die Halogenlampe wird für ein Flatfield-Spektrum eingeblendet (Abb. 4), mit dem man Einflüsse von Staub auf die gemessene Intensität korrigiert.

<sup>2</sup> [www.eso.org/sci/software/esomidas/](http://www.eso.org/sci/software/esomidas/)

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen



Thorium-Argon-Spektrum / BACHES & RCU © Bernd Koch

Abb. 3: Thorium-Argon-Referenzspektrum (ThAr). Das Licht der ThAr-Kalibrierlampe der Remote Calibration Unit (RCU) wird mittels eines 2,5m langen Glasfaserkabels in den BACHES Echelle Spektrografen eingespiegelt. Die Einspiegelung erfolgt über eine Steuerleitung. Die Aufnahme erfolgte mit einer SBIG ST-8300M CCD-Kamera im 2x2-Binning bei 10,8 $\mu$ m Pixelgröße kurz vor Aufnahme des Sternspektrums. Es handelt sich um eine Einzelaufnahme mit 20s Belichtungszeit, von der ein Darkframe subtrahiert wurde

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen



Abb. 4: Das Spektrum der Halogenlampe dient als Flatfield-Spektrum zur Korrektur der Einflüsse von Staub auf die gemessene Lichtintensität in der Aufnahmeeinheit. Das Licht der Halogenlampe der Remote Calibration Unit (RCU) wird mittels eines 2,5m langen Glasfaserkabels in den BACHES Echelle Spektrografen eingespiegelt. Die Aufnahme erfolgte mit einer SBIG ST-8300M CCD-Kamera im 2x2-Binning bei 10,8 $\mu$ m Pixelgröße kurz vor Aufnahme des Sternspektrums. Es handelt sich um eine Einzelaufnahme mit 20s Belichtungszeit, von der ein Darkframe subtrahiert wurde

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

Für die nach der Wellenlängenkalibrierung mit ESO-MIDAS erfolgten Bearbeitungen des Spektrums wurde die Windowssoftware VisualSpec<sup>3</sup> von Valérie Desnoux verwendet. Das Pseudokontinuum wurde eliminiert und das Spektrum normiert. Danach wurde mit derselben Software ein synthetisches Farbspektrum erzeugt. (Abb. 5).

