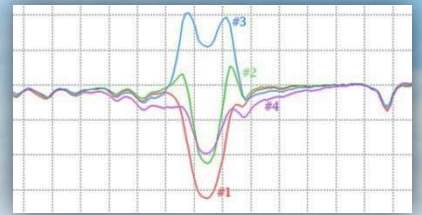


BACHES Echelle Spektrograf Tutorial



baader
planetarium

BAADER PLANETARIUM

Zur Sternwarte • D-82291 Mammendorf • Tel. +49 (0) 8145 / 8089-0 • Fax +49 (0) 8145 / 8089-105
Baader-Planetarium.de • kontakt@baader-planetarium.de • Celestron-Deutschland.de

Juli 2016 – Deutsche Version 1.3

Baader Planetarium GmbH

Zur Sternwarte

D - 82291 Mammendorf

Tel.: +49 (0) 8145 - 80 89-0

Fax: +49 (0) 8145 - 80 89-105

www.baader-planetarium.de

b.koch@baader-planetarium.de

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Inhaltsverzeichnis

1	Gute Gründe für den BACHES Echelle Spektrografen	5
2	Die Aufnahmekamera	8
2.1	DSLR-Kamera	8
2.1.1	Das Spektrum einer Energiesparlampe (ESL)	9
2.1.2	Thorium-Argon Referenzlampe	13
2.1.3	Halogenlampe	13
2.1.4	Die Fraunhoferlinien im Tageslichtspektrum	14
2.2	CCD-Kameras	15
2.2.1	SBIG ST-1603ME	15
2.2.2	ST-1603ME am BACHES befestigen	16
2.2.3	BACHES mit CCD-Kamera ST-1603ME am Teleskop	17
2.2.4	Energiesparlampen-Spektrum mit ST-1603ME	17
2.2.5	ThAr-Lampe mit ST-1603ME	18
2.2.6	Die Fraunhofer-Absorptionslinien im Tageslichtspektrum	19
2.2.7	SBIG ST-8300M	20
2.2.8	BACHES mit CCD-Kamera ST-8300M am Teleskop	21
2.3	Aufnahmeanordnung und Workflow zur Spektrengewinnung	22
2.3.1	Guidingkamera	22
2.3.2	Die Wahl der Spaltbreite: 25µm oder 50µm?	23
2.3.3	Spaltbeleuchtung mit der Remote Calibration Unit (RCU)	24
2.3.4	CCD-Kamera an BACHES und beides an das Teleskop ansetzen	25
2.3.5	Ausrichtung der Kamera am BACHES Echelle-Spektrografen	27
2.3.6	Fokussierung des Spektrums	28
2.3.7	Workflow bei der Erfassung von Stern- und Kalibrierspektren	30
2.3.8	<i>SpecTrack</i> Guiding Software für die Nachführung auf den Spalt	32
3	Astronomische Einsatzbereiche des BACHES Echelle Spektrografen	34
3.1	Atmosphärische Molekülbanden von 6800Å bis 9000Å	34
3.2	Die photosphärische Sonnengranulation	35
3.3	Die Chromosphäre der Sonne im Kalziumlicht	36
3.4	H α -Beobachtung der Sonne mit AstroSolar Objektivfilter	42
3.5	Helium in der Sonnenchromosphäre	44
3.6	Messung der äquatorialen Rotationsdauer des Planeten Jupiter	46

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

3.6.1	Methode 1: Spalt liegt auf dem Planetenäquator	46
3.6.2	Methode 2: Spalt an die Planetenränder legen.....	49
3.6.3	Kalibrierung des Datensatzes zur Jupiterrotation	52
3.7	Der Bedeckungsveränderliche VV Cep	55
3.7.1	Kalibrierung von Sternspektren anhand des Beispiels VV Cep.....	58
3.7.2	Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe.....	58
3.7.3	Das Referenzspektrum der ThAr-Lampe	59
3.7.4	Das Sternspektrum VV Cep vorbereiten	59
3.7.5	Das Signal-Rauschverhältnis des Masterflats	61
3.7.6	Kalibrierung des Sternspektrums von VV Cep mit MIDAS	62
3.7.7	Normierung der Ordnung 34 ($H\alpha$) mit MIDAS	65
3.7.8	Normierung der Ordnung 34 ($H\alpha$) mit VisualSpec	68
3.7.9	Messung der heliozentrischen Radialgeschwindigkeit (HRV) an der $H\alpha$ -Linie.....	69
3.7.10	Internationale Kampagne: Langzeit-Monitoring an der $H\alpha$ -Linie von VV Cephei	72
3.7.11	Darstellung des Linienprofils der $H\beta$ -Linie	74
4	Das Urheberrecht.....	75

1 Gute Gründe für den BACHES Echelle Spektrografen

Der BACHES Echelle-Spektrograf ist ein professionelles Werkzeug zur präzisen Untersuchung von Spektren. Im Unterschied zu herkömmlichen Gitterspektrografen, die einen langen Spektralfaden erzeugen, wird das gesamte Spektrum abhängig von der Sensorgröße von ca. 392nm bis ca. 800nm mit einer einzig Aufnahme erfasst. Die Vorteile des BACHES liegen auf der Hand: Kein zeitraubendes Suchen eines bestimmten Spektralbereichs, verwindungssteife Mechanik ohne bewegliches Gitter und ein konstanter Fokus über einen weiten Temperaturbereich. Auf kurzen Zeitskalen ablaufende Vorgänge, wie beispielsweise die rasche Expansion einer Novahülle, können simultan in den Spektrallinien unterschiedlicher Elemente erfasst werden.

Schauen wir uns einen herkömmlichen Gitterspektrografen mit einem Blaze-Gitter an. Dieser reiht die spektralen Ordnungen m nebeneinander auf (Abb. 1). Er ist in der Regel für höchste Effizienz in der 1. Ordnung ausgelegt, höhere Ordnungen mit höherer Auflösung und geringerer Effizienz überlappen sich und sind somit nicht vollständig nutzbar. Mit dem Gitter 200 L/mm im DADOS ist es möglich, das gesamte Spektrum von 350nm bis ca. 900nm auf einem Sensor der Größe 13 mm x 18 mm zu erfassen. Das geht aber nur auf Kosten der spektralen Auflösung. Möchte man eine höhere Auflösung erzielen, wechselt man auf die Gitter 900 L/mm bzw. 1200 L/mm.

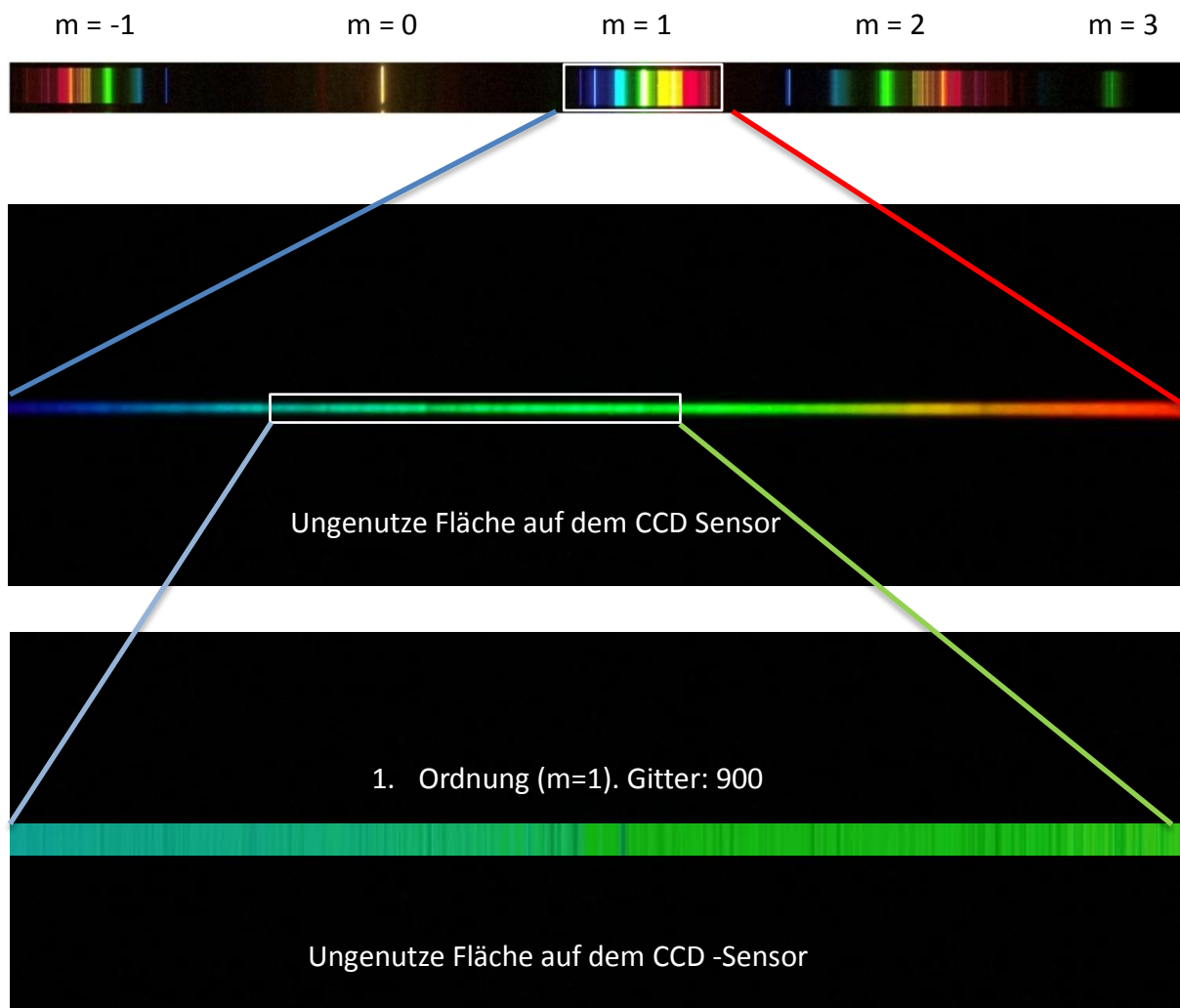


Abb. 1: Spektren des DADOS Blazegitter-Spektrografen mit den Gittern 200 L/mm und 900 L/mm

Allerdings bildet man dann auch nur einen engen Spektralbereich ab, der durch Verdrehen des Gitters verschoben wird. Möchte man statt im Grünen beispielsweise bei $H\alpha$ spektroskopieren, muss man seine neue gewünschte Zentrallinie im Spektrum identifizieren. Bei $H\alpha$ gelingt das rel. leicht, andere weniger ausgeprägte Linien sind schwieriger zu finden. Einzige Abhilfe ist die, dass man die Position an der Gitterverstellungsschraube, in der Regel eine Mikrometerschraube, notiert. Am Spektrum erkennt man, dass auf dem Sensor viel freie Aufnahmefläche vergeudet wird.

Und hier kommt nun das Konzept eines sogenannten Echelle-Spektrografen ins Spiel. Das Echelle-Gitter wird unter einem steilen Winkel beleuchtet und erzeugt Spektren der Ordnungen ca. 30 bis 56, die sich zunächst überlappen und ein verschmiertes Gesamtspektrum ergeben.

Mit einem zweiten um 90° gedrehten Gitter wird das hochaufgelöste Echelle-Spektrum zeilenweise sortiert auf dem Sensor abgebildet. Der BACHES folgt diesem Konzept unter Verwendung eines Transmissionsgitters als sogenanntem „Cross Disperser“.

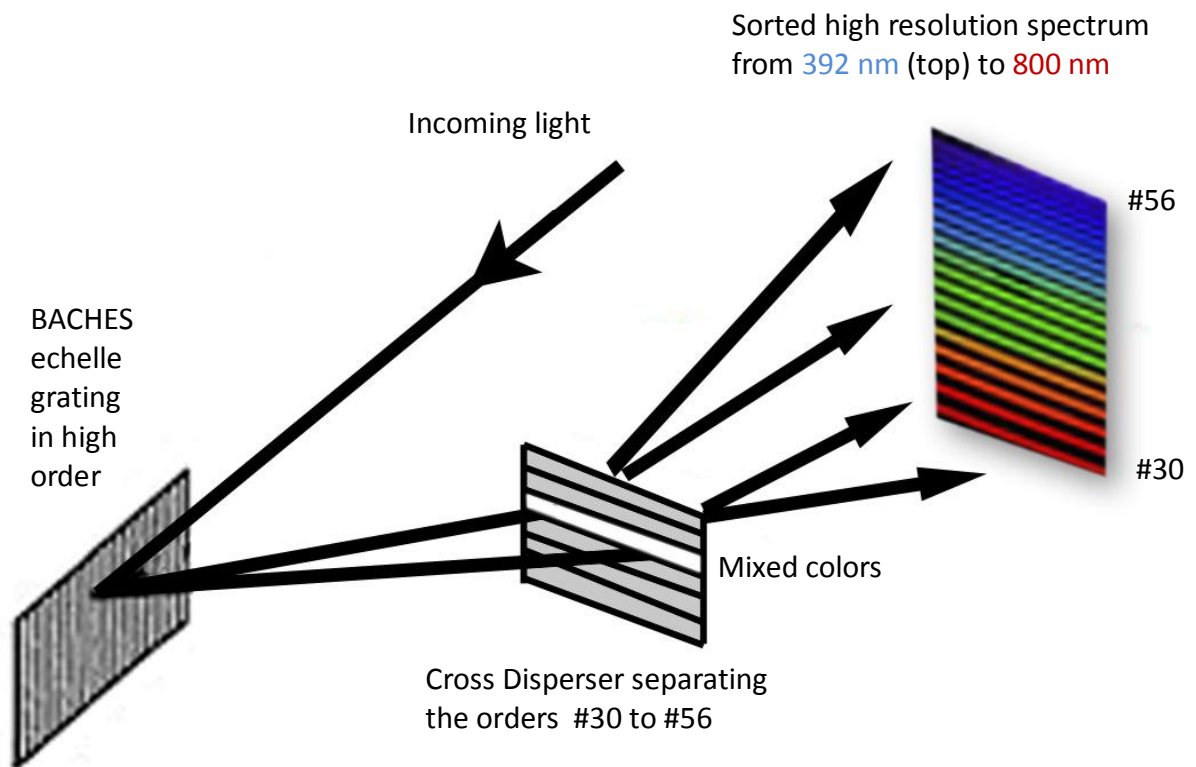


Abb. 2: Der schematische Lichtweg im Echelle-Spektrografen

Abbildung 3 zeigt als Ergebnis ein hoch aufgelöstes BACHES Echelle-Spektrum des Tageslichts.

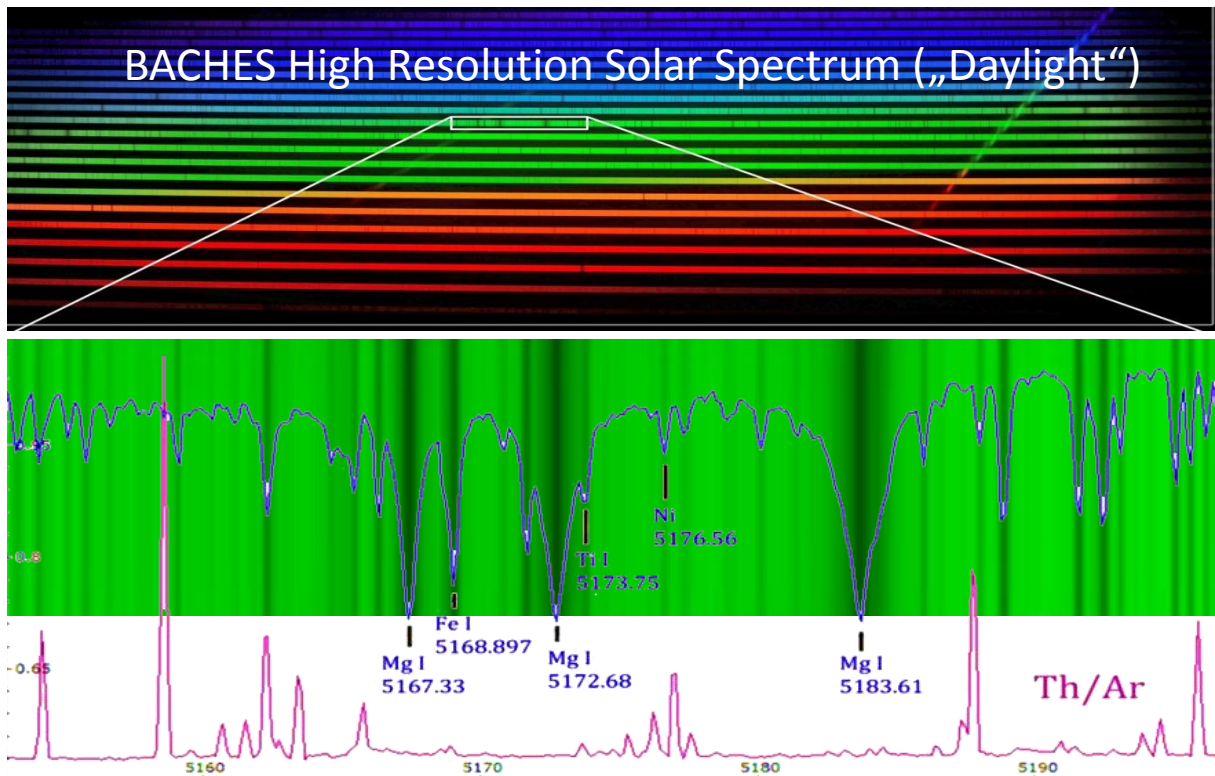


Abb. 3: BACHES Echelle-Spektrum des Tageslichts (oben) und ThAr-Referenzspektrum (unten)

Die Kalibrierung von Echelle-Spektren, darunter versteht man die Zuordnung der Wellenlänge (Wavelength Calibration) und Beseitigung von Pixel-zu-Pixel-Variationen (Flatfielding) kann auf verschiedene Weise erfolgen, über die noch zu sprechen sein wird. Für die Wellenlängenkalibrierung empfiehlt sich eine Referenzlampe mit bekannten Wellenlängen, vorzugsweise die Remote-Kalibration Unit RCU, deren Licht über ein Faserkabel eingespiegelt wird.

Im Tutorial „Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS“ wird anhand von Musterdatensätzen die Kalibrierung Schritt für Schritt erläutert.

Die wesentlichen Vorteile des BACHES Echelle-Spektrografen gegenüber herkömmlichen Blaze-Gitter und anderen Echelle-Spektrografen sind:

1. Hohe mittlere spektrale Auflösung ($R=18.000$).
2. Erfassung des gesamten Spektrums von 392nm bis 800nm auf einer Aufnahme. Wellenlängenbereich abhängig von der Sensorgröße.
3. Konstanter Fokus über einen weiten Temperaturbereich. Selten Nachfokussierung nötig
4. Keine Neigung (Slant) der Spektrallinien in Bezug auf den Spektralfaden. Die bei anderen Echelle-Spektrografen dringend erforderliche Slant-Korrektur entfällt. Das ist wichtig, weil die Intensität entlang der Spektrallinien (vertikal) ohne Verschiebung in Dispersionsrichtung (horizontal) aufsummiert werden muss.
5. Nahezu parallel zueinander ausgerichtete Spektralfäden.

2 Die Aufnahmekamera

2.1 DSLR-Kamera

Im Grunde können Spektren mit jedem Kameragehäuse ohne Objektiv aufgenommen werden. Eine DSLR-Kamera (Abb. 4) hat den Vorteil, dass sie ein Farbspektrum abbildet, was das anfängliche Zurechtfinden im Spektrum erleichtert. Der Backfocus, gemessen vom Körper des BACHES, beträgt $55\text{mm} +3/-5\text{ mm}$, die DSLR-Kamera wird mittels eines T2-Rings angeschlossen. Nach Lösen der Madenschrauben sollte man den Kamerakörper so ausrichten, dass das Spektrum exakt parallel zur längeren Bildkante liegt.



Abb. 4: Eine DSLR-Kamera wird mittels eines T2-Rings angeschlossen

2.1.1 Das Spektrum einer Energiesparlampe (ESL)

Als Lichtquelle sollten Sie eine helle Lampe verwenden, die markante Emissionslinien im Spektrum vorweisen kann. Damit erkennt man einerseits, in welchem Wellenlängenbereich man beobachtet und zweites kann man die scharfen Linien zum Fokussieren des Spektrografen verwenden.



Abb. 5: Spektrum der ESL Ormalight, aufgenommen mit dem DADOS Spaltspektrografen und dem 200 L/mm Gitter

Abb. 5 zeigt das Spektrum einer handelsüblichen Energiesparlampe. Das Spektrum wird zusätzlich zu einigen hellen, scharfen Linien, die dem Element Quecksilber (Hg) zugeordnet werden, breite verschmierte Banden enthalten. Es handelt sich um Fluoreszenzbanden von innen auf dem Glaskörper aufgedampften besonderen chemischen Elementen, den Seltenen Erden. Je nach Lampenmodell und verwendeten Elementen variiert das Spektrum ein wenig. Möchte man eine ESL als Referenzlampe verwenden, muss man die Spektrallinien selbst genau vermessen. Angaben hierzu findet man in der Literatur¹.

Im Grunde eignet sich eine ESL vorwiegend als Fokussierlampe und nur bedingt als Referenzlampe zur Wellenlängenkalibrierung. Je höher die spektrale Auflösung des Spektrografen ist, desto einfacher sind die Linien zu identifizieren.

Mit dem BACHES Echelle-Spektrografen aufgenommen, kann man im hochaufgelösten Spektrum die scharfen Emissionen der Quecksilber-Gasentladung eindeutig von den verschmierten Fluoreszenzbanden unterscheiden (Abb. 6). Hier bietet sich eine Kalibrierung an.

¹ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluorescent_lighting_spectrum_peaks_labelled.png

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Nach Wellenlängenzuordnung kann die ESL durchaus zur Wellenlängenkalibrierung herangezogen werden. Offensichtlich scheiden die breiten Fluoreszenzbanden bsp. des Europiums (6116Å) aber dafür aus.