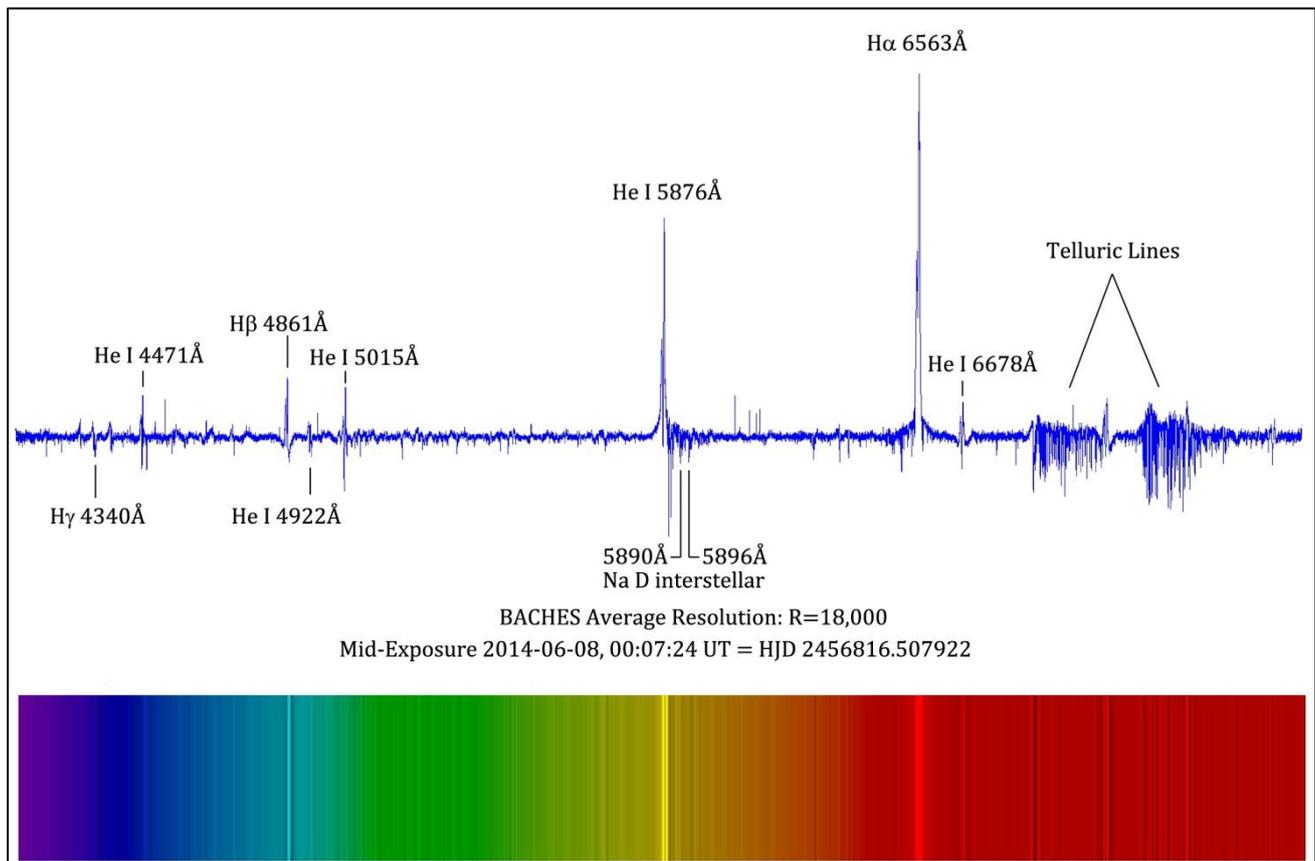


Abb. 5: Das Pseudokontinuum wurde mit Hilfe einer angepassten Spline-Funktion in VisualSpec entfernt, danach wurde das Spektrum normiert und ein synthetisches Farbspektrum berechnet

### Das Spektrum von $\beta$ Lyrae

$\beta$  Lyrae ist ein symbiotischer Doppelstern mit Hüllen und Gasströmen zwischen den beiden - aus unserer Sicht - sich gegenseitig bedeckenden Komponenten vom Spektraltyp ca. B8 und ca. A9/F. Der schwächere, massenärmere Stern (ca. B8) war einst die massenreichere Komponente des Paares, die sich zum Riesenstern entwickelte. In der engen Umlaufbahn mit dem Begleiter fand während der Expansion des Riesenstern ein Massetransfer über die Rochegrenze hinüber zum Begleiter statt, der jetzt der massereichere von beiden und von einer Akkretionsscheibe umgeben ist. Diese schirmt das Licht des Begleiters ab, so dass dessen Spektraltyp nicht exakt festzustellen ist. Der Massetransfer zwischen den beiden Sternen beträgt jährlich  $2 \times 10^{-5}$  Sonnenmassen [2]. Dieses helle Kontaktsystem ist ein faszinierendes Studienobjekt und schon mit kleinen Teleskopen erfolgreich zu untersuchen.

Die zeitlichen Variationen des Strahlungsflusses der Spektrallinien der Elemente Wasserstoff (H) und Helium (He) sind Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen [3,4]. Je nach ausgewählter Spektrallinie blickt man auf unterschiedliche Entstehungsbereiche der Strahlung des Bedeckungsveränderlichen (Abb. 6), in der Hülle, in der Akkretionsscheibe und im Gasstrom, ausgehend von der Materie abgebenden Sternkomponente mit Spektraltyp B8 (Abb. 5-10).

<sup>3</sup> [www.astrosurf.com/vdesnoux/](http://www.astrosurf.com/vdesnoux/)

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

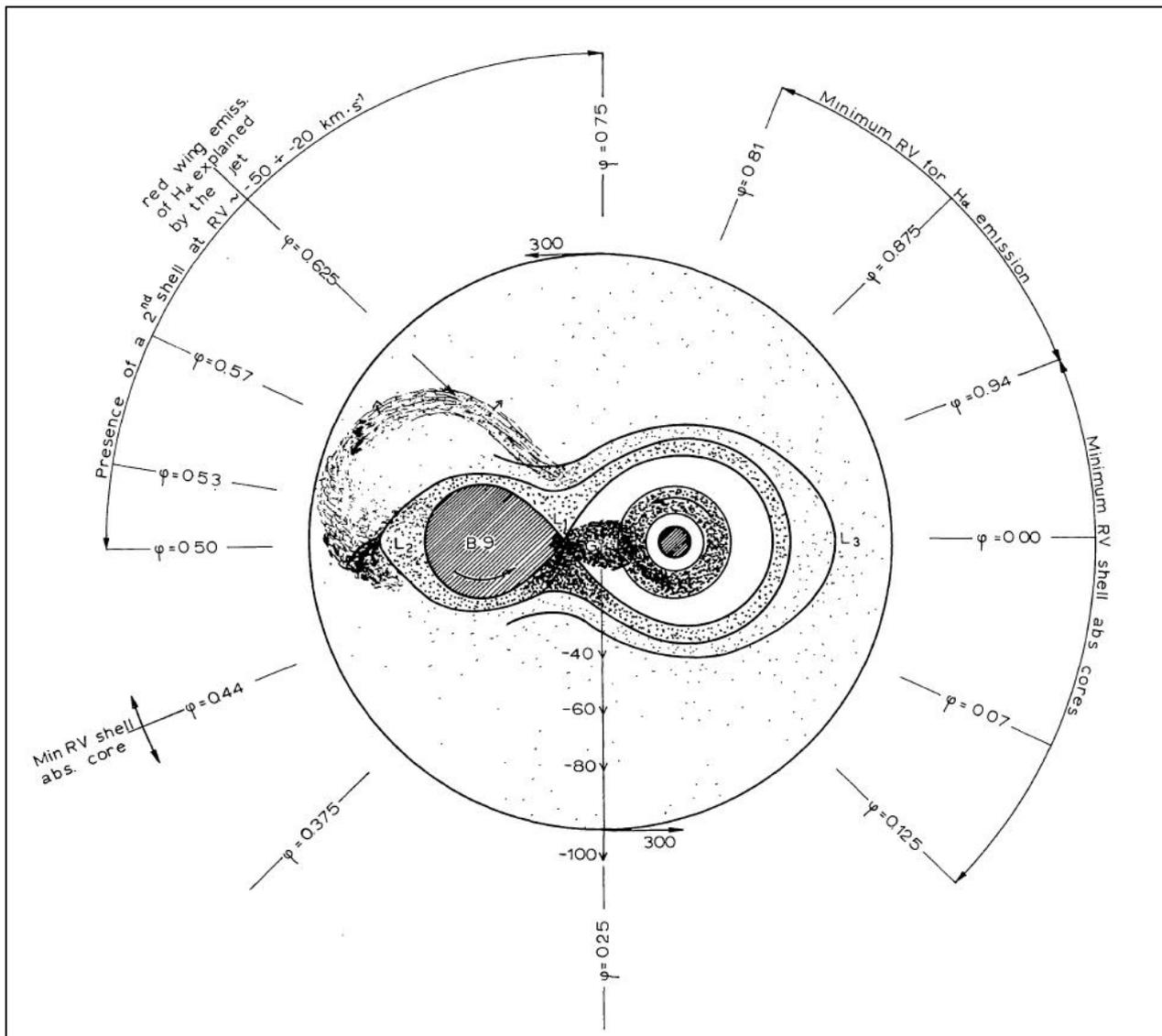


Abb. 6: Das Doppelsternsystem  $\beta$  Lyrae wurde im Spektralbereich von Ultraviolett bis Rot im Jahr 1971 eingehend untersucht. Die Beobertungskampagne wurde mit dem 1,52m Coudé-Teleskop des Haute Provence Observatoriums (CNRS) durchgeführt. Die Autoren dieser Veröffentlichung erstellten anhand ihrer Messungen ein Modell der Hülle und des Gaststroms ([1] Flora, Hack; 1975)

In diesem sehr komplexen Sternsystem mit Materietransfer misst man im Licht der Wasserstofflinie  $H\alpha$  6563Å und insbesondere bei den Helium-Linien He I 5876Å und He I 6678Å Strahlungsfluss und Geschwindigkeit von Gashüllen und Sternwinden (Abb. 8, 9).