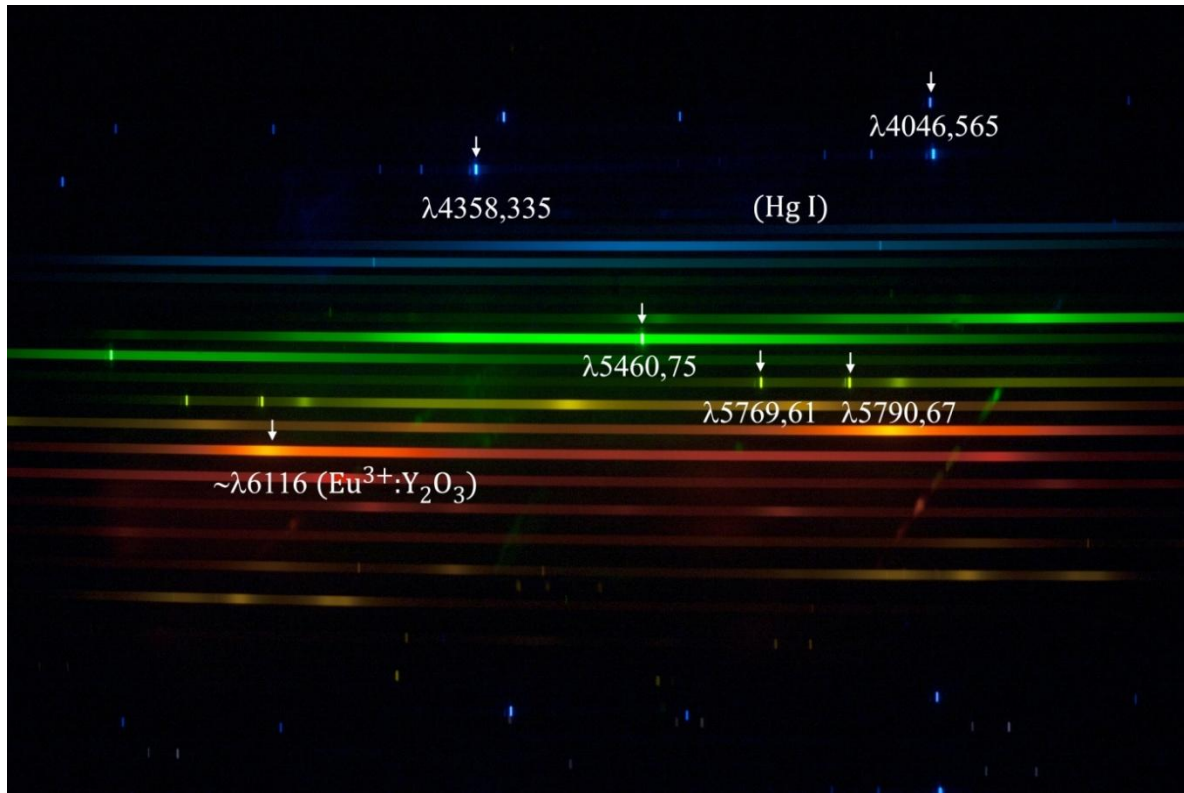


Abb. 6: Spektrum der ESL Ormalight mit einer mod. Canon EOS 1000D (ohne IR-Sperrfilter). Die scharfen Emissionslinien können dem Element Quecksilber zugeordnet werden

Hinweis: Die blauen Spektrallinien am unteren Rand des Spektrums (Abb. 6) sind Abbilder der zweiten Ordnung des Cross Dispersers. Sie überlappen sich mit dem Infrarotbereich der ersten Ordnung und begrenzen den nutzbaren Spektralbereich im Infrarotbereich bei 800nm.

Möchte man den langwelligen Spektralbereich ungestört von den überlappenden blauen Linien der zweiten Ordnung abbilden, so empfiehlt sich der Einsatz eines Gelbfilters, welcher den Blaubereich abschneidet.

2.1.1.1 Fokussierung der DSLR-Kamera

Die Optik des BACHES ist sehr gut auskorrigiert und zeigt nur eine minimale Achromasie zwischen 400nm und 700nm. Möchte man eine einzelne Ordnung hochaufgelöst untersuchen, so empfiehlt es sich, eine Spektrallinie in dieser Ordnung zum Scharfstellen zu verwenden. Beispielsweise die Hg I Linie 5769,61Å für die Untersuchung des Na Dubletts. Soll das gesamte Spektrum mit gleichmäßig hoher Schärfe dargestellt werden zwischen 400nm und 700nm, sollte man auf die grüne Quecksilberlinie bei 5460,75Å scharfstellen.

Mit Hilfe der Videovorschau gelingt das bei einer Canon DSLR-Kamera wie folgt.

Zunächst öffnet man das „Live-View-Fenster“. Man erkennt, dass das Lampenspektrum noch defokussiert ist. Man definiert ein Rechteck um eine Linie, auf die man scharf stellen möchte.

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

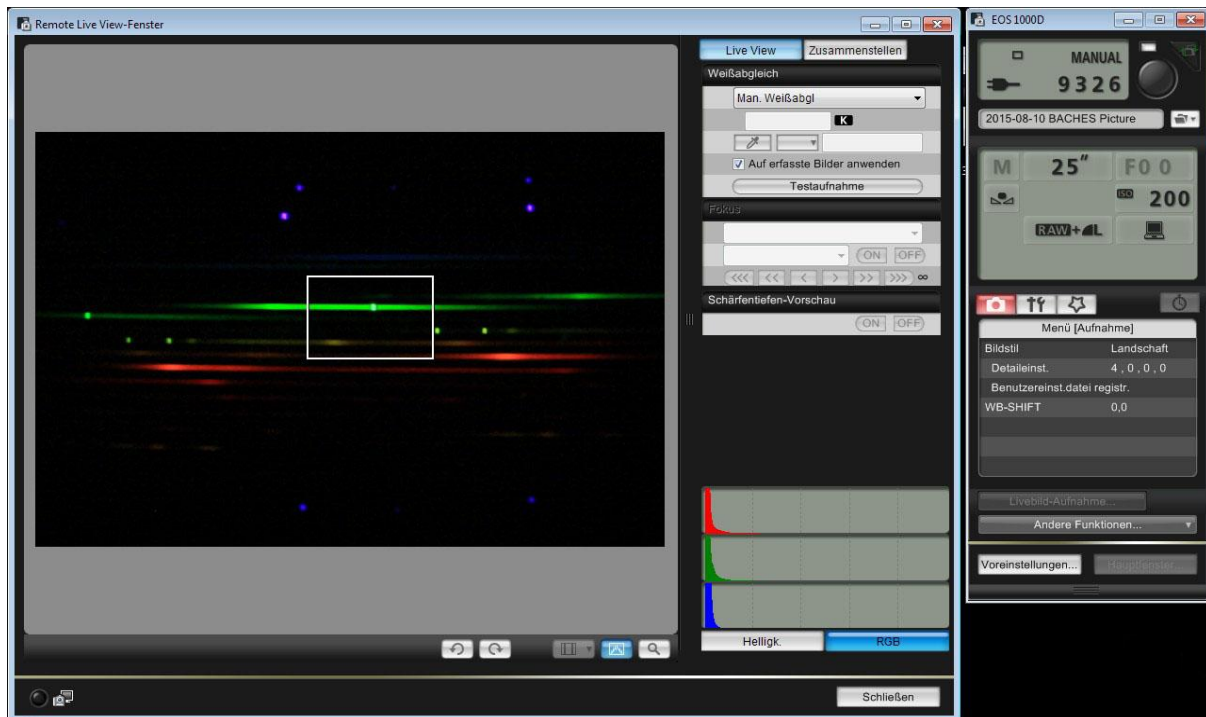


Abb. 7: Fokussierung auf die schmale grüne Quecksilberlinie bei 546nm

In der Zoom-Ansicht ist die Vergrößerung ausreichend hoch zum präzisen Fokussieren.

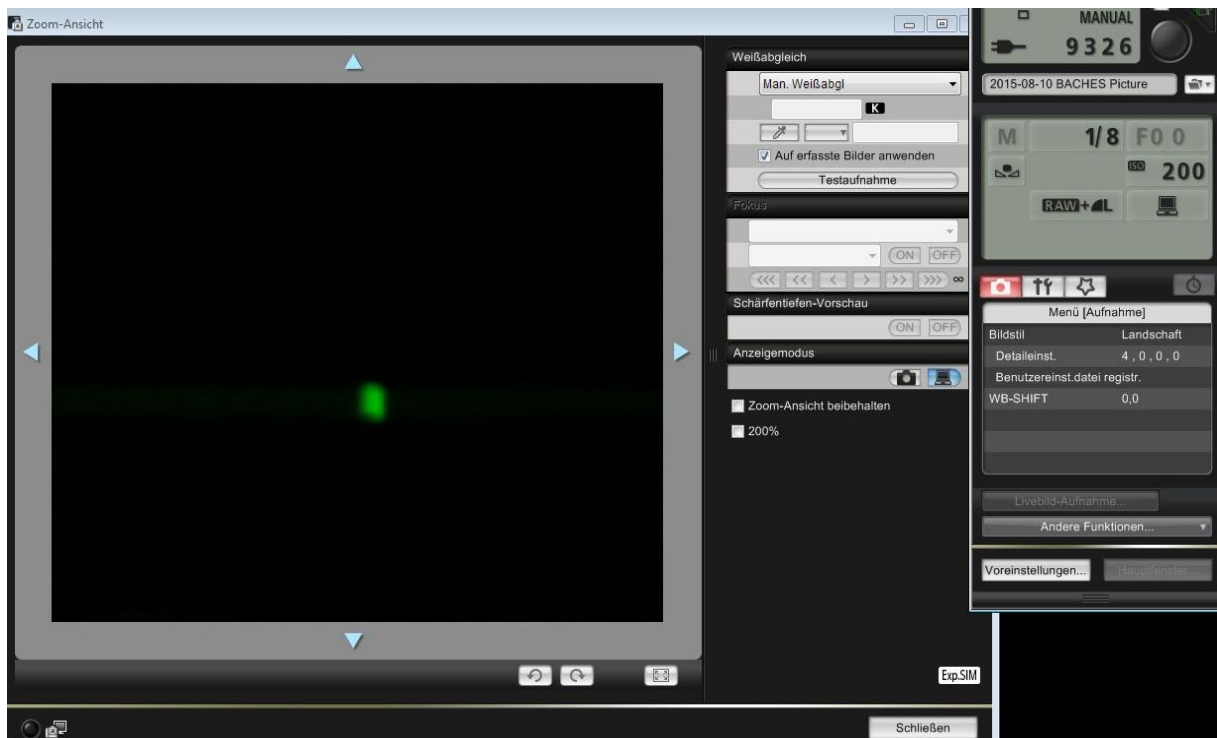


Abb. 8: Fokussierung in maximaler Zoom-Stufe

Nun dreht man an der Fokussierung (Abb. 9) feinfühlig, bis die Linie scharf erscheint (Abb. 10). Der mitgelieferte Schraubendreher passt genau durch die Kabelführung und kann auch am Teleskop in dieser Position verbleiben. Führt man das Motorkabel zusätzlich neben dem Schlüssel durch die Kabelführung, bleibt der Schraubendreher in jeder Position am Teleskop fixiert.

Es wird in der Praxis nicht nötig sein, den Fokus häufig anzupassen.

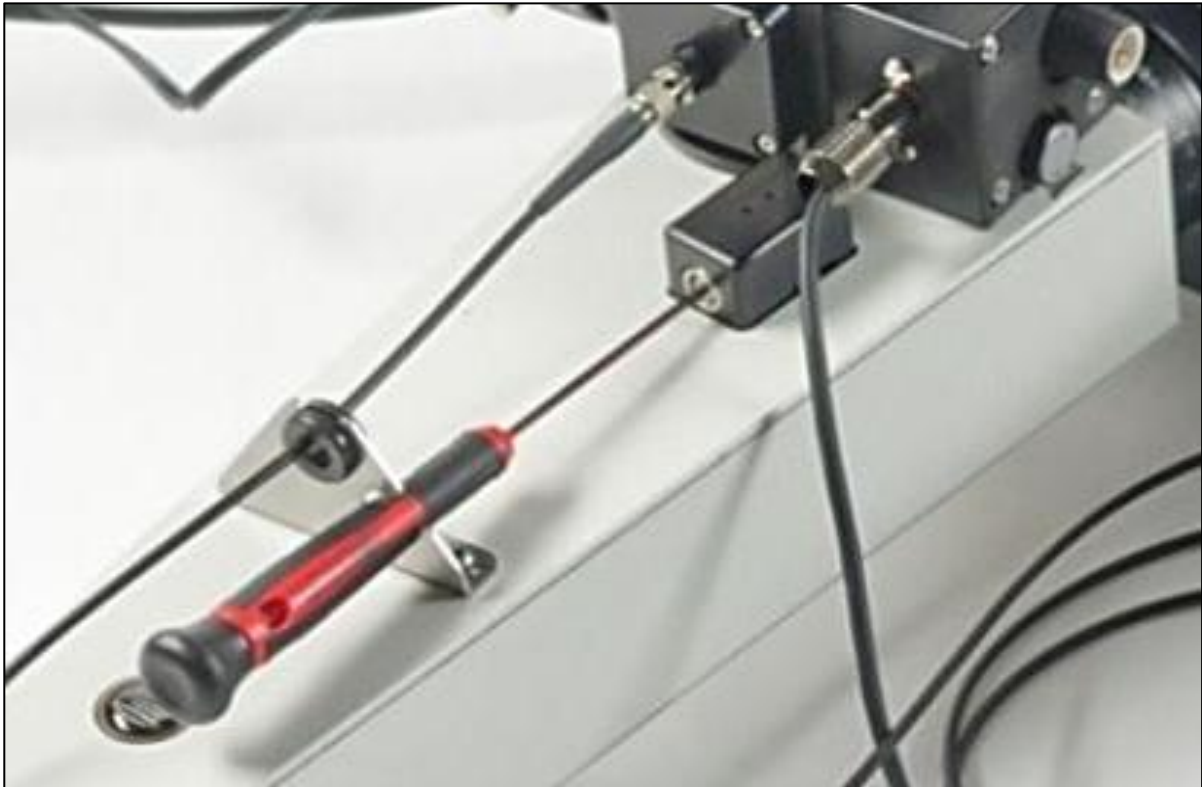


Abb. 9: Mit dem Schraubendreher lässt sich der Fokus sehr feinfühlig einstellen

Bei Verwendung einer DSLR-Kamera reicht es aus, die Schärfe der Linie visuell zu beurteilen.

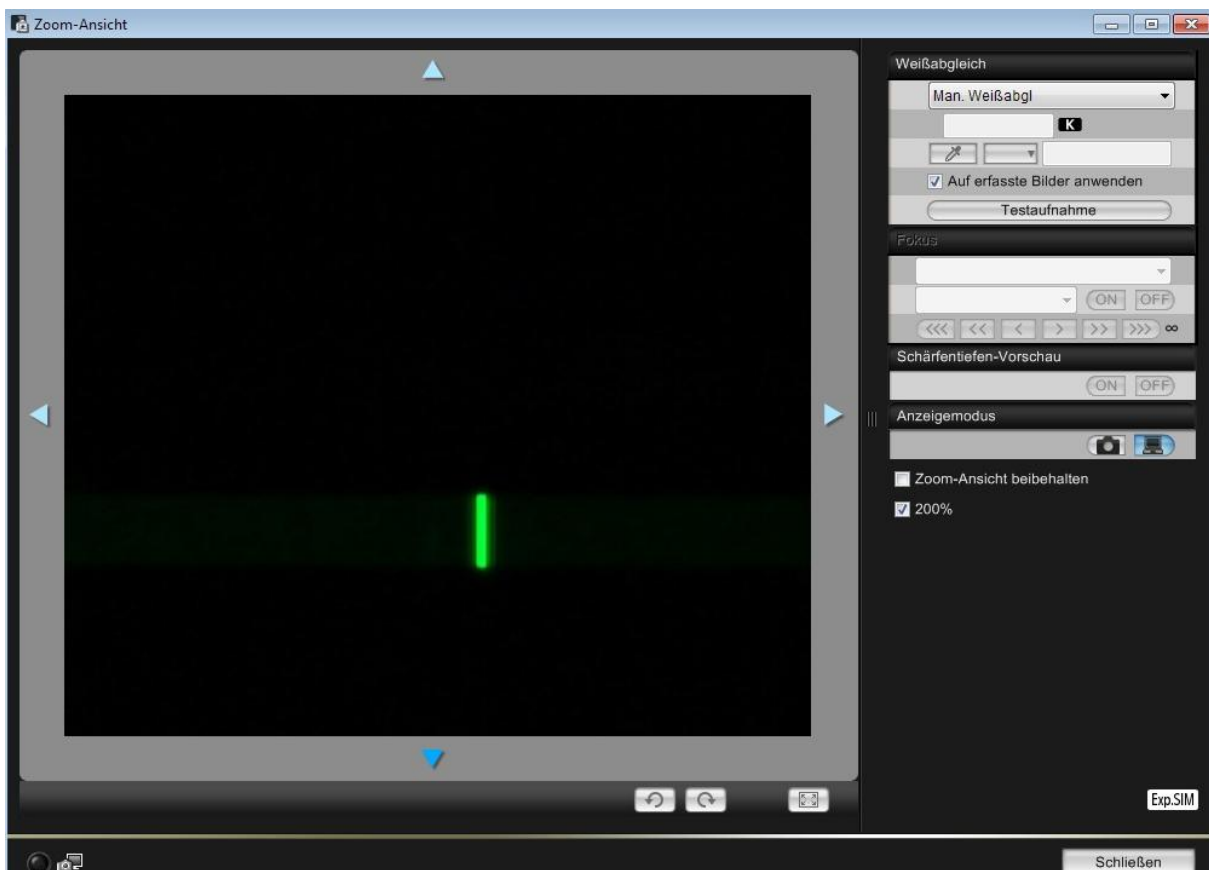


Abb. 10: Die grüne Hg-Linie bei 546,7nm gut fokussiert

2.1.2 Thorium-Argon Referenzlampe



Abb. 11: Spektrum der ThAr-Lampe mit unmodifizierter DSLR-Kamera

2.1.3 Halogenlampe

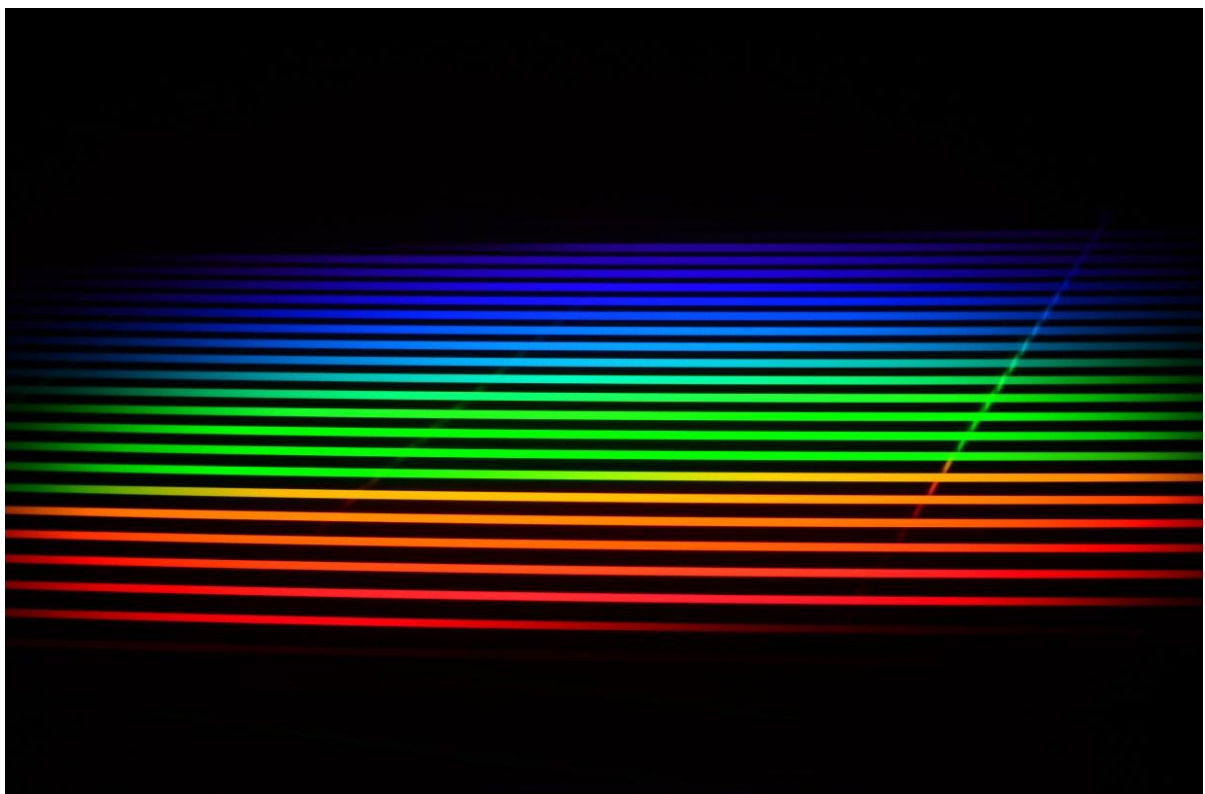


Abb. 12: Spektrum der Halogenlampe mit unmodifizierter DSLR-Kamera

2.1.4 Die Fraunhoferlinien im Tageslichtspektrum

Richten Sie die fokussierte DSLR-Kamera gegen den Tageshimmel und nehmen Sie ein Tageslichtspektrum auf. Setzen Sie kein Objektiv vor den BACHES und richten sie ihn nicht direkt auf die Sonne. Trübes Himmelslicht reicht aus, allerdings kommt man bei strahlend blauem Himmel mit kürzeren Belichtungszeiten aus.