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

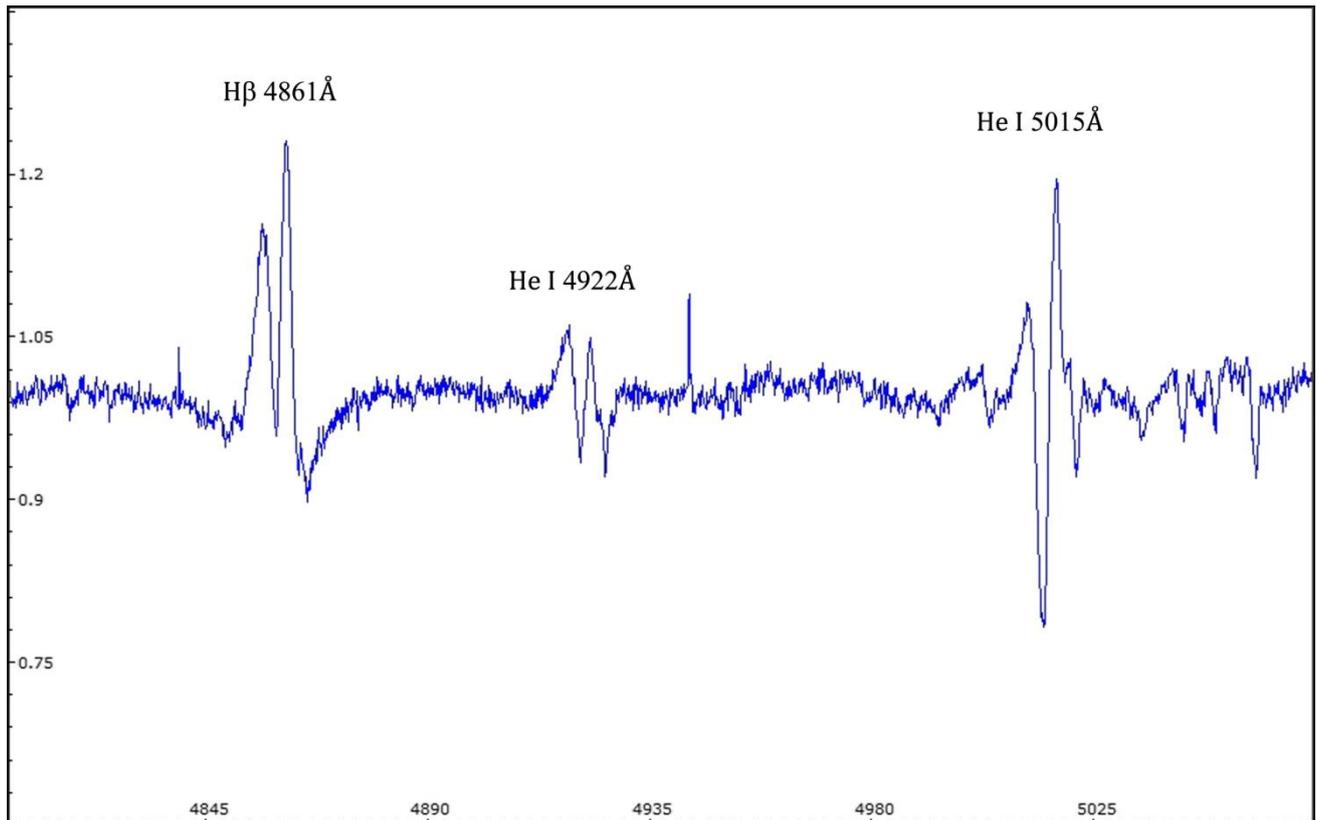


Abb. 7: Teilausschnitt aus dem gesamten BACHES Echellespektrum im blauen Spektralbereich. Man beachte die sehr unterschiedliche Stärke der Emissions- und Absorptionsanteile in den P-Cygni-Profilen bei H $\beta$  4861Å, He I 4922Å und He I 5015Å, die Auskunft geben über den Strahlungsfluss in den Spektrallinien