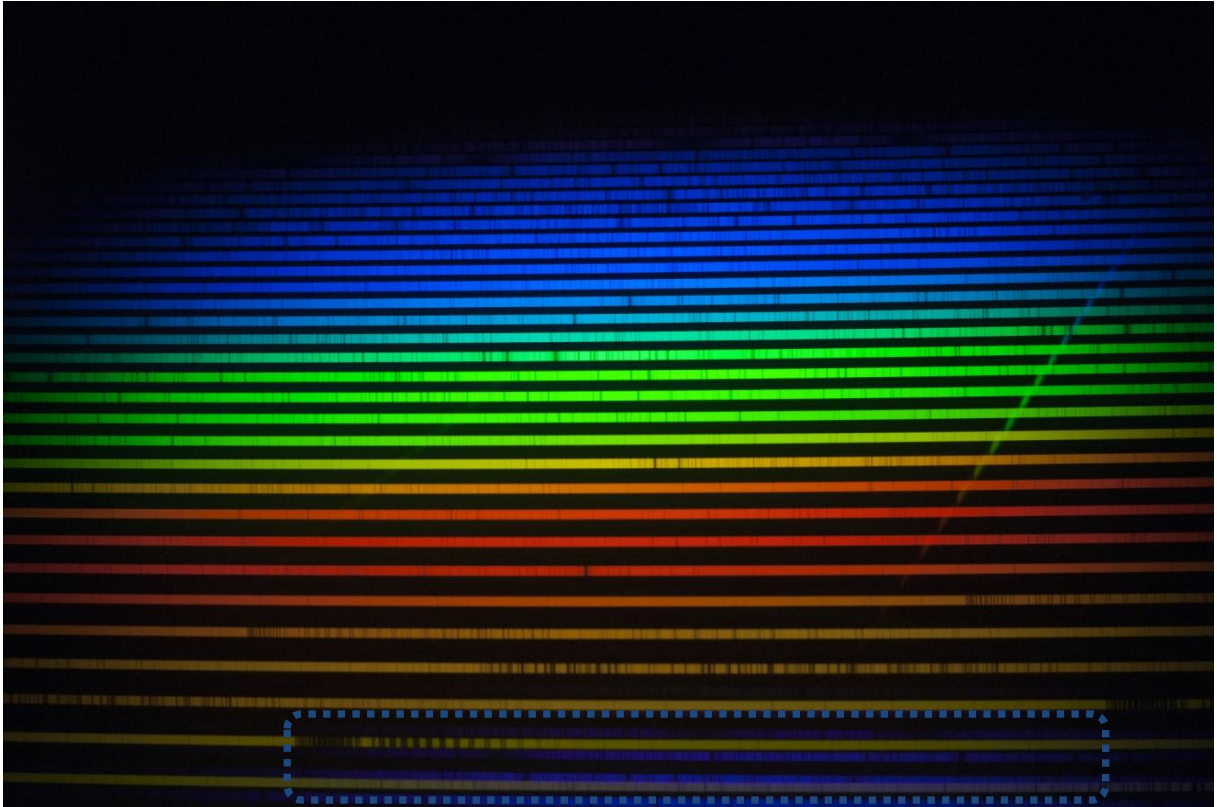


Abb. 13: Tageslichtspektrum mit der modifizierten Canon EOS1000D. Sämtliche vor dem Sensor platzierten Filter wurden entfernt. Ganz unten im Infrarotbereich der ersten Ordnung des Cross Dispersers überlagert sich der Blaubereich der zweiten Ordnung

Im Infrarotbereich, der je nach spektraler Empfindlichkeit der DSLR-Kamera mehr oder weniger abgebildet wird, überlagert sich die zweite Ordnung des Cross Dispersers.

2.2 CCD-Kameras

2.2.1 SBIG ST-1603ME

Der BACHES Echelle-Spektrograf ist für eine CCD-Pixelgröße von $9\mu\text{m}$ optimiert worden. Passend ist eine Kamera mit dem KAF-1603 Sensor, wie er in der ST-1603ME oder STT-1603ME verbaut ist².

Imaging CCD.....	Kodak KAF-1603ME
Imaging/Pixel Array.....	1530 x 1020 pixels
CCD Size.....	13.8 x 9.2 mm
Total Pixels.....	1.56 million
Pixel Size.....	9 x 9 microns
Full Well Capacity.....	~100,000 e-
Dark Current e/p/s at 0 C.....	1e-/pixel/sec at 0 deg.
Antiblooming.....	NABG Only
Peak QE.....	>80%

Abb. 14: Technische Daten und Quanteneffizienz des KAF-1603ME

Die in der Dokumentation der Firma Kodak vorliegende Quanteneffizienzkurve des Sensoren KAF-1603ME³ wurde per Hand digitalisiert und liegt zum Download bereit.

Download folgender Dateien: KAFD-1603ME.dat, KAF-1603ME.fit

Diese Daten lassen sich in VSpec (VisualSpec⁴) importieren und zur Intensitätskorrektur aufgenommener Spektren verwenden.

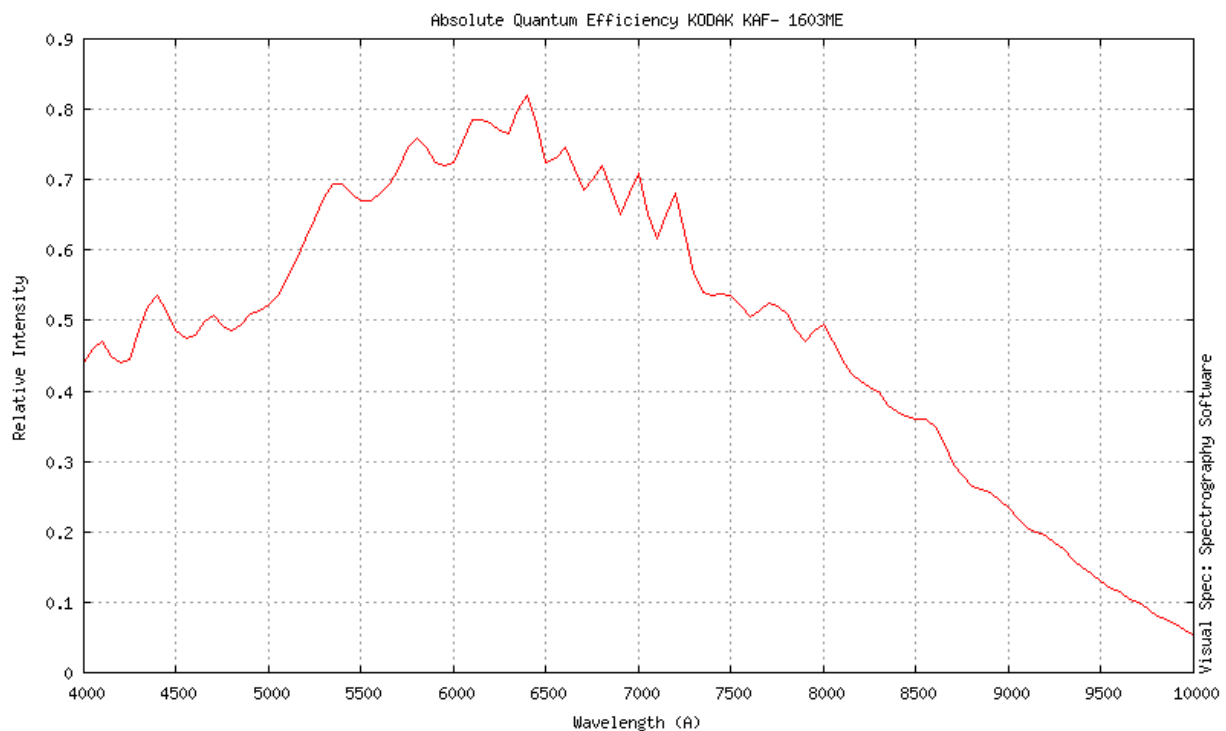


Abb. 15: Absolute Quanteneffizienz des KAF-1603ME

² <https://www.sbig.com/products/cameras/st-compact/st-1603me/>

³ <http://www.qsimaging.com/docs/KAF-1603MELongSpec.pdf>

⁴ <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/>

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

2.2.2 ST-1603ME am BACHES befestigen

Die CCD-Kamera wird sinnvollerweise mit der Baader Schnellwechseleinheit (#2456322)⁵ und



beispielsweise dem 2" Steckanschluss (#2408150)⁶ mit dem BACHES verbunden. Der T-2 Quick Changer erlaubt es, die Kamera so auszurichten, dass der mittlere Bereich des Spektrums exakt horizontal im Bild ausgerichtet ist.

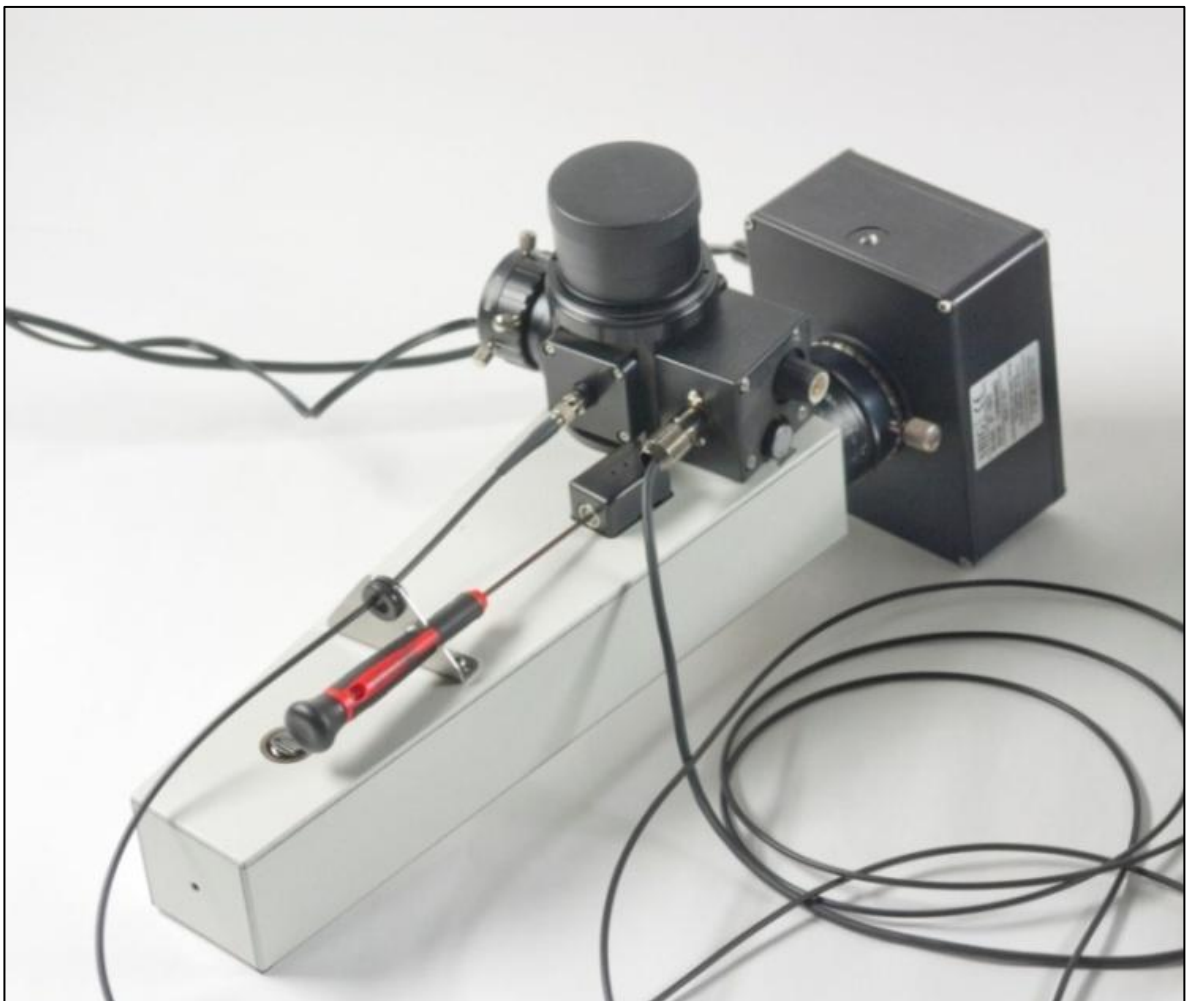


Abb. 16: Die SBIG ST-1603ME am BACHES. Das T2-Schnellwechselsystem wird am T2-Gewinde der Kamera befestigt.

⁵ http://www.baader-planetarium.de/sektion/s08/s08.htm#+06_7

⁶ <http://www.baader-planetarium.de/sektion/s08/s08.htm>

2.2.3 BACHES mit CCD-Kamera ST-1603ME am Teleskop

Die Befestigung der Einheit an einem stabilen Okularauszug ist anzustreben.

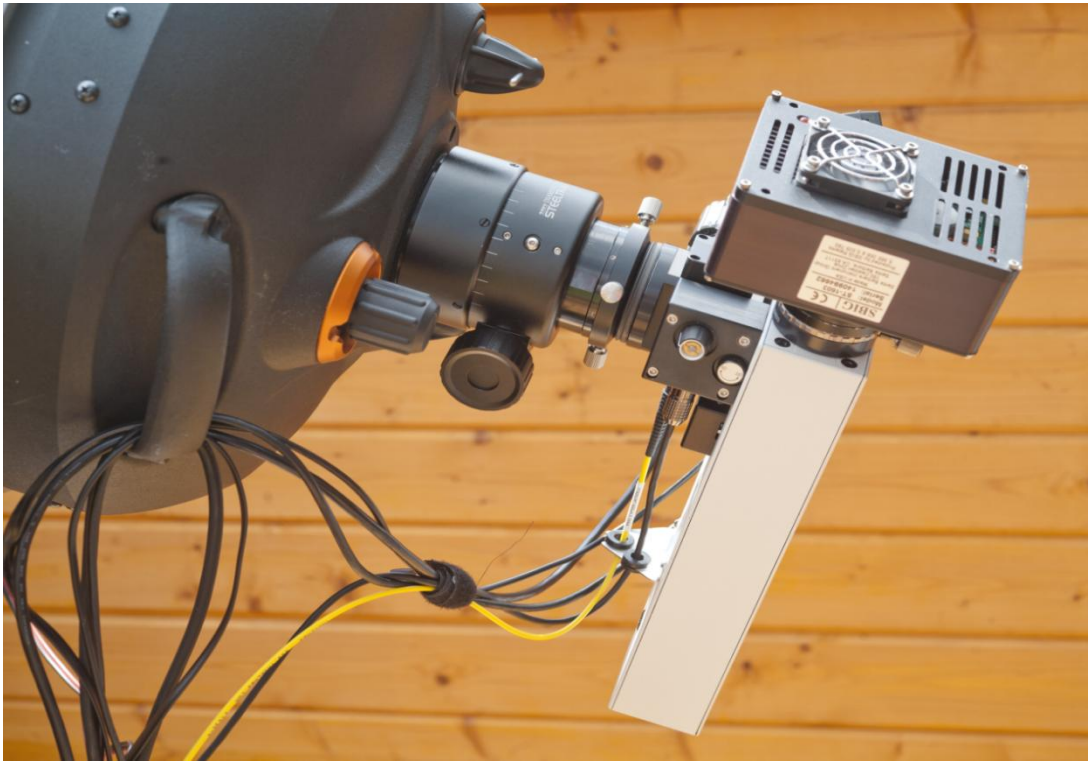


Abb. 17: BACHES im 2"-Auszug des Diamond SteelTrack am C14 EdgeHD-Teleskop

2.2.4 Energiesparlampen-Spektrum mit ST-1603ME

Die schmalen Emissionslinien des Quecksilberdampfes können zu Zwecken der manuellen Wellenlängenkalibrierung eingesetzt werden.

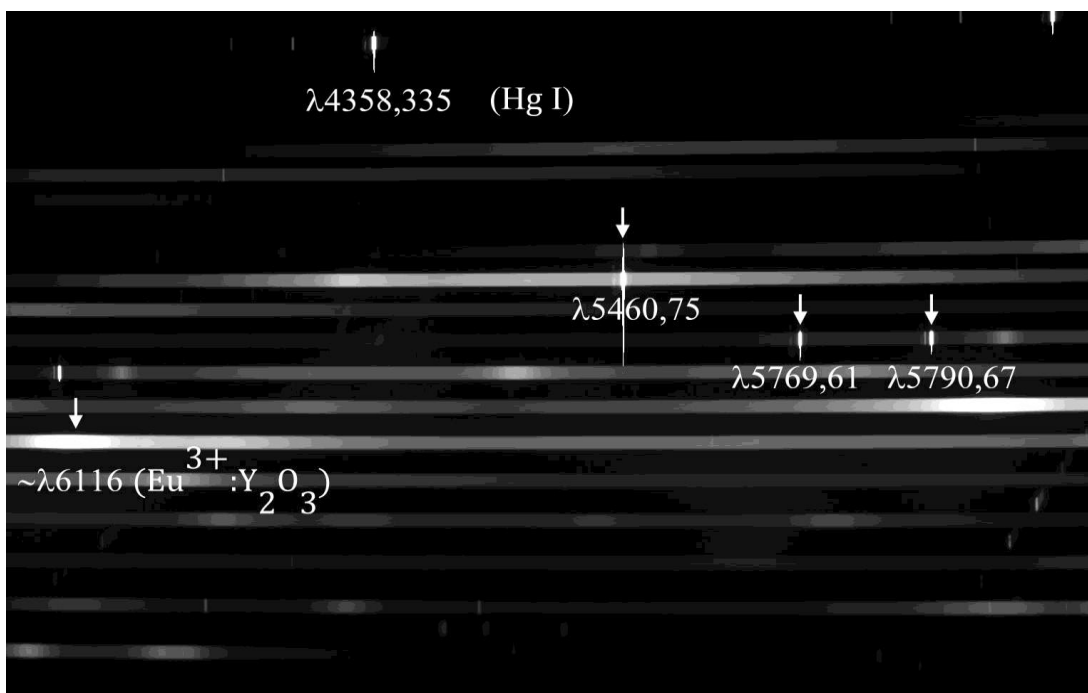


Abb. 18: Spektrum der Energiesparlampe Ormalight

Allerdings geht das nicht mit der semiautomatischen Software MIDAS, die aus einem Angebot von ca. 2000 Linien einige Hundert für eine zuverlässige Kalibrierung des gesamten Spektrums benötigt. Wieviel, hängt vom Grad der angestrebten Kalibriergenauigkeit ab.

Die breiten Fluoreszenzlinien des dotierten Europiums sind nicht für hochauflösende Kalibrierzwecke geeignet. Diese und andere Banden können nicht in diskrete Linien bekannter Wellenlänge aufgelöst werden.

2.2.5 ThAr-Lampe mit ST-1603ME

Die Thorium-Argon-Lampe stellt im visuellen Spektralbereich rund 2000 Linien zur Wellenlängenkalibrierung zur Verfügung.

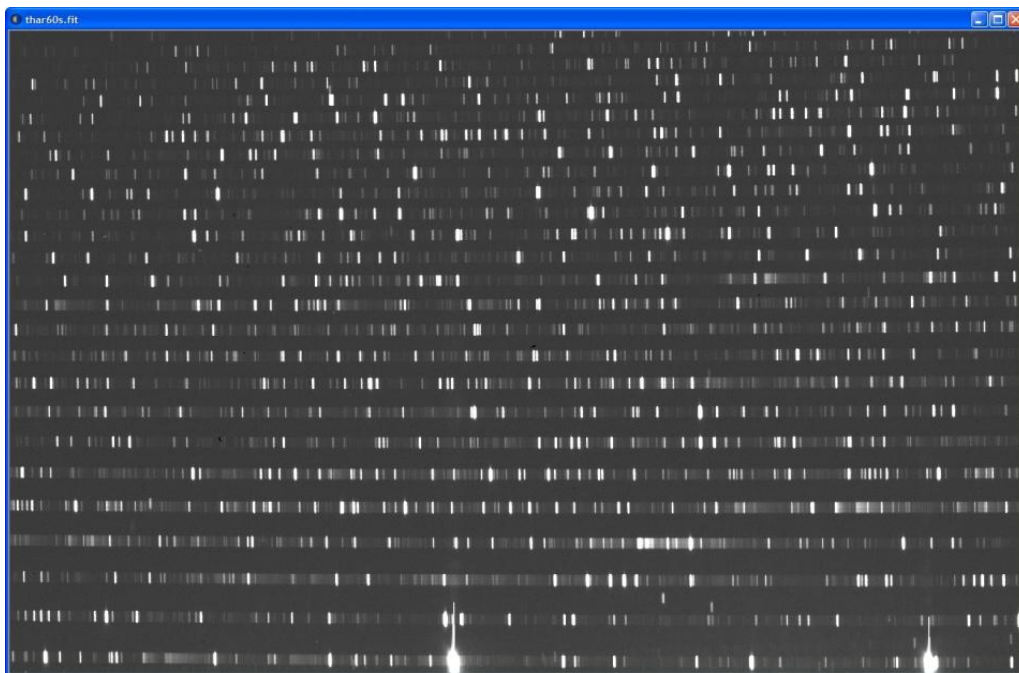


Abb. 19: : ThAr-Referenzspektrum thar60s.fit, 60s belichtet mit ST-1603ME. Blau → Rot entspricht der Reihenfolge oben links→ unten rechts.

2.2.6 Die Fraunhofer-Absorptionslinien im Tageslichtspektrum

Für die Darstellung der Fraunhofer-Absorptionslinien im Sonnenspektrum genügt es, das gestreute Himmelslicht aufzunehmen. Dieses sogenannte Tageslichtspektrum kann auch bei trübem oder regnerischem Wetter aufgenommen werden. Lediglich die Belichtungszeit ist zu verlängern.

Hinweis: Richten Sie den BACHES bzw. das Teleskop mit BACHES niemals direkt auf die Sonne, ohne einen AstroSolar Sonnenfilter vor der Eintrittsöffnung als Schutz einzusetzen.