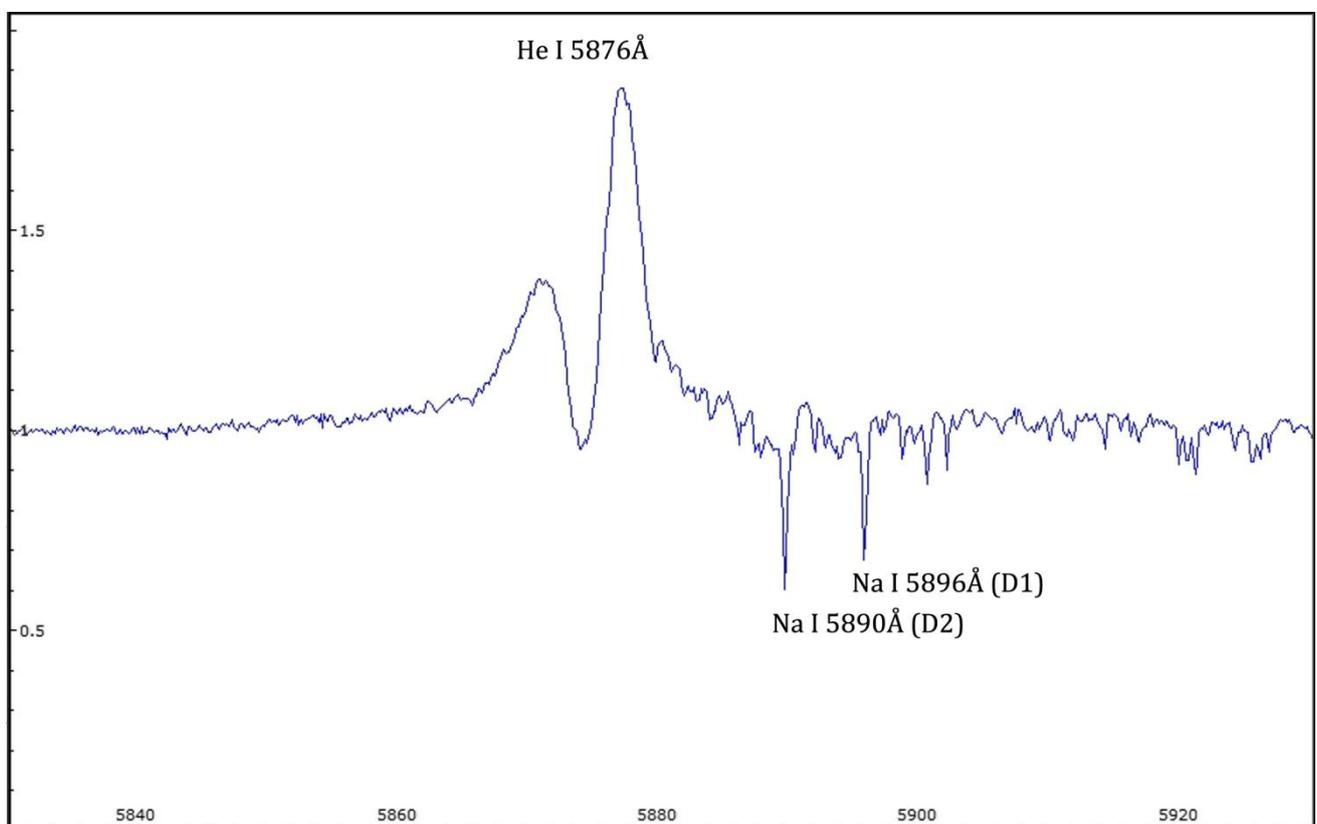


Abb. 8: P-Cygni-Profil von  $\beta$  Lyr bei He I 5876Å, nahe der interstellaren Linien des Natrium-Dubletts (Na I D1, D2). "Die Linien He I 5876Å und He I 6678 sind gut geeignet zur Untersuchung des Sternwindes der [B8...] B9- Sternkomponente im System  $\beta$  Lyr" (Eitzel, Meyer; 1983). Das Na I Dublett kann zur Kartierung der interstellaren Absorption entlang der Sichtlinie genutzt werden (Welsh et. al.; 2010)