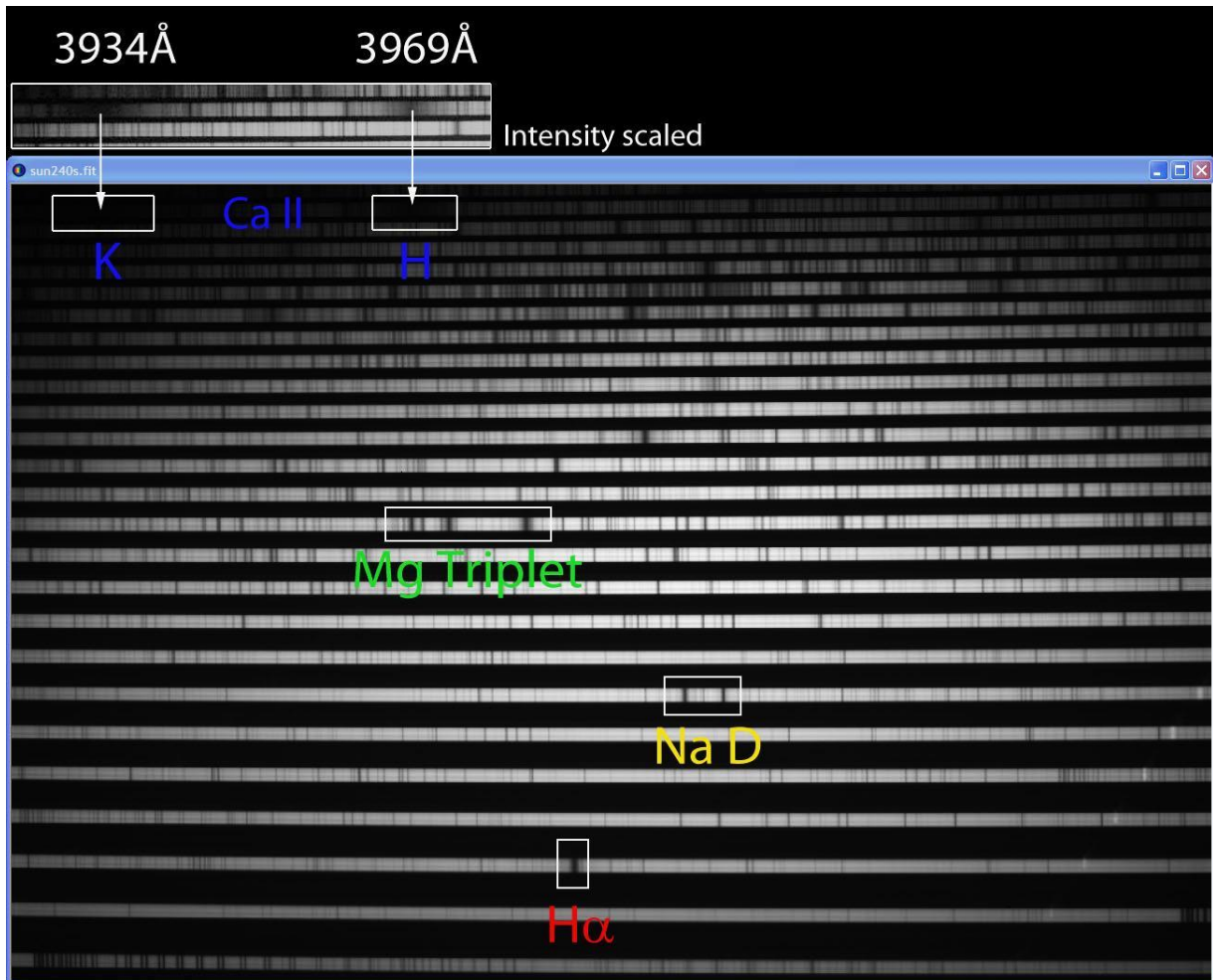


Abb. 20: Tageslichtspektrum sun240s.fit, 240s belichtet mit ST-1603ME. Spektraltyp G2V, Blau → Rot entspricht der Reihenfolge oben links → unten rechts. Die wichtigen Ca II-Linien H und K sind enthalten. Das Spektrum reicht von ca. 3925Å bis ca. 7084Å. Spaltbreite: 25µm

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

2.2.7 SBIG ST-8300M

Der größere KAF-8300M-Sensor weist im 2x2-Binning eine Pixelgröße von 10.8µm auf, die geringfügig größer als die optimale Pixelgröße von 9µm ist.

CCD	
CCD	Kodak KAF-8300
Pixel Array	3326 x 2504 pixels
CCD Size	17.96 x 13.52 mm
Total Pixels	8.3 million
Pixel Size	5.4 x 5.4 microns square
Full Well Capacity	~25,500 e-
Dark Current	~0.02e-/pixel/sec at -10C.
Antiblooming	1000X
Readout Specifications	
Shutter	Mechanical
Exposure	0.12 to 3600 seconds, 10ms resolution
Correlated Double Sampling	Yes
A/D Converter	16 bits
A/D Gain	TBD (prototype = 0.38e-/ADU)
Read Noise	~8e- rms
Binning Modes	1 x 1, 2 x 2, 3 x 3
Pixel Digitization Rate	> 1 million pixels per second
Full Frame Download	~7.7 seconds
Focus Mode	~1 second

Nachfolgekamera der SBIG ST-8300M mit dem gleichen Sensortyp ist die STF-8300M.

Vergleicht man beide hier vorgestellten Sensoren, so erkennt man deutliche Unterschiede: Vorteil gegenüber dem KAF-1603ME Sensor ist die mit 13.5mm x 18.0mm größere Sensorfläche, so dass die Positionierung des Spektrums auf dem Sensor weniger kritisch ist. Allerdings ist die Quanteneffizienz des KAF-8300M insbesondere im UV/Blaubereich deutlich geringer, wodurch längere Integrationszeiten nötig sind, wenn man bsp. die Kalziumlinien untersuchen möchte.

Die in der Dokumentation der Firma Kodak vorliegende Quanteneffizienzkurve des Sensors KAF-8300M⁷ wurde per Hand digitalisiert und liegt zum Download bereit.

KAF-8300M.dat, KAF-8300M.fit

Diese Daten lassen sich in VSpec importieren und zur Intensitätskorrektur aufgenommener Spektren verwenden.

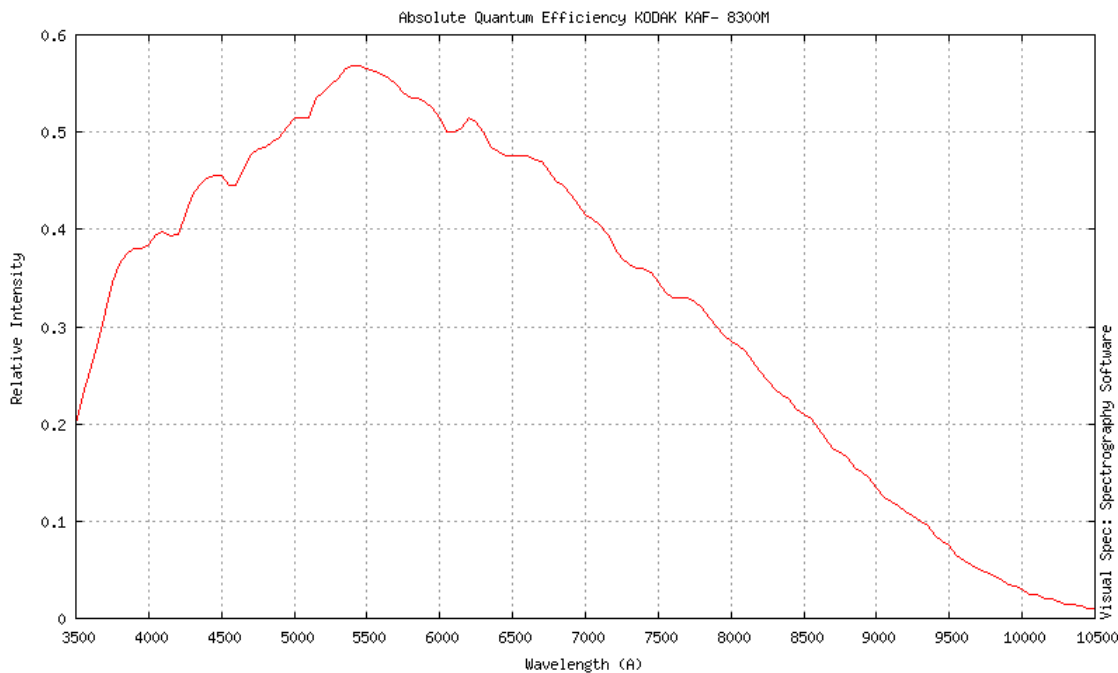


Abb. 21: Absolute Quanteneffizienz des KAF-8300M

⁷[http://www.kodak.com/ek/uploadedFiles/Content/Small_Business/Images_Sensor_Solutions/Datasheets\(pdfs\)/KAF-8300LongSpec.pdf](http://www.kodak.com/ek/uploadedFiles/Content/Small_Business/Images_Sensor_Solutions/Datasheets(pdfs)/KAF-8300LongSpec.pdf)

2.2.8 BACHES mit CCD-Kamera ST-8300M am Teleskop

BACHES und CCD-Kamera sollten gemäß Abb. 22 zu den Himmelsrichtungen ausgerichtet sein, weil bei vielen, insbesondere älteren Montierungsantrieben ein gewisses Spiel in DEC nicht ausgeschlossen werden kann.

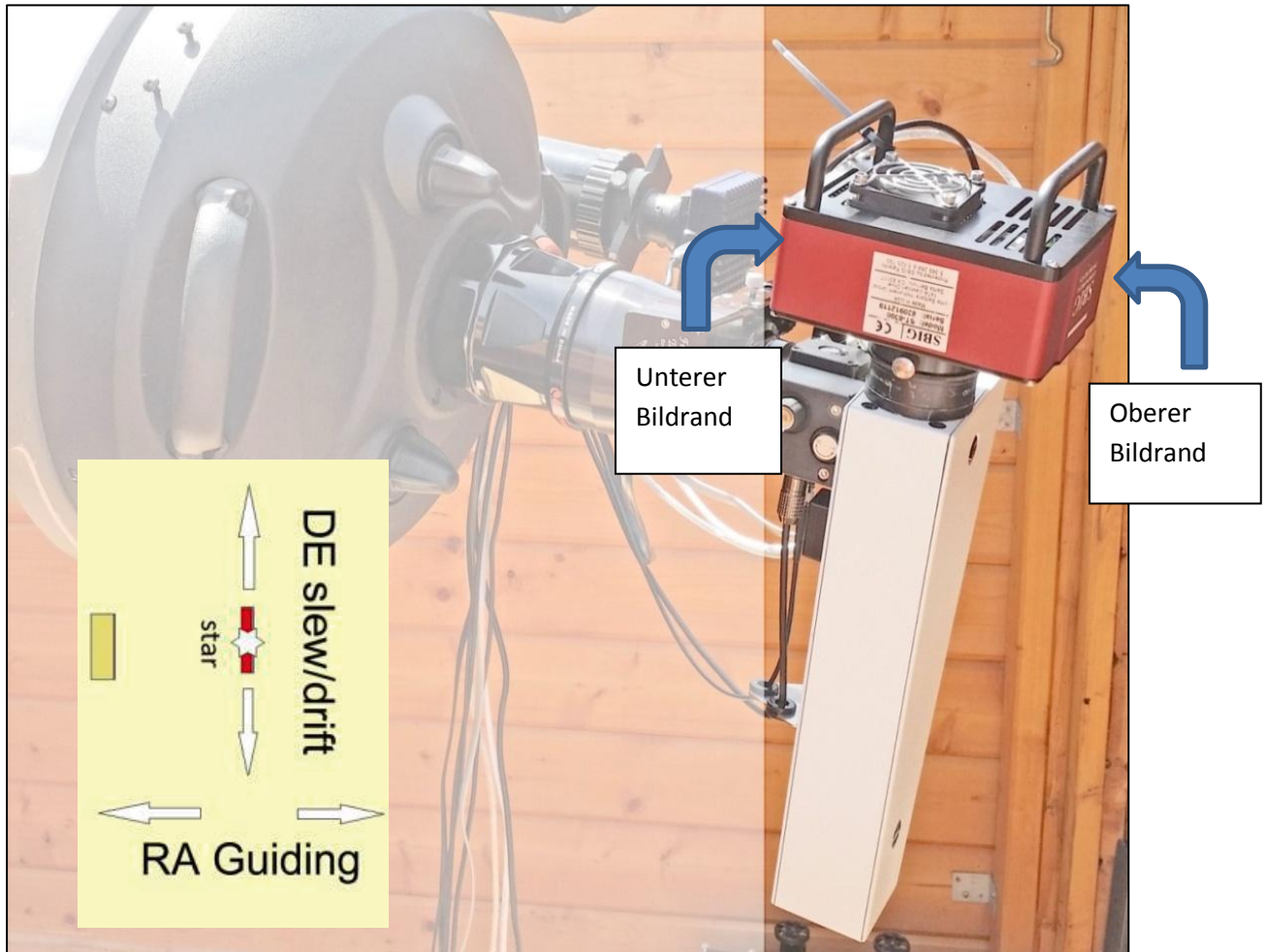


Abb. 22: Der BACHES Echelle-Spektrograf ist am C14 Edge HD in Nord-Südrichtung ausgerichtet. Die ST-8300M CCD-Kamera ist am BACHES so orientiert, dass deren Unterseite zum Teleskop zeigt

2.3 Aufnahmeanordnung und Workflow zur Spektrengewinnung

Beispiel:

Montierung: 10Micron GM2000HPS

Teleskopoptik: C14 EdgeHD f/10.8, f=3820mm

Spektrograf: BACHES Echelle

Spaltbreite: 25 μ m (oder 50 μ m)

Spalthöhe: 130 μ m

Spaltbeleuchtung und Kalibrierung: Remote Calibration Unit (RCU)

Wellenlängenkalibrierung: ThAr-Lampe in RCU

Flatfield: Halogenlampe in RCU

CCD-Kamera: SBIG ST-1603ME, mit BACHES mittels Schnellwechselsystem verbunden

Guiding: Celestron Skyris 274M mit vorne eingeschraubtem SlitViewer

2.3.1 Guidingkamera

Als Guidingkamera sind alle Foto- und Videokameras geeignet, die auch für das Guiding in der Astrofotografie vorgesehen werden können. Eine großflächige Kamera, wie die Skyris 274M, erleichtert das Auffinden des zu spektroskopierenden Sterns im Gesichtsfeld.



Abb. 23: Ein großer Sensor wie der der Skyris 274M ist von Vorteil, damit der Stern nach dem Anfahren sicher gefunden werden kann.

Zunächst wird der SlitViewer vorne in das Schraubgewinde der 1¼"-Steckhülse der Guidingkamera, hier eine Celestron Skyris 274M, eingeschraubt. Der SlitViewer enthält eine Zwischenoptik, die den Spalt auf den Sensor abbildet⁸.

Als Videosoftware für die The Imaging Source und Celestron Skyris-Kameras eignet sich die Originalsoftware iCap des Kameraherstellers. Alternativ verwendet man FireCapture⁹, zusammen mit einem digitalen Fadenkreuz, welches genau auf den Spalt positioniert werden kann¹⁰. Die Beleuchtung des hier aktiven 25 μ m-Spalts kann mit der RCU erfolgen.

	Skyris 274M (825155)
A/D Wandler	12-bit
Maximale Bildrate	20 fps
Sensor	Sony ICX274AL Monochrome CCD
Teleskopanschluss	1¼" Stutzen und C-Gewinde
Temperaturbereich	40°C bis -40°C
Optisches Fenster	Nein
Verschluss	Global
Software- Kompatibilität	iCap, IC Capture, DirectShow
Sub-Framing	Wählbar
Stromversorgung	Über USB
Kameraauflösung	1600x1200
Sensorgroße	8,5 mm x 6,8 mm
Pixelgröße	4,4 μ m ²
System- voraussetzungen	PC / Laptop mit Windows XP/Vista/7/8 & freiem USB 2.0/3.0 Port
Gewicht	0,1 kg

⁸ http://www.baader-planetarium.de/baches/download/baches_manual_d.pdf (Seiten 28-31)

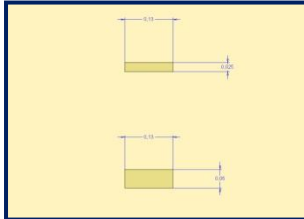
⁹ <http://www.firecapture.de/>

¹⁰ http://www.nightskyimages.co.uk/als_reticle.htm

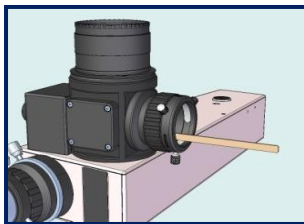
2.3.2 Die Wahl der Spaltbreite: 25 μ m oder 50 μ m?

Welche Spaltbreite sollte man für die Spektroskopie wählen? Es stehen ein 25 μ m und ein 50 μ m-Spalt zur Auswahl. Der breitere 50 μ m-Spalt kommt zum Einsatz, wenn sehr lichtschwache Objekte spektroskopiert werden sollen und gleichzeitig eine halb so große spektrale Auflösung akzeptiert werden kann. Anwendungsbereiche: Nebelobjekte, Spektrophotometrie.

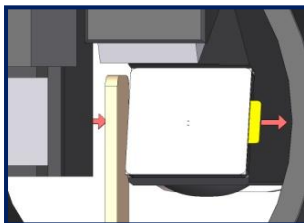
Gewechselt wird die Spaltbreite gemäß BACHES-Anleitung, Seite 32¹¹:



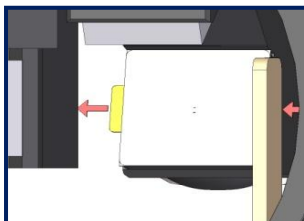
Der BACHES ist mit einem Spaltplättchen ausgestattet, welches zwei Spalte enthält: 25 μ m x 130 μ m und 50 μ m x 130 μ m. Sie werden je nach Anforderung an Auflösung und Grenzgröße nun einen der beiden Spalte wählen.



Um den Spalt zu wechseln, schieben Sie ein Holzstäbchen in den Spaltbetrachtungseingang und schieben das Spaltplättchen ganz sanft in die gewünschte Position. **Bitte berühren Sie dabei keinesfalls den Spalt!**



Wahl des 25 μ m-Spalts: Schieben Sie das gelbe Fähnchen von links nach rechts. Das 25 μ m-Label erscheint.



Wahl des 50 μ m-Spalts: Schieben Sie das gelbe Fähnchen von rechts nach links. Das 50 μ m-Label erscheint.

¹¹ http://www.baader-planetarium.de/baches/download/baches_manual_d.pdf

2.3.3 Spaltbeleuchtung mit der Remote Calibration Unit (RCU)



Als erstes wird die RCU mit beiden Kabeln mit dem BACHES verbunden. Bitte konsultieren Sie hierzu die Bedienungsanleitung der RCU¹². Wenn am Beobachtungsort ein LAN-Netzwerkanschluss vorliegt, verbindet man die RCU mittels LAN-Kabel mit dem Router oder einem Switch. Im Router wird der RCU eine freie IP-Adresse am sinnvollsten permanent zugewiesen.

Nach Einschalten der RCU und Wahl der Option „Remote“ öffnet man einen Webbrowser und startet das Webinterface, indem man die IP-Adresse eingibt, in diesem Beispiel: 192.168.178.27. Es öffnet sich das Bedienmenü der RCU (Abb. 24). Erst schaltet man die „Reference Lamp“ auf „on“ und dann die ThAr-Lampe oder die Flatfield-Halogenlampe ein. Power Port 4 ist nicht belegt.

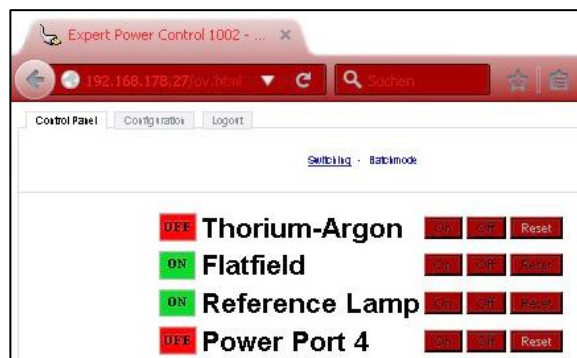


Abb. 24: RCU Remote Control mit dem Web-Interface

Als erstes stellt man den aktiven Spalt scharf, indem man die Guidingkamera im Guiding-Port vor und zurück schiebt. Um die Fokusposition zu reproduzieren, setzt man einen 1¼“-Stoppring als Abstandshalter ein.



Abb. 25: Falls eine Celestron Skyris- oder eine The Imaging Source Kamera verwendet wird, kann die Autoguiding-Software SpecTrack verwendet werden.

¹² http://www.baader-planetarium.de/baches/download/rcu_manual_e.pdf

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Hinweis: Rotes Fadenkreuz und Videofenster können nicht fest miteinander verbunden werden. Man sollte wissen, wo auf dem Monitor das Guidingfenster liegen sollte. Wird die RCU ausgeschaltet, sieht man nun das rote Fadenkreuz, aber nicht den Spalt.

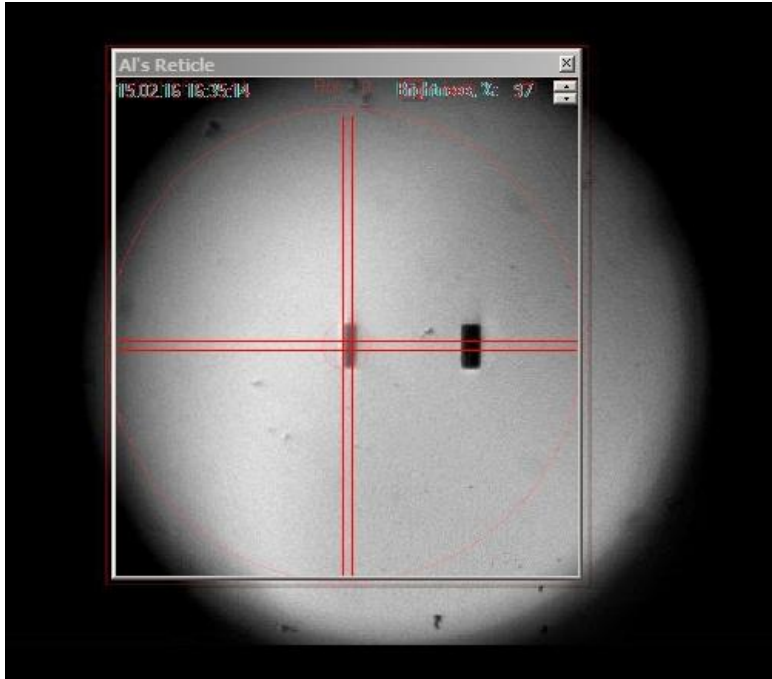


Abb. 26: Der 25µm-Spalt im Zentrum des Fadenkreuzes. Orientierung des Fadenkreuzes in Nord/Süd- bzw. Ost/West-Richtung.

2.3.4 CCD-Kamera an BACHES und beides an das Teleskop ansetzen

Wie unter 2.2.8 beschrieben, wird die CCD-Kamera mit dem BACHES befestigt und in zweierlei Hinsicht ausgerichtet.

1. Die CCD-Kamera muss mit ihrer langen Kante so exakt wie möglich parallel zu den Ordnungen im Spektrum ausgerichtet werden.
2. BACHES mit allen angesetzten Kameras wird in Ost/West- bzw. Nord/Süd Richtung an das Teleskop angesetzt, damit der Leitstern in RA quer über den Spalt läuft.