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

“Eine vorläufige Analyse einer umfangreichen Sammlung von interferometrischen, spektroskopischen und photometrischen Beobachtungen des hellen Be-Sterns  $\beta$  Lyrae führt zu folgenden zentralen Schlussfolgerungen: (1) Der größte Teil der  $H\alpha$ - und He I 6678 Emissionen scheint seinen Ursprung in Materiejets zu haben, die senkrecht zur Bahnebene des Doppelsterns ausgestoßen werden. Die Jets können der massereicheren Komponente (Stern 1) zugeordnet werden und stammen wahrscheinlich von einem „Hot Spot“ in der Gasscheibe. Dies ist die Region, in der der Gasstrom von der das Rochevolumen ausfüllenden Sternkomponente B6....8II (Stern 2) zu Stern 1 fließt. Einige Emissionsanteile stammen auch aus einer Region zwischen den beiden Sternen (der Gasstrom und der „Hot Spot“) und von der „Pseudoatmosphäre“ der Akkretionsscheibe um Stern 1.“ [...] (Harmanec, et. al., Abstract; 1996).

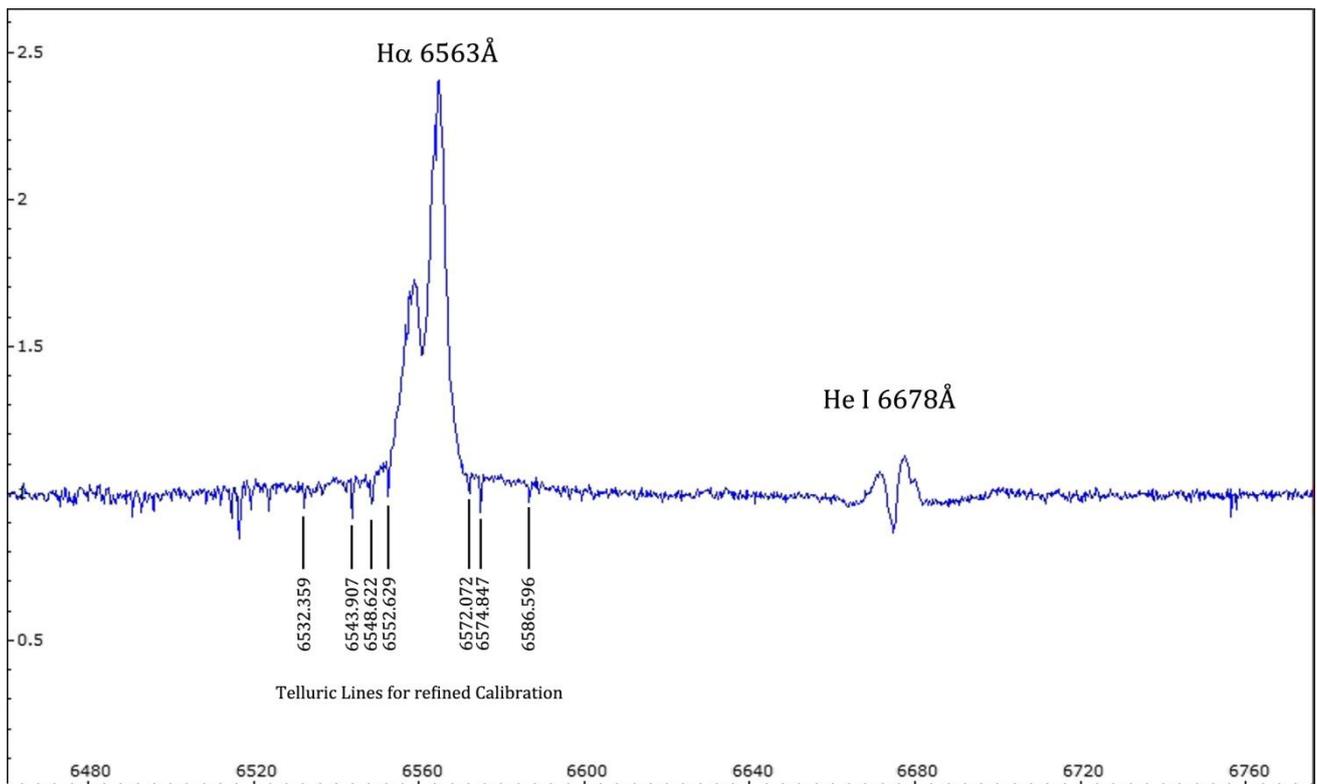


Abb. 9: Details im  $\beta$  Lyrae-Spektrum im Bereich von  $H\alpha$  6563Å und He I 6678Å. Die genau bekannten Wellenlängen der tellurischen Linien im Bereich von  $H\alpha$  können für die Feinkalibrierung der Wellenlänge verwendet werden

# Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

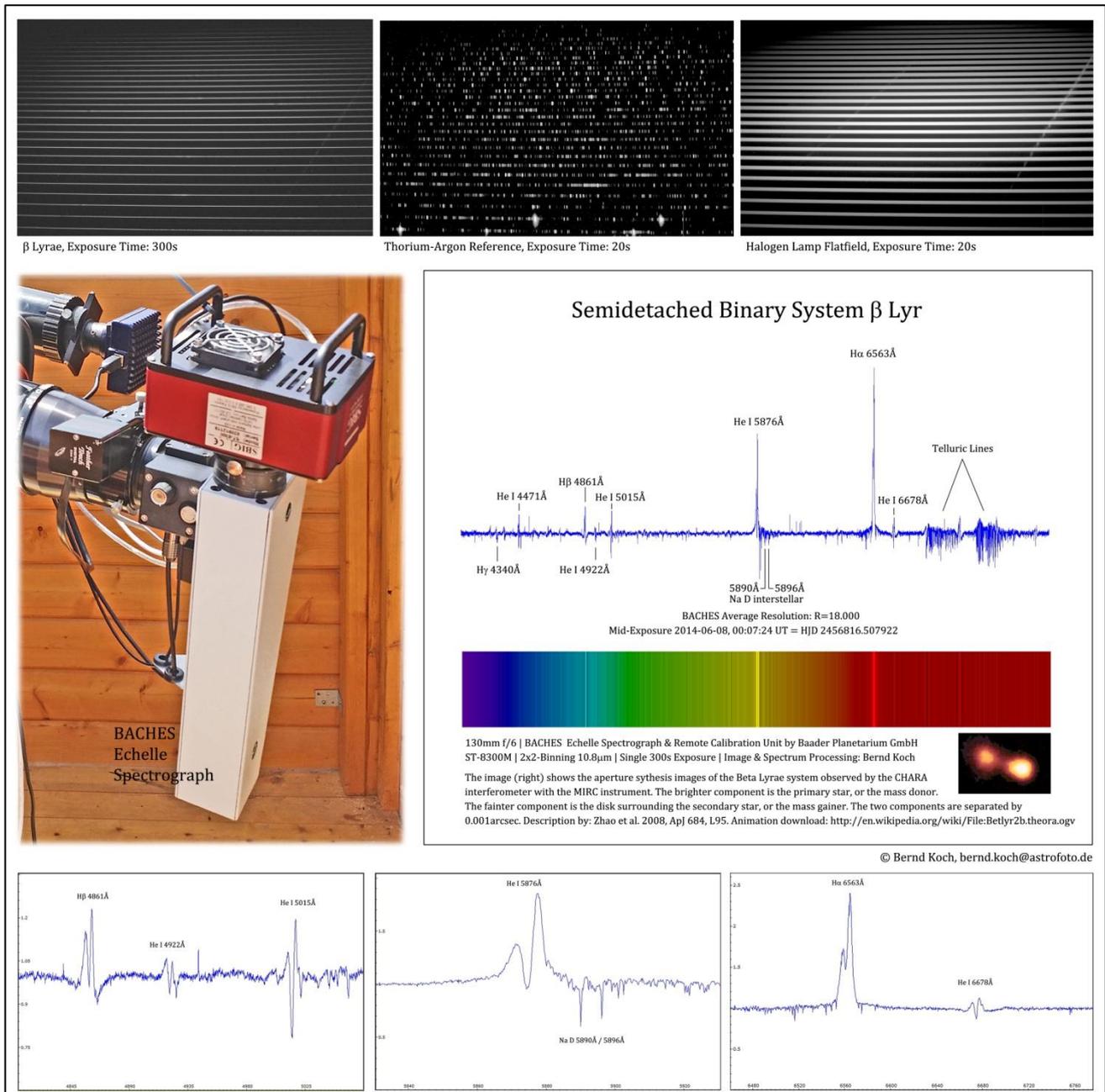


Abb. 10: Das  $\beta$ -Lyrae-Poster zeigt oben links ein Einzelspektrum mit 300s Belichtungszeit, aufgenommen mit dem BACHES an einem 130mm-Refraktor und einer SBIG ST-8300M CCD-Kamera. Zur Kalibrierung des Spektrums wurde mit der Remote Calibration Unit (RCU) ein Thorium-Argon-Referenzspektrum und ein Halogen-Flatfield-Spektrum aufgenommen, jeweils 20s belichtet

## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Untersuchung war, die Vorteile des BACHES Echelle-Spektrografen gegenüber vergleichbaren klassischen Blazegitter-Spektrografen darzustellen, weil letztere gleichzeitig auf einer Aufnahme nur einen kleinen Ausschnitt des gesamten visuellen Spektrums darstellen können.

Das Spektrum von  $\beta$  Lyrae demonstriert, dass an hellen Sternen hochaufgelöste Spektren bereits mit relativ kleinen Instrumenten verhältnismäßig einfach erfolgreich aufgenommen und untersucht werden können. Abhängig von der Helligkeit des zu untersuchenden Objekts wird es allerdings meist nötig sein, das Signal-Rauschverhältnis durch Aufnahme und Stacking mehrerer Spektren zu erhöhen.