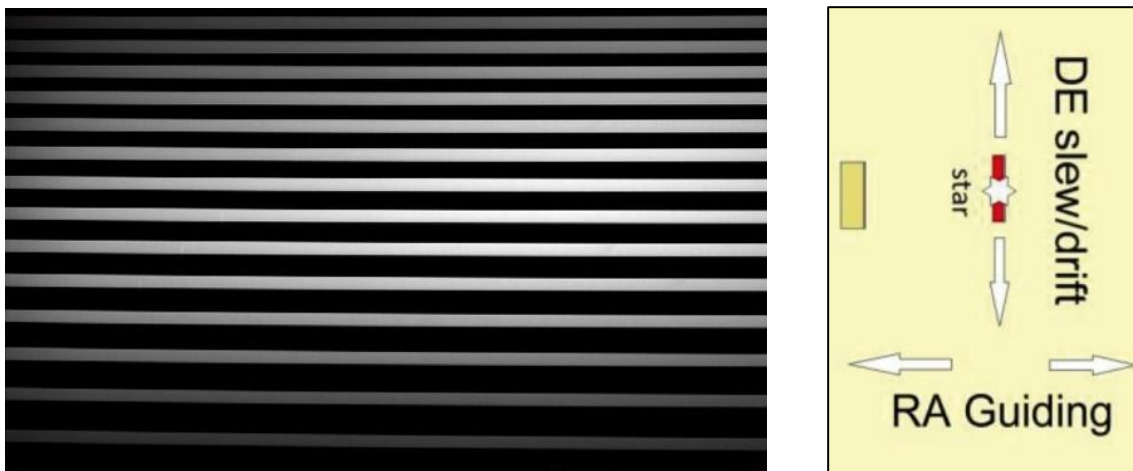


Abb. 27: Wichtig: Horizontales Spektrum (links) und parallel zu den Achsen ausgerichteter BACHES (rechts)

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Abb. 28 zeigt die optimale Ausrichtung in dreierlei Hinsicht:

1. Exakte Orientierung der CCD-Kamera SBIG ST-1603ME in Bezug auf den BACHES
2. Exakte Orientierung des BACHES zu den Himmelsrichtungen Nord/Süd und Ost/West
3. Exakte Orientierung der Guiderkamera zu den Himmelsrichtungen Nord/Süd und Ost/West



Abb. 28: Bevorzugte Ausrichtung der einzelnen Komponenten der Aufnahmeanordnung

2.3.5 Ausrichtung der Kamera am BACHES Echelle-Spektrografen

Damit die Spektren später von MIDAS¹³ korrekt ausgewertet werden, ist eine bestimmte, **genau definierte Ausrichtung der Aufnahmekamera** erforderlich. Die CCD-Kamera, in diesem Beispiel die ST-1603ME, muss am BACHES so ausgerichtet sein, dass die „Kamera-Unterseite“ mit Fotostativanschlussgewinde nach oben zeigt, wie in Abb. 28 gezeigt. Alle Spektren sollten mit einem (ggf. gemittelten) Darkframe kalibriert werden. Dies kann mit der Funktion „Autodark“ erfolgen. Im kontinuierlichen Betrieb im 1s-Takt werden die helleren Linien bereits sichtbar sein.

Die Feinausrichtung des Spektrums auf dem Sensor geschieht in zwei Schritten:

1. Zunächst drehen Sie die Kamera, die bsp. mit dem T2-Wechselring am BACHES angeschlossen sein könnte, in die exakte horizontale Lage. Die Spektralfäden sind ein wenig gegeneinander geneigt, so dass Sie am besten ein Fadenkreuz einspiegeln und den horizontalen Spektralfaden in der Bildmitte dafür heranziehen.

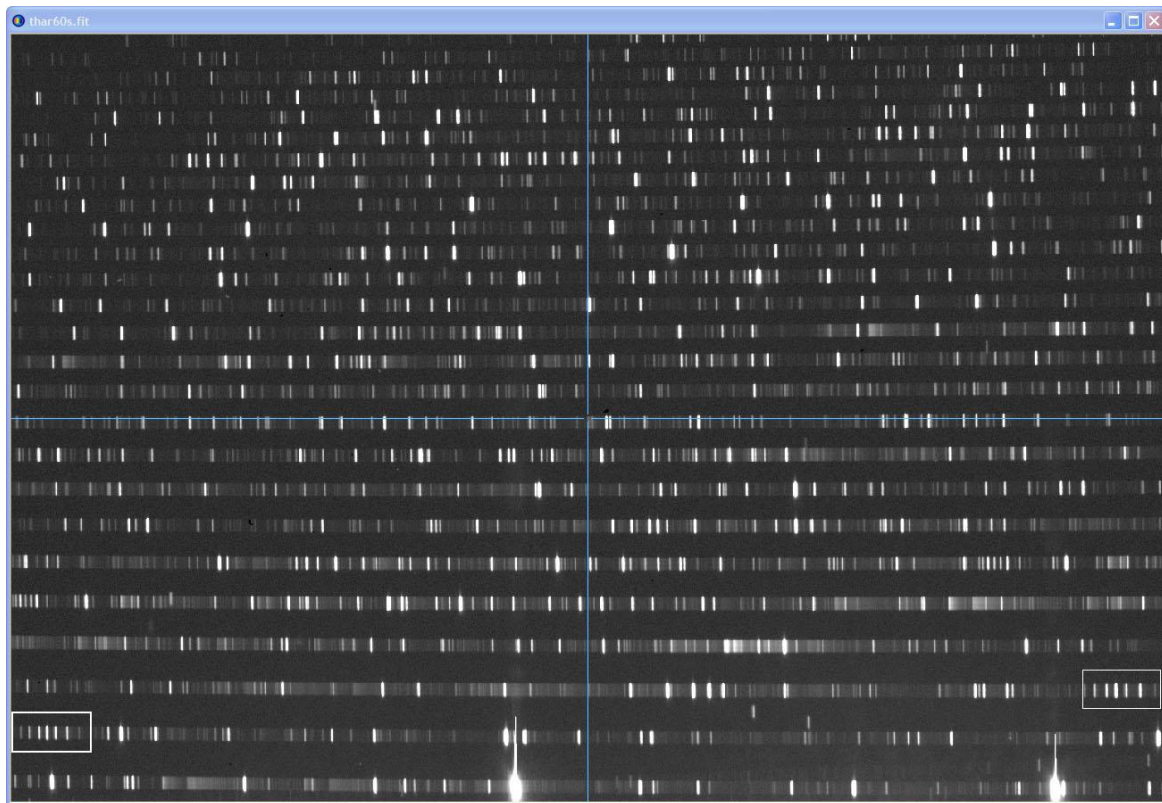


Abb. 29: 25 Ordnungen passen in das Feld der ST-1603ME-Kamera. Das ThAr-Spektrum wurde 60s belichtet. Oben links: Ultraviolett, ca. 392nm, unten rechts: Infrarot ca. 710nm

2. Die Einstellung des gewünschten Spektrenausschnitts gemäß Abb. 29 erfolgt mit Hilfe der Justierschrauben am BACHES (Abb. 30). Mit der ST-1603ME-Kamera können maximal 25 Ordnungen abgebildet und von MIDAS erkannt werden. Nun müssen Sie das Spektrum so verschieben, dass die Ränder **exakt** dem Bild in Abb. 29 entsprechen. Sie finden Hinweise zur Einstellung des Spektrums im BACHES Manual auf Seite 24 (Abb. 4). Orientieren Sie sich an der markierten Liniengruppe zweite und dritte Zeile von unten, die später zur Kalibrierung verwendet wird.

¹³ <https://www.eso.org/sci/software/esomidas/>

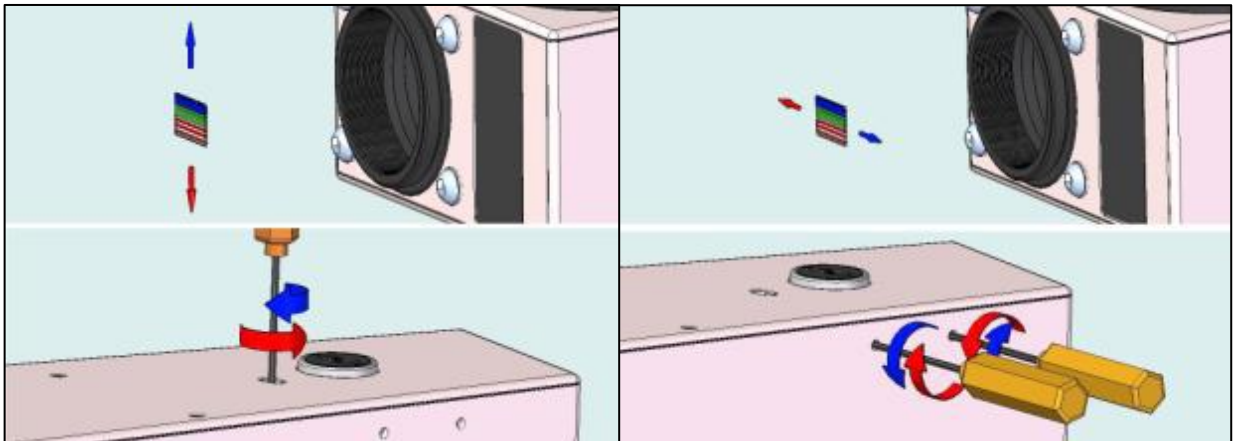


Abb. 30: Höhen- und Seitenverstellung des Spektrums

2.3.6 Fokussierung des Spektrums

Je genauer der Fokus, desto höher die spektrale Auflösung. Wenn Sie ausschließlich an der höchstmöglichen Auflösung bei einer bestimmten Spektrallinie, wie bsp. $H\alpha$, interessiert sind, sollten Sie auf eine ThAr-Linie fokussieren, die in der Nähe liegt. Möchten Sie eine durchschnittlich hohe Auflösung über das gesamte Spektrum erzielen, sollten Sie eine Linie im grünen Spektralbereich wählen, wie in Abb. 31 ausgewählt.

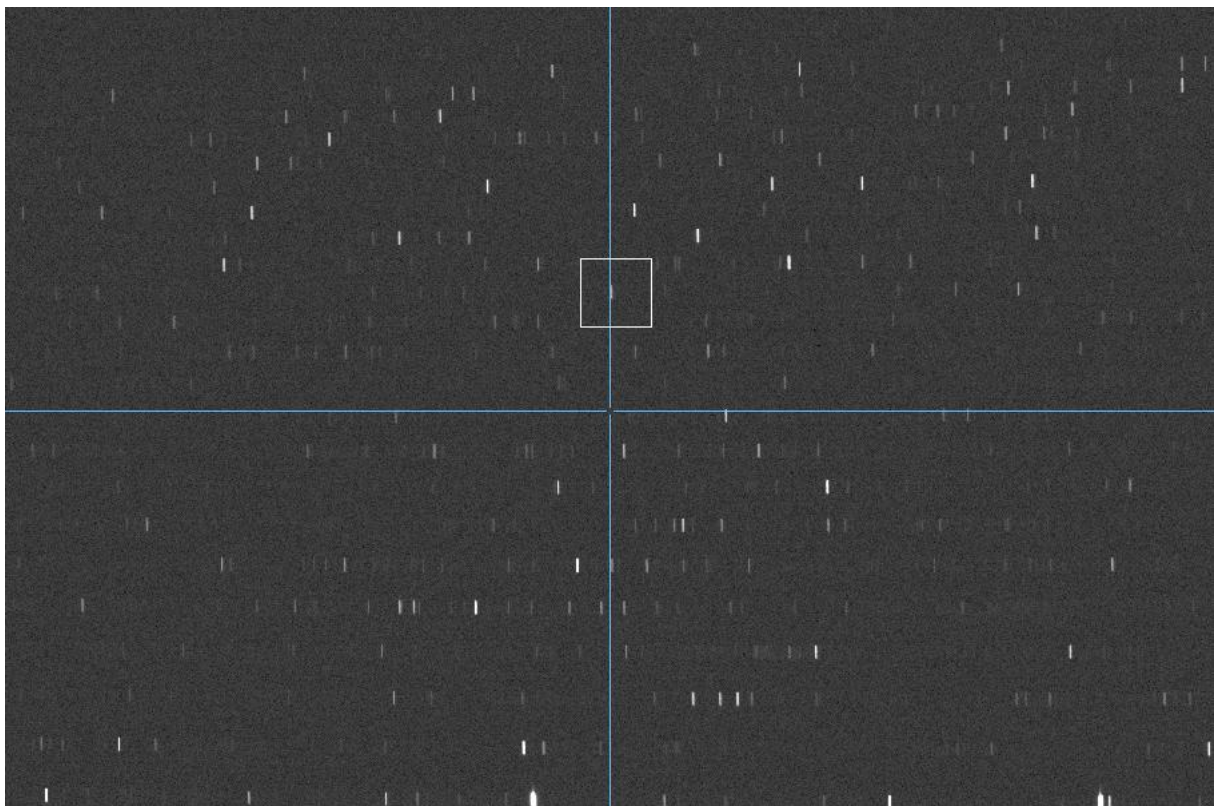


Abb. 31: Auswahl einer ThAr-Linie im grünen Spektralbereich zum Fokussieren

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Zum Fokussieren wird im kontinuierlichen Modus im Sekundentakt das kleine Fenster ausgelesen. Mit MaxIm DL hat man zusätzlich die Möglichkeit, einen Intensitätsscan entlang einer horizontalen

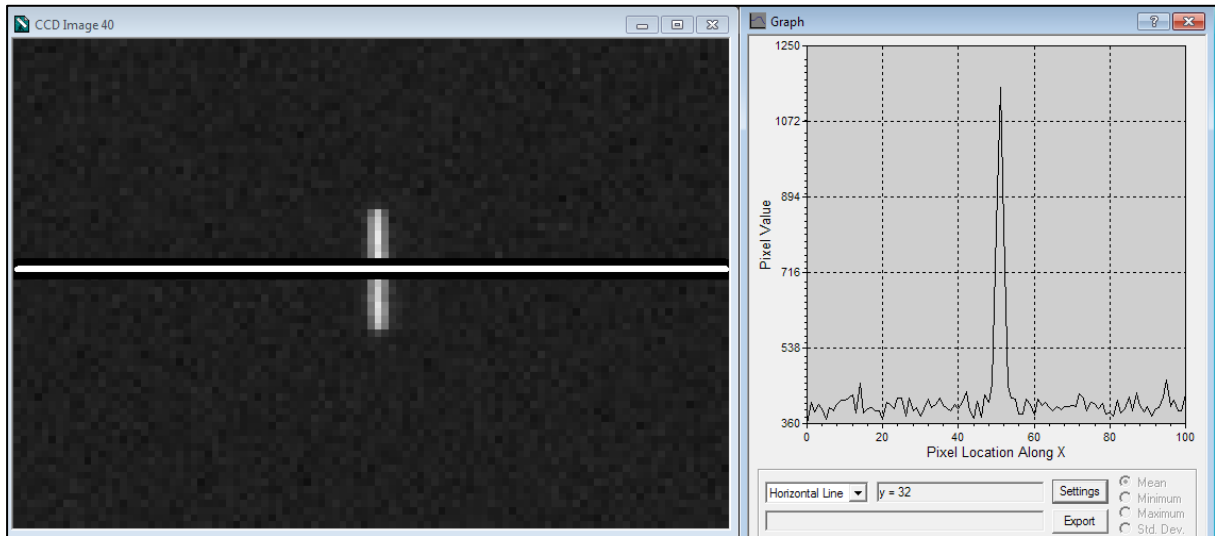


Abb. 32: Maximale Intensität bei ca. drei Pixeln zu je 9 μ m Pixelbreite

Linie vornehmen zu lassen. Man fokussiert so lange, bis die Intensität am höchsten ist. Dies wird bei einer halben Breite von ca. drei 9 μ m Pixeln erreicht (Abb. 32).

Die Fokussierung erfolgt mit Hilfe eines passenden Inbusschlüssels (Abb. 33).

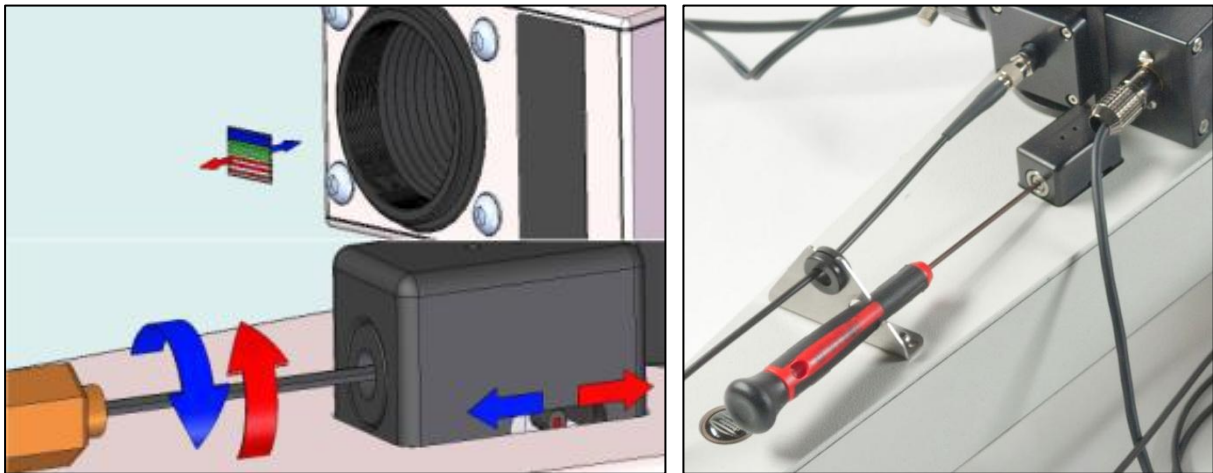


Abb. 33: Fokussierung des Spektrums

2.3.7 Workflow bei der Erfassung von Stern- und Kalibrierspektren

1. Gewünschte Spaltbreite wählen (siehe BACHES Manual).
2. BACHES, RCU und Kameras miteinander verbinden und am Teleskop zwecks Aufnahme von Sternspektren ansetzen.
3. RCU in Betrieb nehmen (Kabel verbinden, bei Remote-Betrieb LAN-Anschluss).
4. Guiding-Kamera mit SlitViewer und Stoppring am Guiding-Port des BACHES ansetzen.
5. Software für Guiding-Kamera starten: Manuelles Guiding: rotes Fadenkreuz hinzufügen. Autoguiding: *SpecTrack* starten. Guiding-Kamera scharf stellen und so ausrichten, dass die DEC-Richtung parallel zum Spalt liegt.
6. CCD-Kamera am BACHES ansetzen, Kamerasoftware starten, Kamerakühlung in Betrieb nehmen.
7. ThAr-Lampe der RCU anschalten, einblenden.
8. Mit wiederholten Kurzbelichtungen CCD-Kamera horizontal ausrichten.
9. Mit wiederholten Kurzbelichtungen gewünschten ThAr-Spektrum-Ausschnitt zum Fokussieren einstellen und BACHES fokussieren.
10. ThAr-Referenzspektrum aufnehmen. Belichtungszeiten ausprobieren. Es sollten nicht zu viele ThAr-Linien gesättigt sein. Guter Startwert mit ST-1603ME: ca. 60s. Jeweils ein Autodark subtrahieren lassen.
11. Prüfen Sie, ob die ThAr-Linien im wichtigsten Spektralbereich scharf sind. ThAr-Lampe ausschalten.
12. Halogenlampe einschalten, Flatfield-Spektrum für die spätere Erkennung der Ordnungen belichten. Mit Hilfe einer vertikalen Intensitätsanalyse (bsp. in MaxIm DL) bis unterhalb der Sättigungsgrenze belichten. ST-1603ME: ca. 150s. Autodark abziehen lassen.
13. Halogenlampe abschalten und ausblenden.
14. ThAr-Spektrum aufnehmen. Belichtungszeiten ausprobieren und Bild analysieren. Blooming heller ThAr-Linien beeinflusst die Kalibrierung nicht. Die Zeiten werden zwischen 80s und 160s bei ST-1603ME liegen.
15. Stern im Videobild auf Spalt setzen und Guiding üben (manuell oder mit *SpecTrack*)
16. Sternspektrum aufnehmen. Belichtungszeit je nach Helligkeit des Sterns. Nach einer Belichtung Intensitätsverteilung und Fokussierung prüfen. Bei Sättigung kürzer belichten. Jeweils „Auto-Darkabzug“ (MaxIm DL) oder MasterDark verwenden.
17. In wiederholter Abfolge nun aufnehmen ...
 - ThAr-Referenzspektrum
 - Sternspektrum
 - ThAr-Referenzspektrum
 - Sternspektrum... bis die gewünschte Anzahl an Sternspektren erreicht ist.
18. Serie von Flatfields zur späteren Erzeugung eines gemittelten Masterflats aufnehmen.
19. Alle Spektren im FITS-Format speichern und später für die MIDAS-Kalibrierung in den Ordner „Shared“ kopieren.

Hinweis #1: Je nach Kameramodell und Alter kann der Sensor einen sogenannten „Memory-Effekt“ aufweisen. Dabei handelt es sich um Ladungen, die nach dem Auslesen eines Bildes noch im Halbleitersubstrat gefangen sind und nur langsam abgebaut werden. Dieses „Nachleuchten“ überlagert sich dem nächsten Bild, sei es ein Sternspektrum oder ein Darkframe. Je kälter der Sensor, desto länger der Memory-Effekt. Versichern Sie sich, dass insbesondere vor Aufnahme des

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Sternspektrums kein Restbild in der Kamera vorhanden ist. Dieses würde das Sternspektrum ggf. überlagern und zu einem falschen Signal bei schwachen Spektrallinien führen.

Hinweis #2: Eine Kamera mit mechanischem Verschluss (Shutter) ist bei der Spektroskopie von Vorteil. Nicht nur die Aufnahme von Darkframes wird erleichtert, auch der Einfluss der Referenzlampen wird unterbunden. Sowohl die ThAr-Lampe als auch die Flatfieldlampe leuchten etwas nach, so dass sich deren Emission dem folgenden Sternspektrum überlagert. Das hat aber nichts mit dem zuvor beschriebenen Memory-Effekt zu tun.

Das folgende Bild ist ein Screenshot der Steuerung von GM2000HPS-Montierung, BACHES, RCU, Guiderkamera und Aufnahmekamera. Bis auf Wahl der Spaltbreite und Fokussierung des BACHES, die beide am BACHES manuell vorgenommen werden müssen, ist die gesamte Einheit remotefähig.

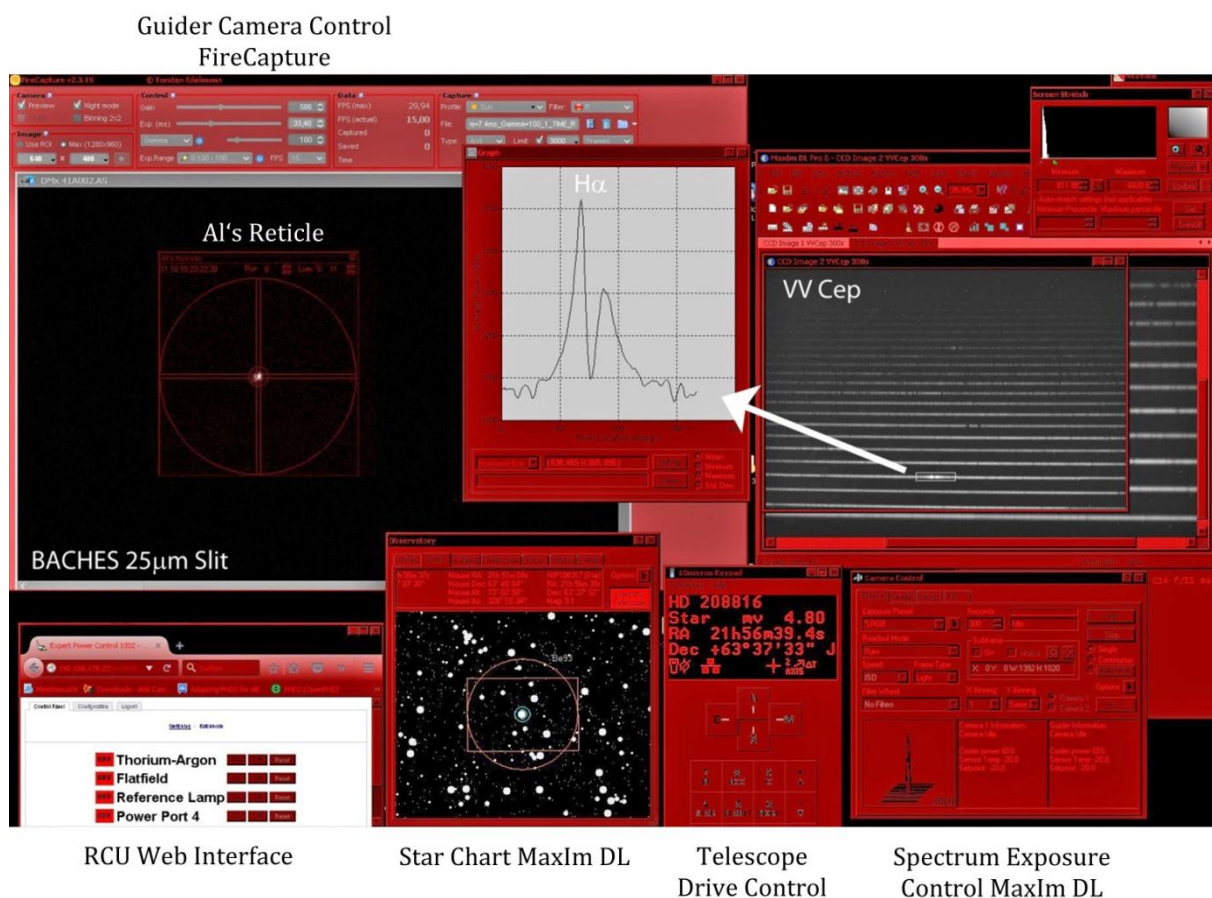


Abb. 34: Monitor-Layout für Spektrengewinnung und manuelles Guiding

Das Guiding erfolgt in dieser Anordnung visuell/manuell, indem man den Stern mit Hilfe der Teleskopsteuertasten genau auf dem Spalt hält.

Hinweis: Guiding-Software, die in der normalen Deep-Sky-Astrofotografie Verwendung findet, versagt beim Guiden auf einen Stern, der in dem Spalt verschwinden soll. Befindet sich zufällig ein weiterer Stern neben dem Spalt, mag das Guiding funktionieren. Doch dies ist bei langen Brennweiten eher einer der seltenen Fälle.

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

2.3.8 SpecTrack Guiding Software für die Nachführung auf den Spalt

Mit Hilfe der eigens für diesen Zweck entwickelten Guiding-Software *SpecTrack* wird die selbstständige Nachführung auf einen Stern im Spalt sehr einfach bewerkstelligt.

Hinweis: *SpecTrack* setzt den Anschluss einer Videokamera der Marken The Imaging Source (TIS) oder Celestron Skyris voraus. Falls die Videokamera es zulässt, kann diese im 12-Bit-Modus (4096 ADU) betrieben. Monochrome Videomodule sind wegen des geringeren Rauschens und nicht vorhandener Bayermatrix den Farbmodulen vorzuziehen. Große Sensoren erleichtern zudem das Auffinden und Positionieren des Sterns im Nachführenfenster.

GUIDE

SpecTrack steuert die Guiderkamera, die per USB oder LAN mit dem Steuerrechner verbunden sein kann. Die Steuerung der Aufnahmekamera für die Spektren wird von *SpecTrack* nicht unterstützt. Hier kommt die normale Aufnahmesoftware zum Einsatz.

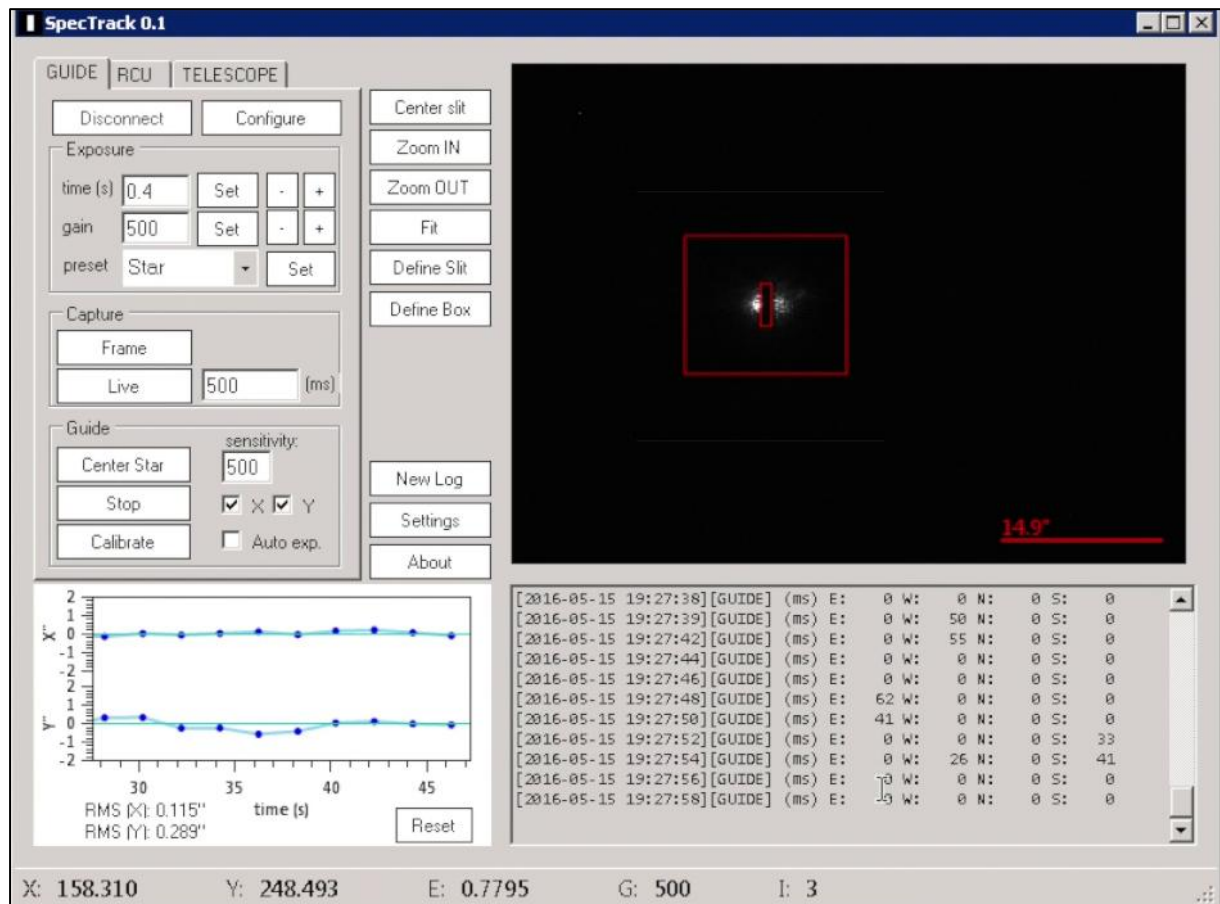
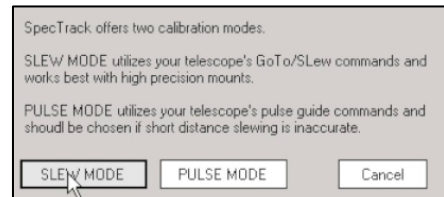


Abb. 35: Das schmale rote Rechteck definiert den Spalt. Pointing und Autoguiding findet innerhalb des selbst festgelegten größeren roten Rechtecks statt.

SLEW MODE: Anfahren einer absoluten Position RA/DEC (nur bei präzisen Montierungsantrieben empfohlen)

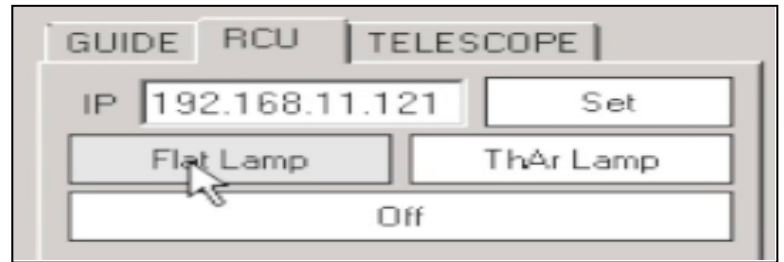
PULSE GUIDE: Relative Bewegung der Montierung um eine definierte Anzahl von Pixeln



BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

RCU

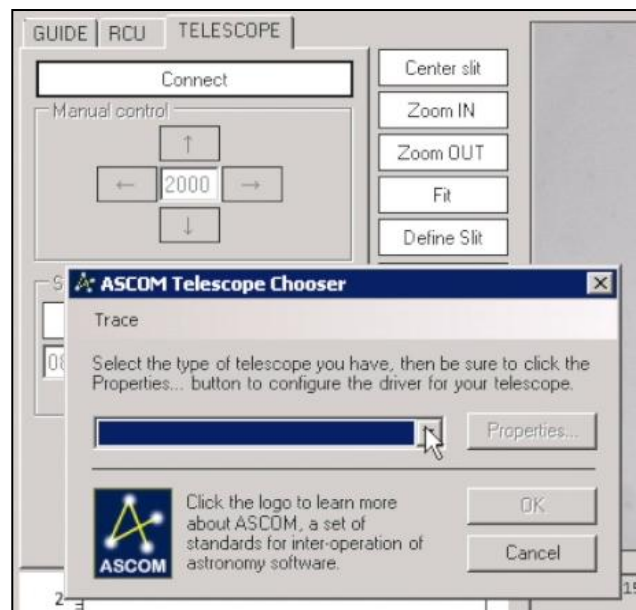
Die Remote Calibration Unit wird mit einer eigenen IP-Adresse eingebunden. Das Einkoppeln der „Flat Lamp“ bzw. alternativ der „ThAr Lamp“ erfolgt per Mausklick.



TELESCOPE

Sofern die Teleskopmontierung mittels eines spezifizierten ASCOM-Treibers angesteuert wird (SLEW MODE), kann dieser hier fest eingebunden werden. Somit kann *SpecTrack* sowohl absolut positionieren (zentrieren) als auch guiden und kennt den Abbildungsmaßstab.

Hinweis: Mit *SpecTrack* können gegenwärtig keine automatisierten Beobachtungsprogramme gefahren werden. Das Wechseln des Eingangssignals vom Stern zu einer der Kalibrierlampen in der RCU, die Aufnahme der Kalibrierspektren etc. muss manuell durchgeführt werden.



Das nachfolgende Bild zeigt einen Screenshot des Monitors, der in der Sternwarte alle Komponenten ansteuert.

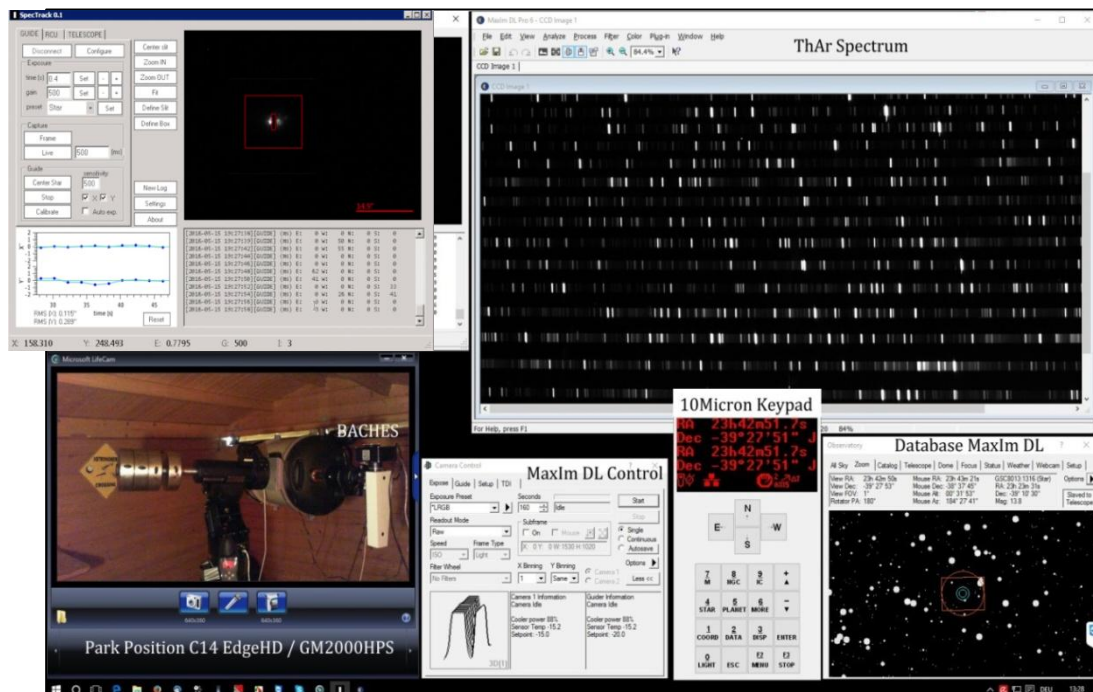


Abb. 36: Monitor-Layout für Spektrengewinnung und Autoguiding mit *SpecTrack*

3 Astronomische Einsatzbereiche des BACHES Echelle Spektrografen

3.1 Atmosphärische Molekülbanden von 6800Å bis 9000Å

Möchte man beispielsweise Untersuchungen an den Sauerstoff-(O₂) oder Wasserdampfbanden (H₂O) vornehmen, setzt man am besten einen Filter vor den BACHES, der den Blaubereich abschneidet. Als Filter wird der Baader Yellow Longpass Filter 495nm verwendet¹⁴.

Mit diesem Gelbfilter kann der Bereich oberhalb von ca. 500nm, insbesondere der Infrarotbereich bis ca. 900nm uneingeschränkt untersucht werden.

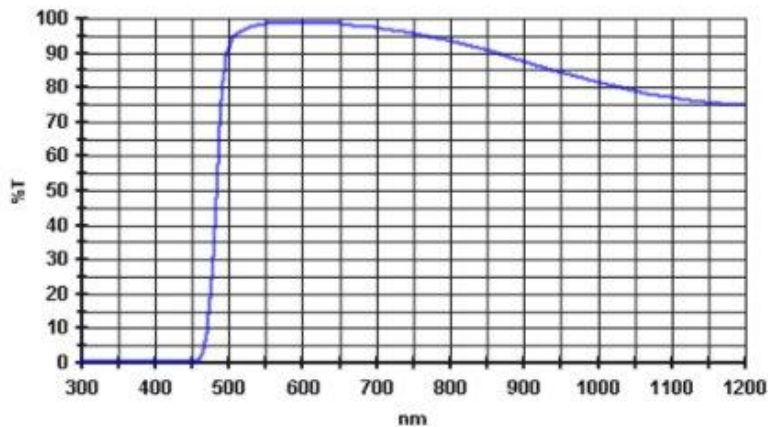


Abb. 37: Transmissionskurve des Yellow Longpass Filter 495nm

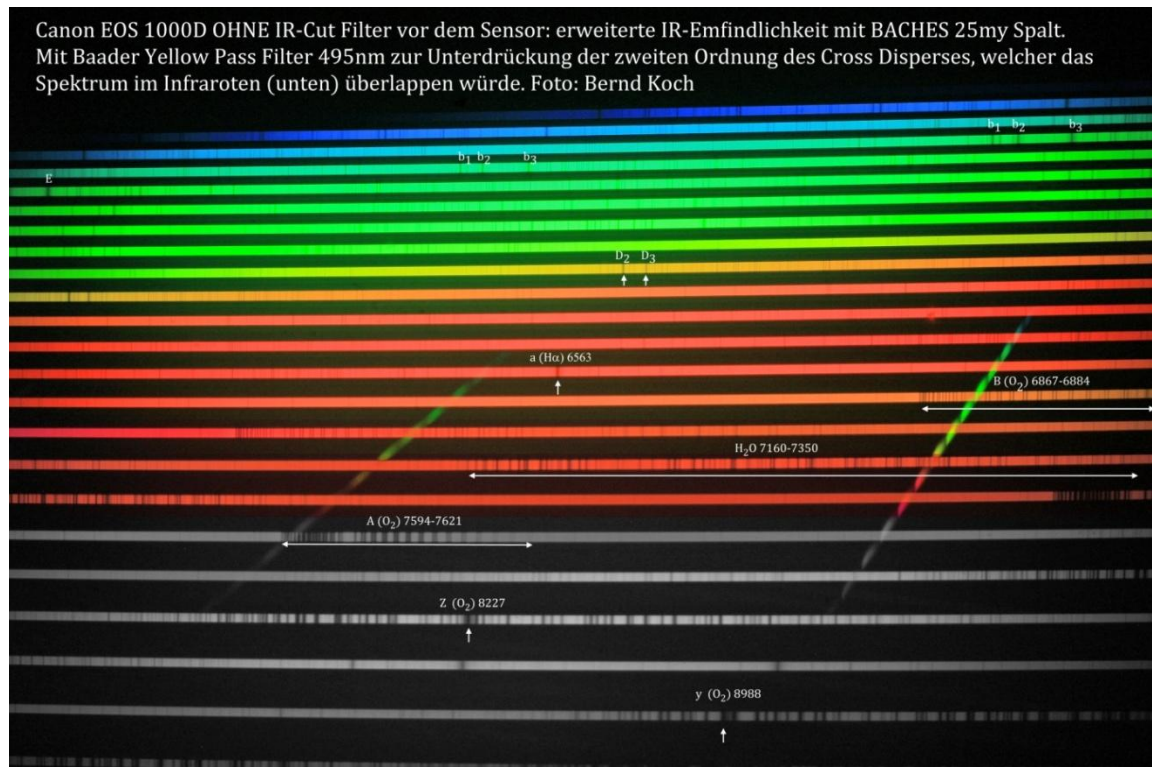
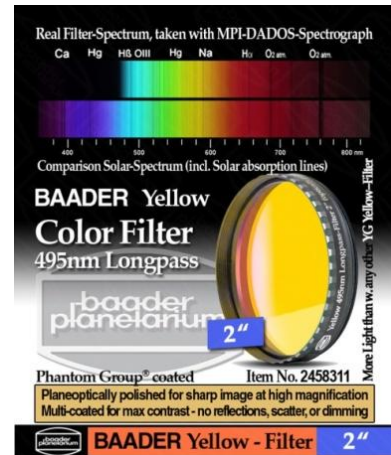


Abb. 38: Tageslichtspektrum einer Canon EOS1000D (ohne Sensor-Vorfilter) mit Yellow Longpass Filter 495nm

¹⁴ <http://www.baader-planetarium.de/sektion/s40/s40.htm>

3.2 Die photosphärische Sonnengranulation

Der Baader SolarContinuum-Filter mit der Zentralwellenlänge von ca. 540nm verbessert die Erkennbarkeit der Sonnengranulation und wird in Kombination mit dem Objektivfilter AstroSolar D=3.8 (Fotofolie) verwendet.