## Untersuchung des symbiotischen Doppelsterns $\beta$ Lyrae mit dem BACHES Echelle-Spektrografen

### Referenzen

- [1] Flora, U., Hack, M. "Spectrographic observations of beta Lyr during the international campaign of 1971" Astronomy and Astrophysics, Suppl. Ser., Vol. 19, p. 57 – 89 (1975)  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1975A%26AS...19...57F>
- [2] Zusammenfassende Darstellung des Systems  $\beta$  Lyrae siehe [http://en.wikipedia.org/wiki/Beta\\_Lyrae](http://en.wikipedia.org/wiki/Beta_Lyrae)
- [3] Etzel, P. B., Meyer, D. M., "The Stellar Winds in Beta Lyrae".  
<http://adsabs.harvard.edu/full/1983PASP...95..891E>
- [4] Harmanec, P. et al., "Jet-like Structures in Beta Lyrae. Results of Optical Interferometry, Spectroscopy and Photometry", Astronomy and Astrophysics, v.312, p.879-896 (1996)  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1996A%26A...312..879H>
- [5] Welsh, B. Y. et al., "New 3D gas density maps of NaI and CaII interstellar absorption within 300 pc"  
[http://www.aanda.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/pdf/2010/02/aa13202-09.pdf](http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/pdf/2010/02/aa13202-09.pdf)

Alle Aufnahmen und Spektren, außer Abb. 1, vom Autor.

**Kontakt: Bernd Koch, Soerth/Westerwald, Germany | [Bernd.Koch@astrofoto.de](mailto:Bernd.Koch@astrofoto.de)**