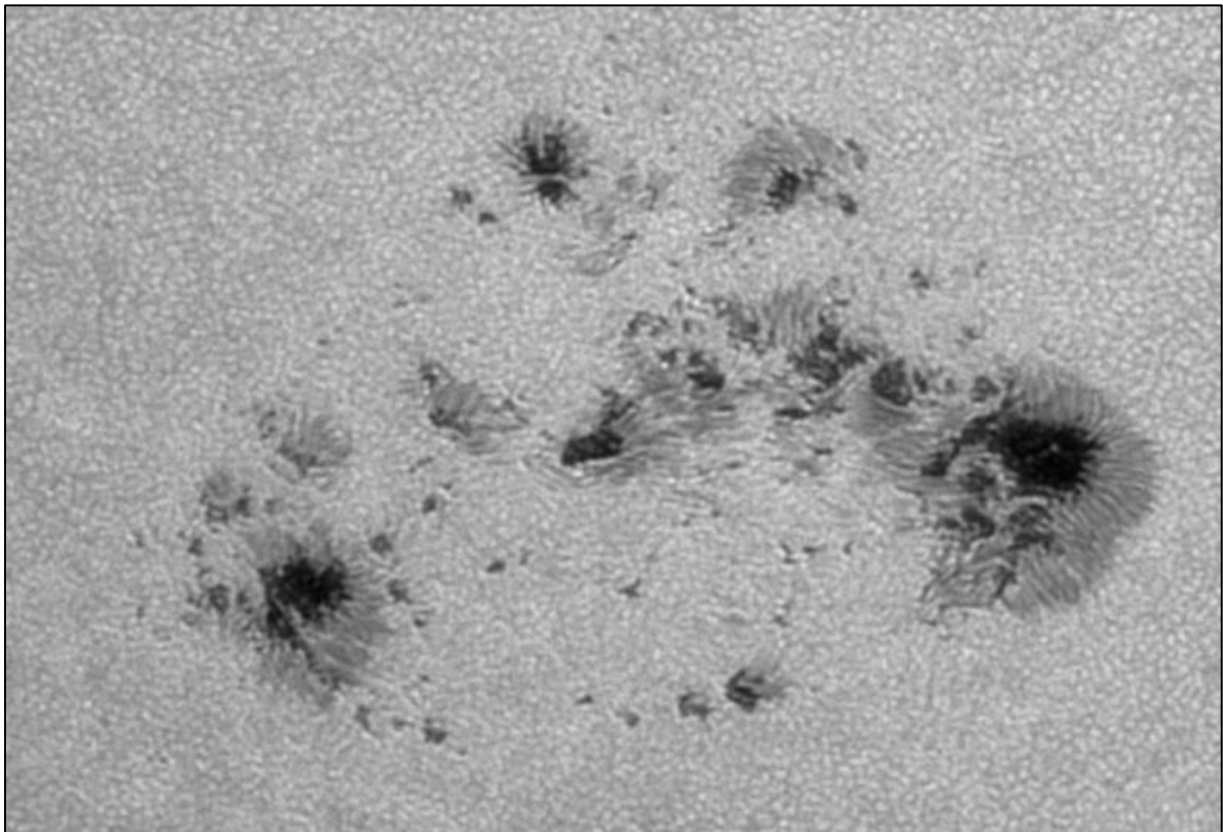
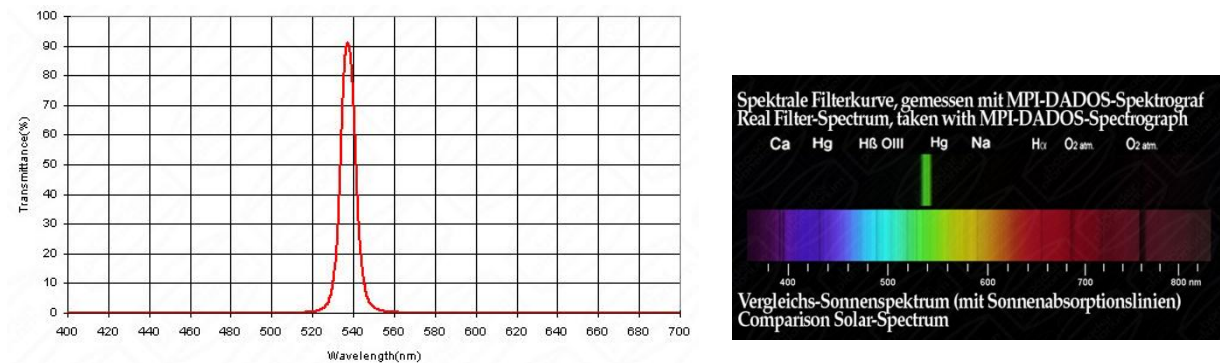


Abb. 39: 2015-08-21, 10:37:14 UT | Astro-Physics EDF-S 130mm f/6 + Baader Fluorit Flatfield Converter | 10Micron GM2000HPS | AstroSolar Filter D=3.8 | SolarContinuum Filter 540nm | The Imaging Source DMK 23UX174 | Codec: Y16 | Full Frame 1920 by 1200 px | Frame Rate 27 fps | Exposure 2.8ms | Gain 23.5 dB (50%) | 2000 Frames within 93s | Video Capture Software iCap 2.3 | Bernd Koch, Baader Planetarium GmbH

Die Aufnahme des Tageslichtspektrums mit dem BACHES durch den SolarContinuum-Filter bildet im Wesentlichen die spektralen Ordnungen #42 (ca. 5229Å-5400Å) und #41 (ca. 5357Å-5532Å) mit zahlreichen Eisenlinien ab.

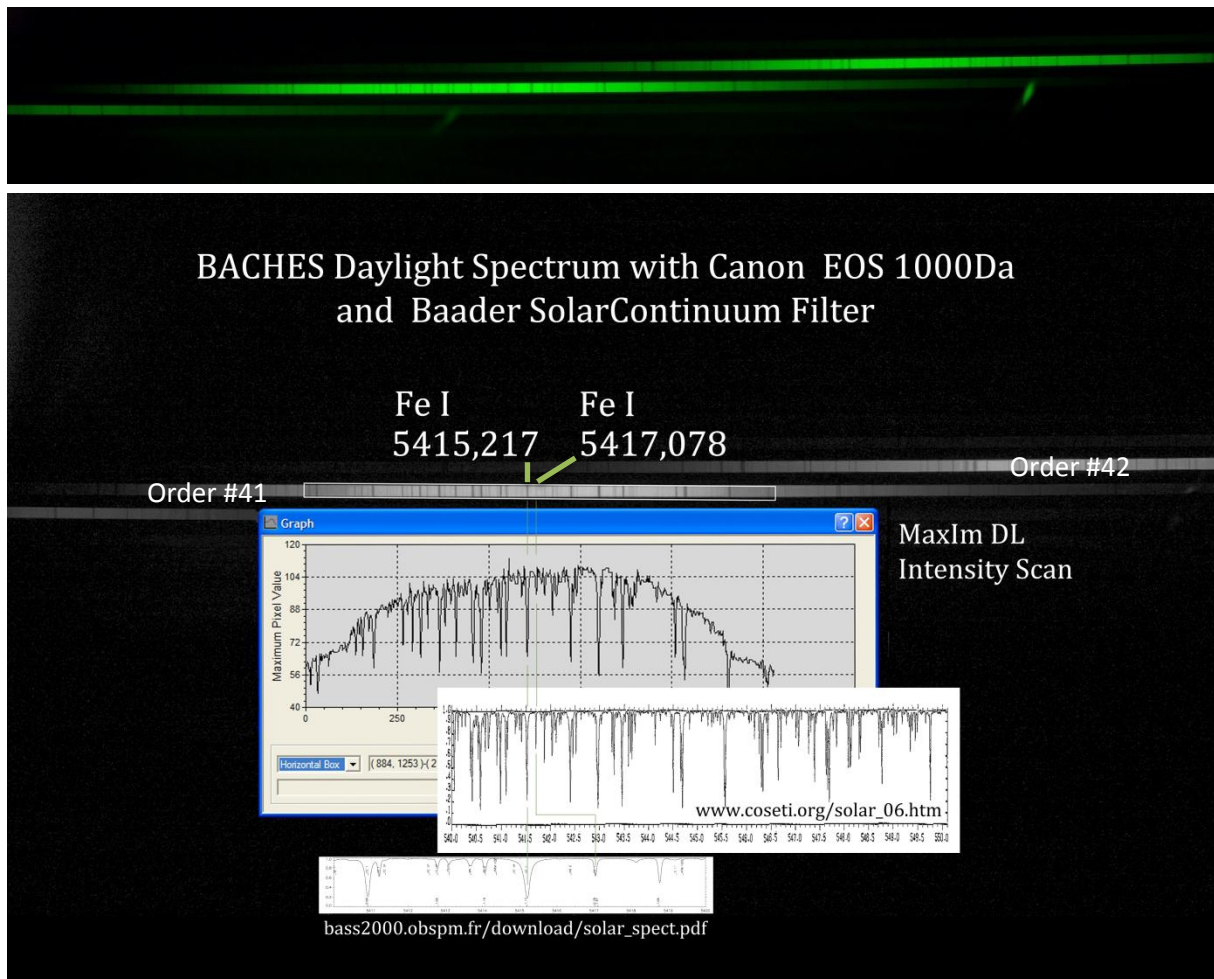
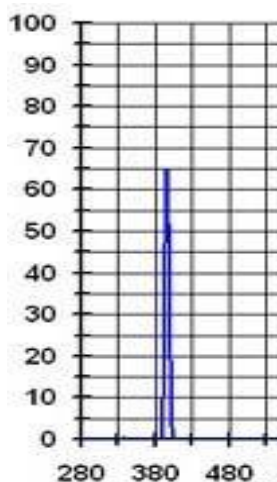


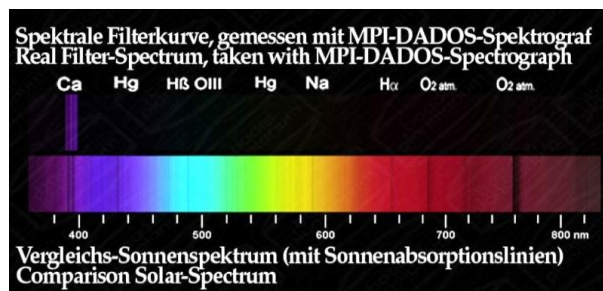
Abb. 40: Eisenlinien im Durchlassbereich des SolarContinuum Filters

3.3 Die Chromosphäre der Sonne im Kalziumlicht

Joseph Fraunhofer hat 1814 erstmals die solaren Spektrallinien beobachtet und die auffälligsten mit Buchstaben durchnummeriert. Die Nummerierung beginnt im roten- und endet im violetten Teil des Spektrums. Die Bezeichnungen sind teilweise noch heute geläufig.



An der kurzwelligen Grenze der spektralen Empfindlichkeit des BACHES Echelle liegen die beiden Linien des ionisierten Kalziums, Ca II K und H, die in der Sonnenchromosphäre entstehen¹⁵. Die K-Linie ist sehr breit und kann



deshalb – mit sehr teuren Spezialfiltern – noch in die Komponenten K1, K2 und K3 aufgetrennt werden. Möchte man die Sonne im Licht des ionisierten Kalziums

¹⁵ <http://www.stephenramsdend.com/solarastrophotography/SolarAtmosphere.pdf>

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

aufnehmen, kann man auch den Baader K-Line-Filter mit einem Durchlassbereich von ca. 8 Nanometer (80 Angström) verwenden. Das menschliche Auge ist in diesem Spektralbereich bereits so gut wie blind, und zudem kann die UV-Strahlung unterhalb von 390 Nanometer zu schweren Augenschädigungen führen. Deshalb ist das Baader K-Line Filter NICHT für visuelle Beobachtungen zertifiziert.

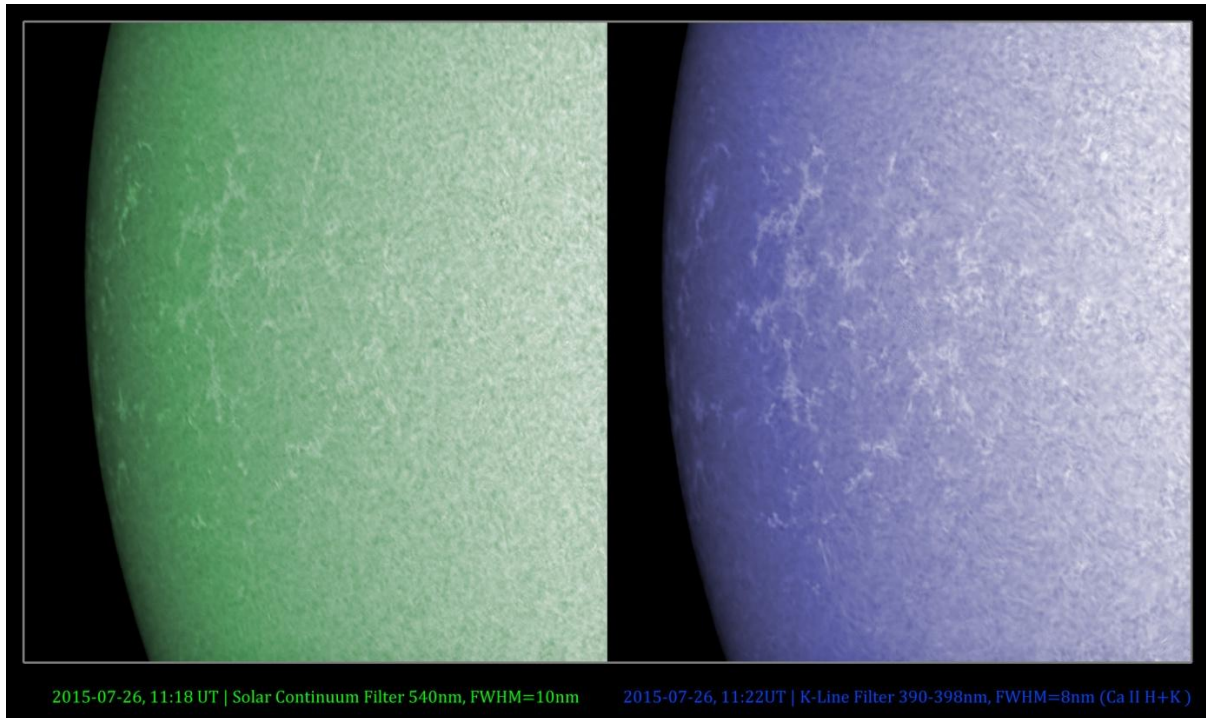


Abb. 41: Vergleich der chromosphärischen Fackeln mit Baader SolarContinuum-Filter (links) und Baader K-Line Filter. Astro-Physics EDF-S 130mm f/6 + Fluorid Flatfield Converter | 10Micron GM2000HPS | Celestron Skyris 274M | Videos taken with Telescope front Filter AstroSolar (D=3.8) and Baader SolarContinuum Filter

Man erkennt die Fackeln mit dem K-Line-Filter deutlich kontrastreicher als mit dem SolarContinuum-Filter.

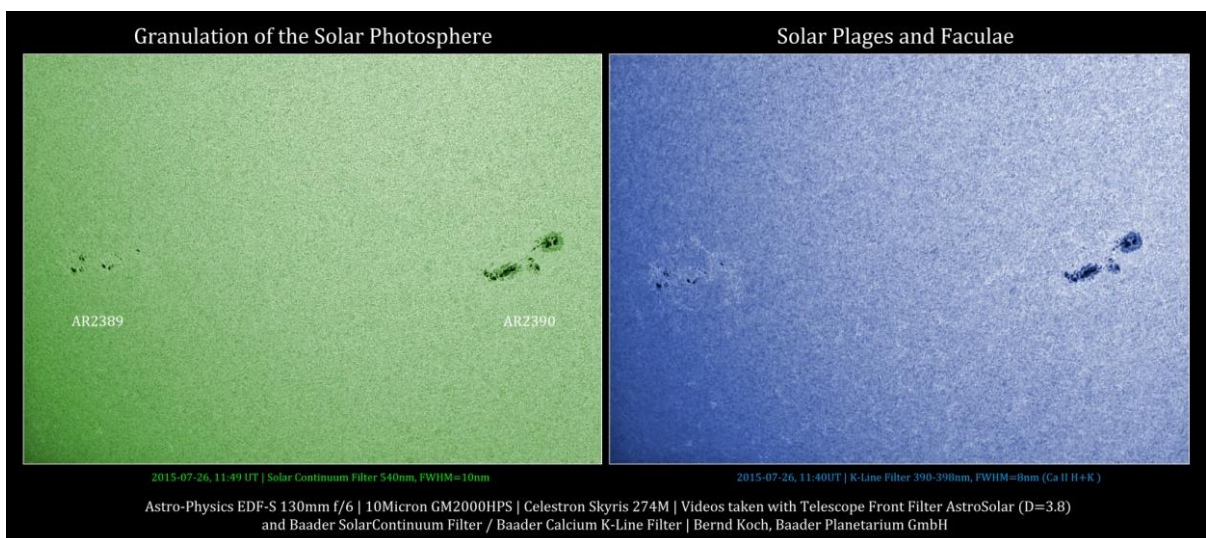


Abb. 42: Aufnahmedaten siehe Abb. 41

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Zur spektroskopischen Untersuchung der chromosphärischen Fackeln wird der K-Line-Filter nicht unbedingt benötigt. Vorteilhaft ist jedoch, dass mit diesem Filter die Überlappung im IR-Bereich

(Abb. 43) vermieden wird und die im UV liegenden Ordnungen des BACHES alternativ in der zweiten Ordnung des Cross-Dispersers beobachtet werden können.

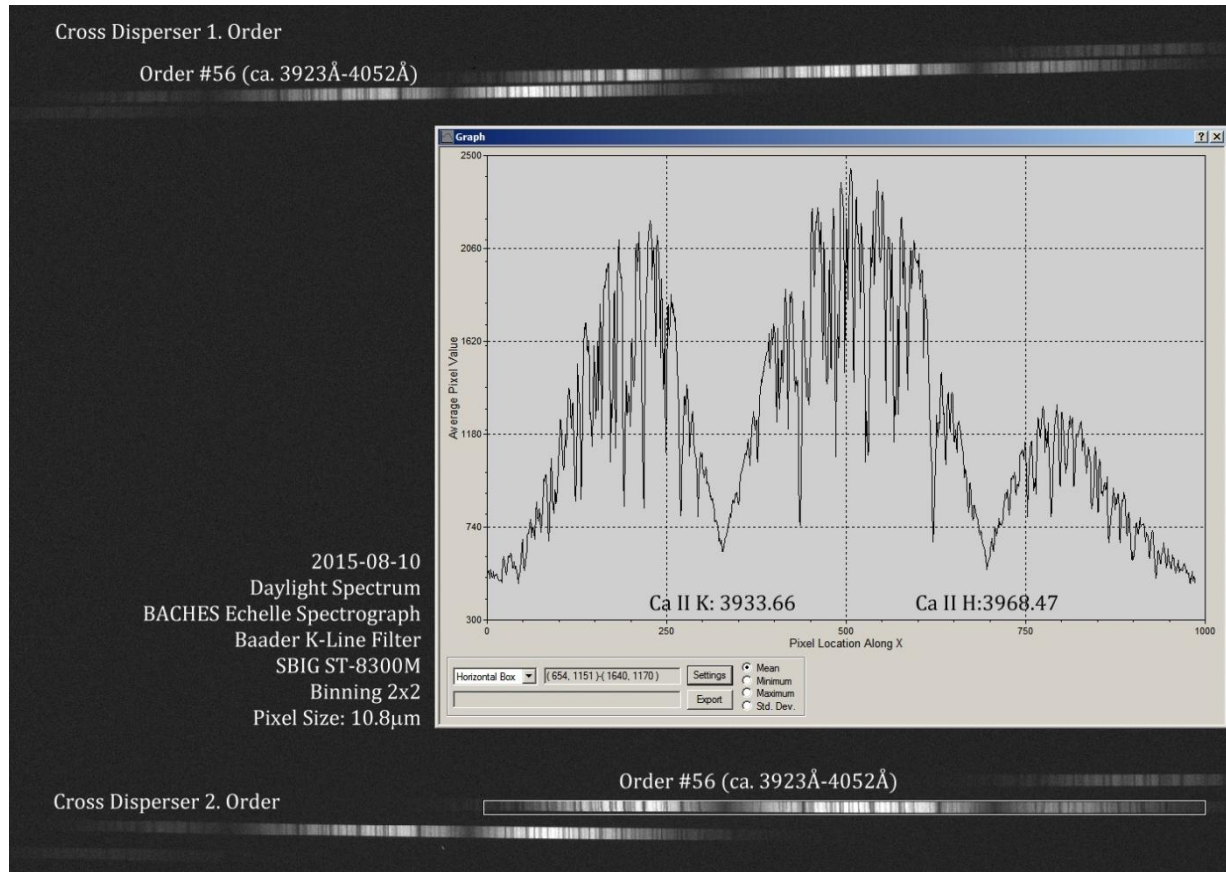


Abb. 43: Sonnenspektrum mit vorgesetztem Ca II K-Line-Filter

Hinweis: Im Tageslichtspektrum sind allerdings keinerlei Kalzium-Emissionen zu erkennen, dazu muss der BACHES direkt auf die Fackelgebiete der Sonne oder auf die Chromosphäre am Sonnenrand gerichtet werden^{16 17}. **Allerdings mit AstroSolar-Sonnenfilterfolie vor der Eintrittsöffnung.**

Der 25µm Spalt wurde genau in den Bereich der Chromosphäre oberhalb des sichtbaren Sonnenrandes (Photosphäre) gelegt. Das Sonnenspektrum wurde mit einem Astro-Physics EDF-S f/6 Refraktor gewonnen, der mit einer AstroSolar Sonnenfilterfolie (D=3.8) vor dem Objektiv versehen war. Aufnahmekamera war die ST-1603ME, die eine hohe Quanteneffizienz aufweist.

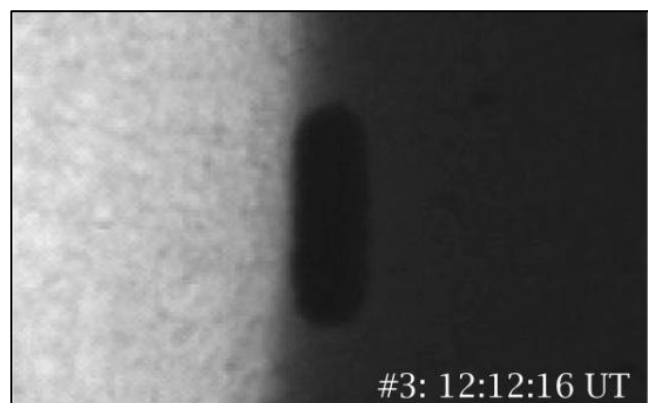


Abb. 44: 25µm-Spalt vor der Chromosphäre

¹⁶ Emissionen in den Linien H und K, Siegfried Hold. VdS Journal für Astronomie Nr. 53, II/2015

¹⁷ <http://solarnutcase.livejournal.com/9556.html?nojs=1>

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Die folgende Aufnahme zeigt das BACHES Echelle-Spektrum der solaren Chromosphäre. Die Aufnahme entstand am 15.2.2015. Die Helligkeit wurde zur Darstellung logarithmisch skaliert, um die UV-Anteile besser erkennen zu können. Die Auswertung erfolgte an der ungestreckten Originalaufnahme.

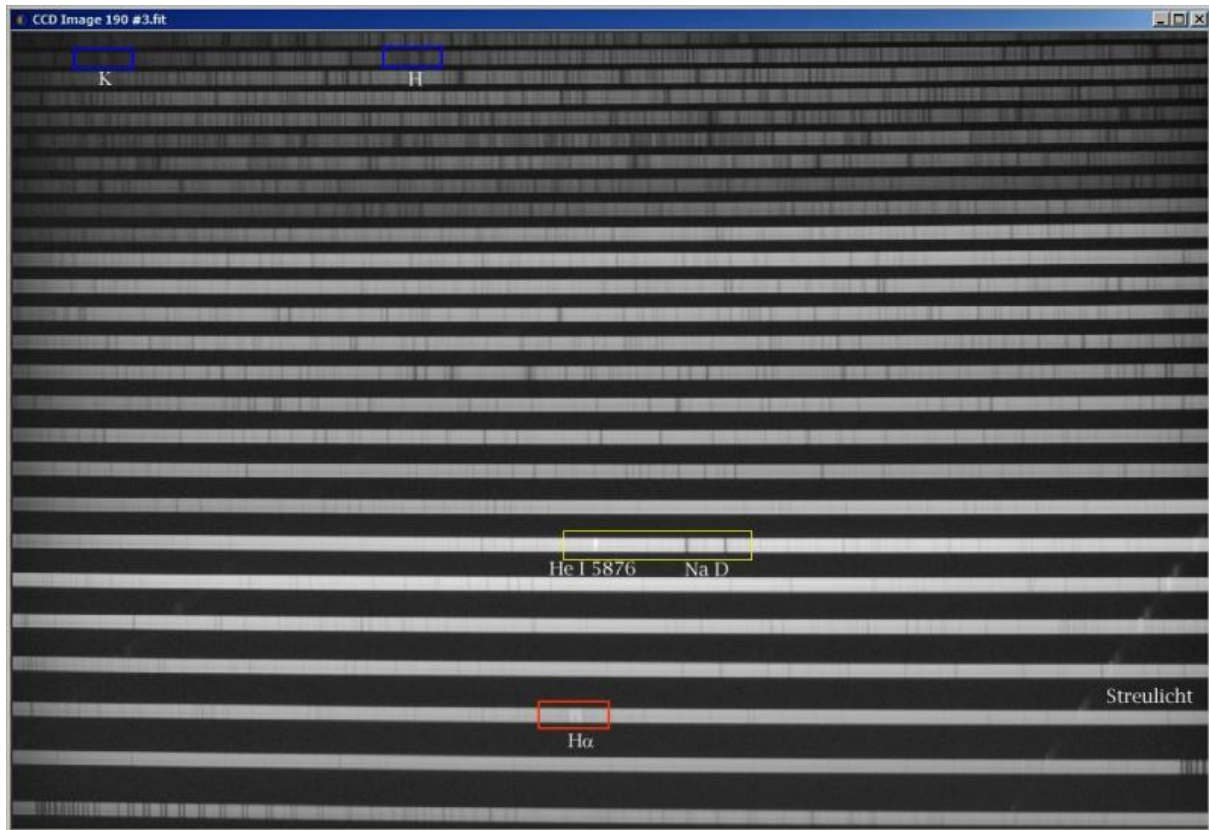


Abb. 45: BACHES Echelle-Spektrum der Sonnenchromosphäre.

Abb. 45 demonstriert die große Stärke eines Echelle-Spektrografen: Die zeitgleiche Darstellung spektraler Features, die es ermöglicht, vergleichende Aussagen über das zu spektroskopierende Objekt zu treffen. Beim BACHES Echelle kommt hinzu, dass die chromatischen Restfehler der abbildenden Optik relativ gering sind. Wird das Spektrum im Grünen fokussiert, beispielsweise mit Hilfe der ThAr-Referenzlampe, so erhält man eine gleichmäßig gute Schärfe der Spektrallinien über den gesamten visuellen Spektralbereich!

Wir wollen im Folgenden das obige Sonnenspektrum in drei Bereichen darstellen. Zunächst die nähere Betrachtung der Kalziumlinien K und H.

Das Spektrum ist eines von drei weiteren, bei denen die Position des 25µm Spalts sukzessive aus dem Bereich der sichtbaren Sonnenscheibe in die über der Photosphäre liegende Chromosphäre verschoben wurde. Zur besseren Sichtbarkeit in diesem Tutorial wurden Helligkeit und Kontrast der Spektren angepasst, die Scans erfolgten jedoch an den unveränderten Originaldateien.

Gegenüber der Abbildung der K und H-Linien im Tageslichtspektrum (Abb. 20) erscheinen nun im direkten Sonnenlicht Emissionen in den Flügeln der K- und H-Linie (Abb. 46):

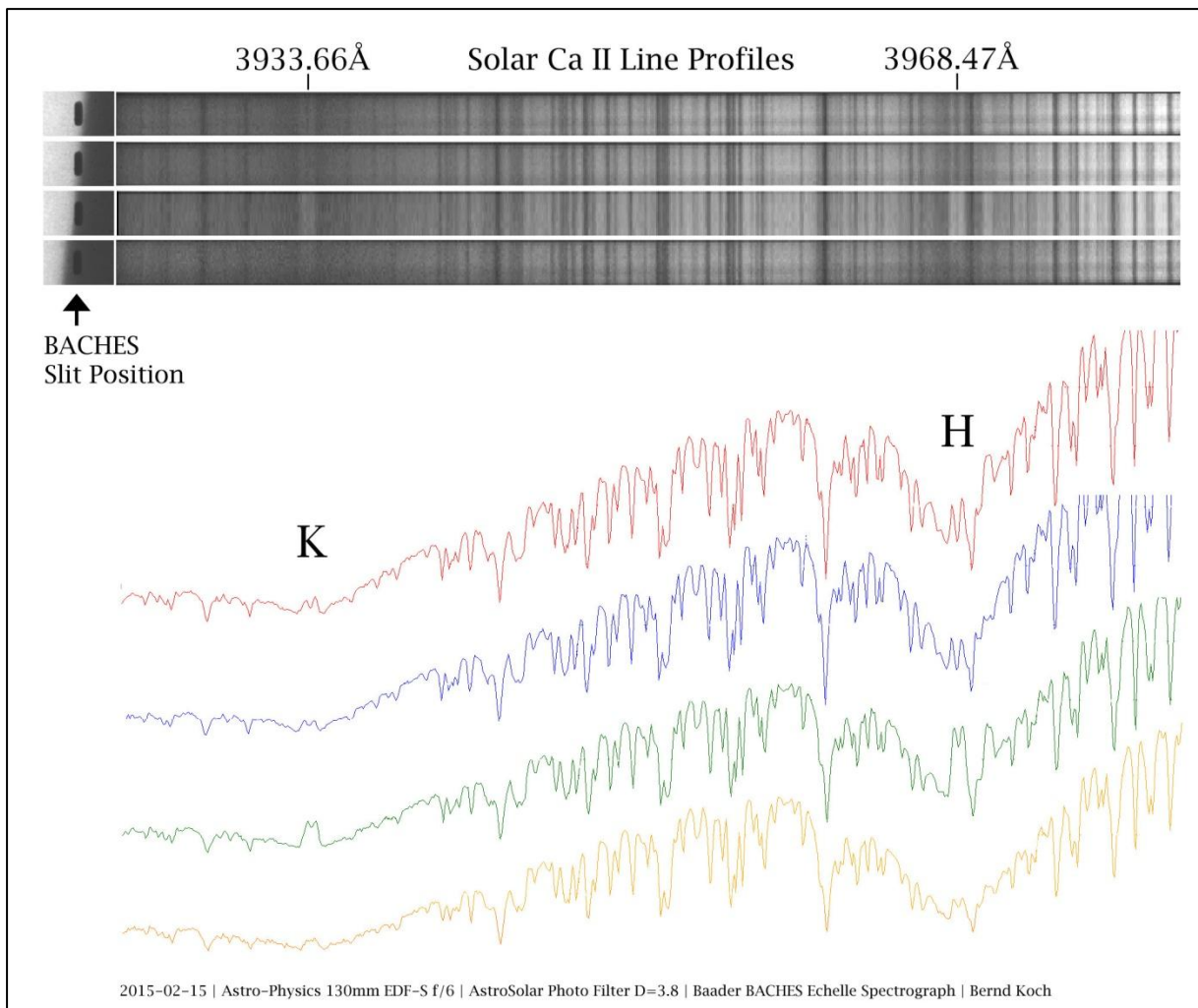


Abb. 46: Linienprofile der Kalzium K und H Emissionen

Vernazza et. al.¹⁸ haben in einer bemerkenswerten Publikation zur Sonnenchromosphäre unter anderem ein Diagramm erstellt, welches Auskunft gibt, in welcher Höhe über der Photosphäre welche spektralen Anteile gebildet werden (Abb. 47).

Man erkennt, dass eine beobachtete Spektrallinie aus Kern und Flügel aus Beiträgen in unterschiedlichen Höhen zusammengesetzt sein kann. Beispiel: H α (core), Höhe 1300km bis 1700km und H α (wing), Höhe 100km bis 300km über der Photosphäre.

¹⁸ Vernazza, J.E. et al., Structure of the solar chromosphere. III - Models of the EUV brightness components of the quiet sun The Astrophysical Journal Supplement Series, 45:635-725, 1981 April, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1981ApJS...45..635V>

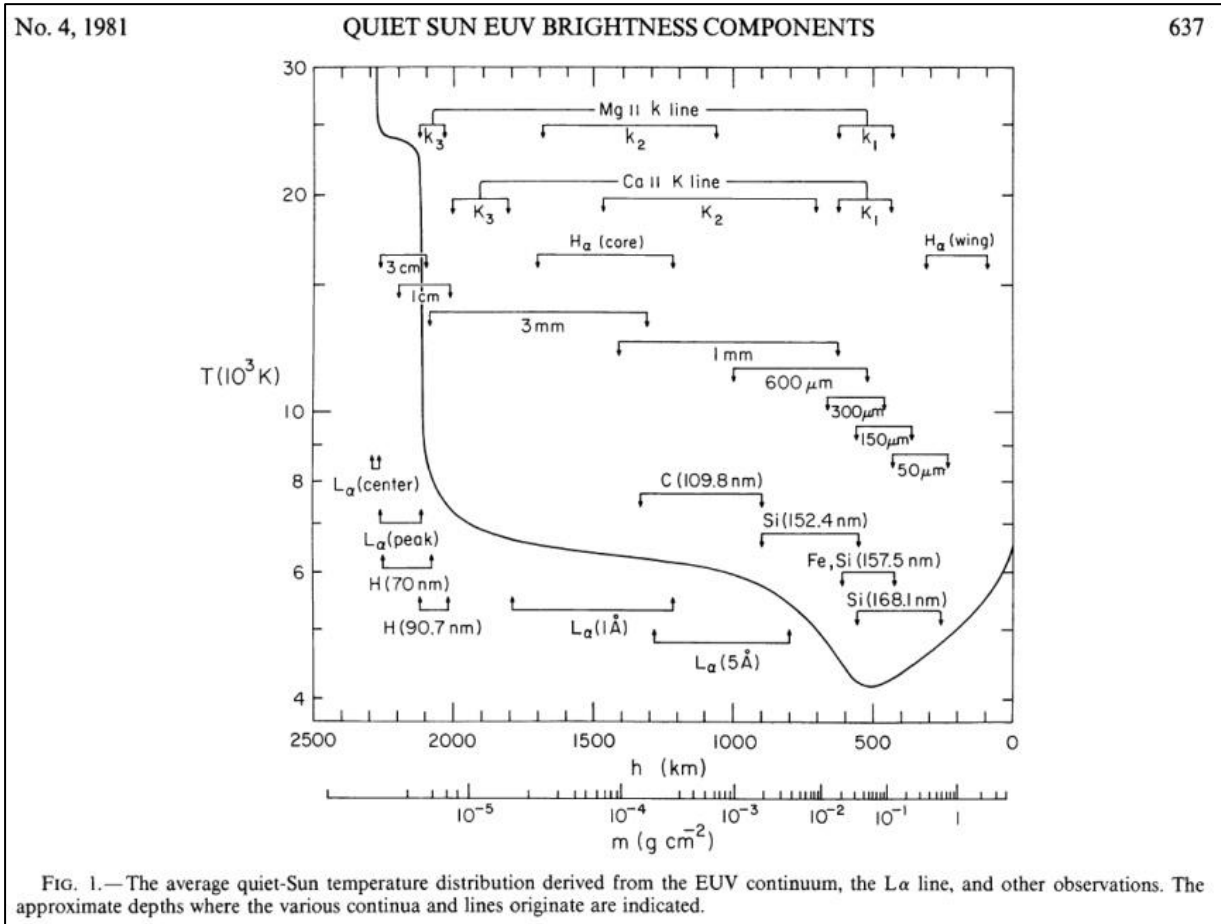


Abb. 47: Höhen- und Temperaturverteilung der Spektrallinien im Spektrum der Chromosphäre der Sonne (Vernazza et.al.)

3.4 H α -Beobachtung der Sonne mit AstroSolar Objektivfilter

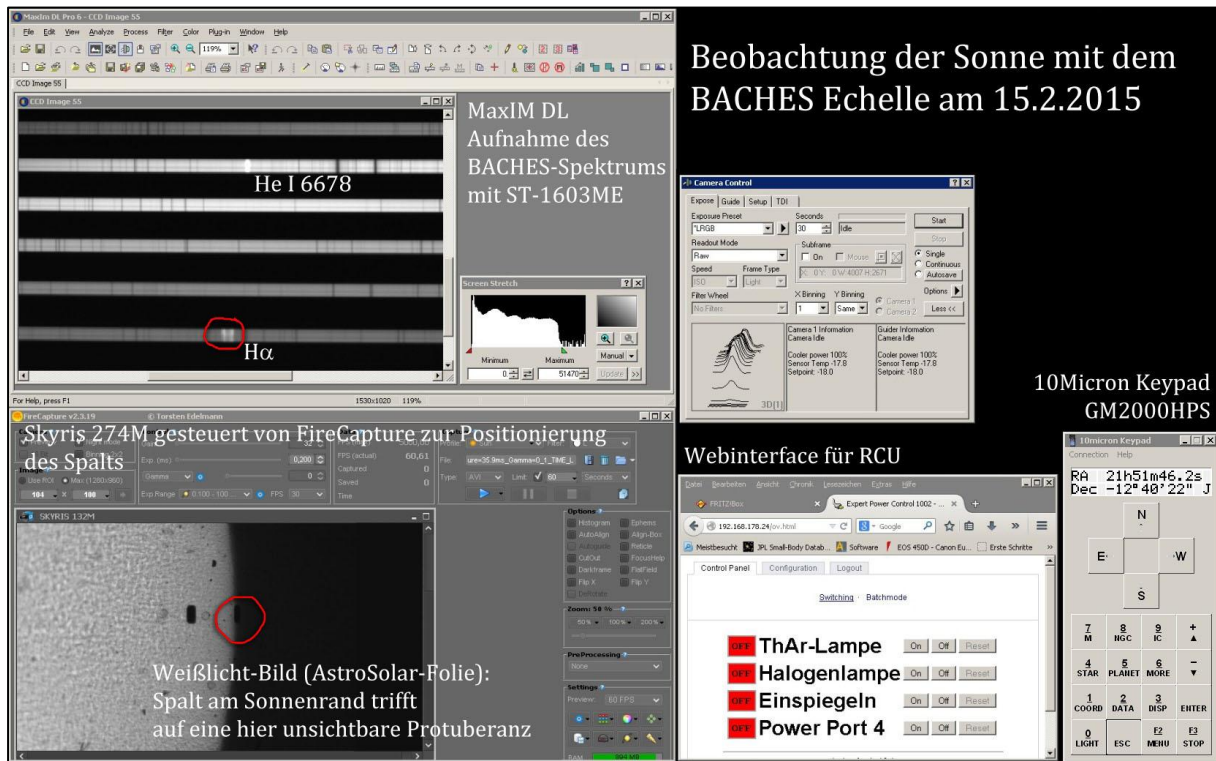


Abb. 48: Der Spalt lag nachweislich vor einer Protuberanz. Es resultiert eine dopplerverbreiterte H α -Linie

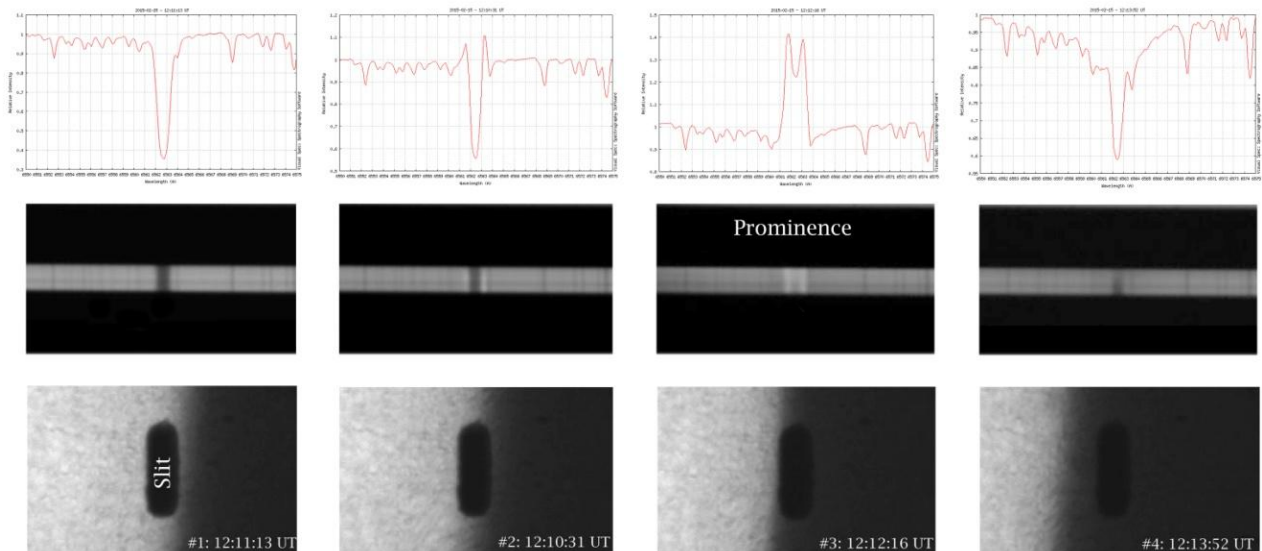
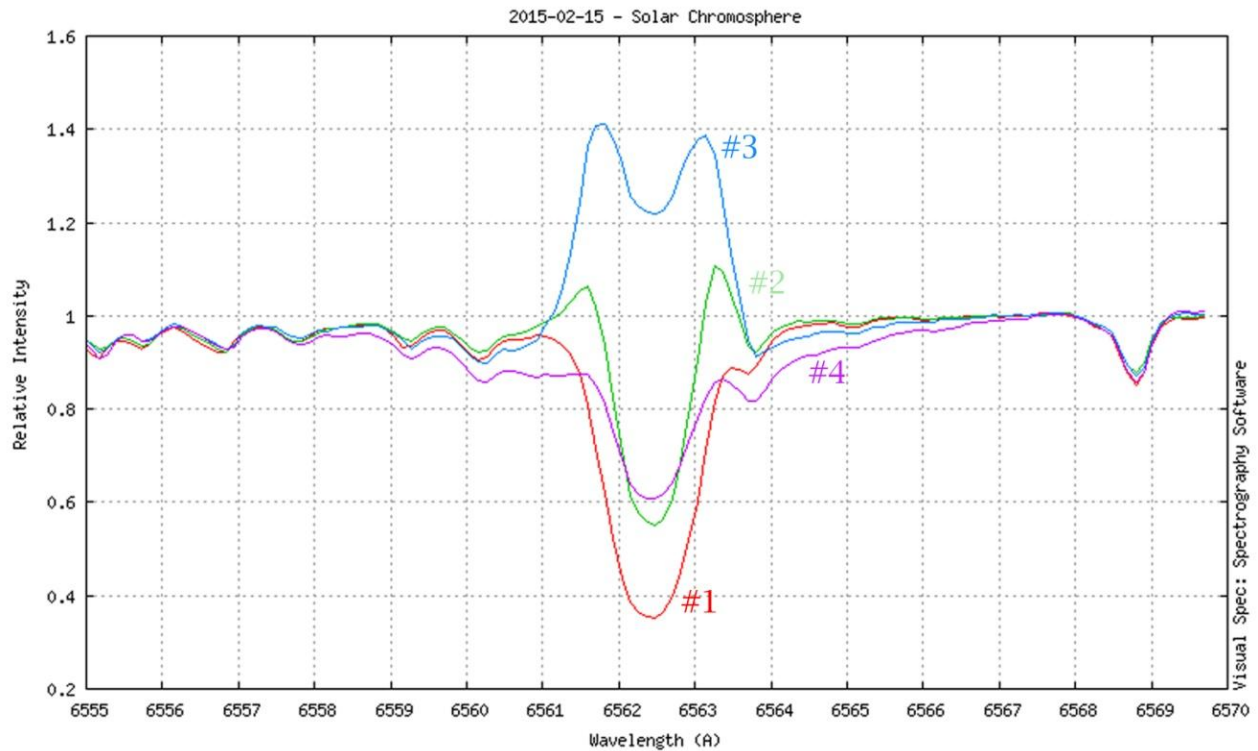
Bild #1: Befindet sich der Spalt auf der Photosphäre, erscheint H α wie erwartet dunkel in Absorption.

Bild #2: Schiebt man den Spektrografenspalt Richtung Sonnenrand, so erkennt man beidseitig in den Flügeln der dunklen H α -Linie bereits eine verbreiterte Emission. Sozusagen „helle Ränder“ beidseitig der schmalen Absorptionslinie.

Bild #3: Nun befindet sich der Spalt über der heißeren Chromosphäre ohne die absorbierende Photosphäre. Die aufgrund von Gasbewegungen thermisch verbreiterte H α -Linie ist deutlich in Emission zu sehen. Reabsorption wie in der Photosphäre fehlt. Der Spalt liegt zudem genau auf einer Protuberanz.

Bild #4: Weit außerhalb des Sonnenrandes ist H α wieder in Absorption zu sehen, dies entspricht wieder dem normalen Tageslichtspektrum von gestreutem Sonnenlicht in der Erdatmosphäre.

Solar Photosphere and Chromosphere H α Line Profiles



2015-02-15 | 12:10:31 UT - 12:13:52 UT

Spectra obtained with Baader BACHES Echelle Spectrograph | Slit Width x Height: 25 μ m x 125 μ m | Slit View: Celestron Skyris 274M Astro-Physics EDF-S 130mm f/6 | Astro-Physics 1.5x Barlow Lens | Focal length approx. 1170mm | 10Micron GM2000HPS Baader Astro Solar Telescope Filter (White Light), D=3.8 | © Bernd Koch, Baader Planetarium GmbH | Bernd.Koch@astrofoto.de

Abb. 49: Das Profil der H α -Linie in Photosphäre und Chromosphäre

3.5 Helium in der Sonnenchromosphäre

Während der Betrachtung der Sonnenspektren am 15. Februar 2015 im Bereich der $H\alpha$ -Linie, fiel im BACHES Echelle Spektrum eine helle, schmale Linie an der kurzwelligen Grenze des Natrium-Dubletts auf.

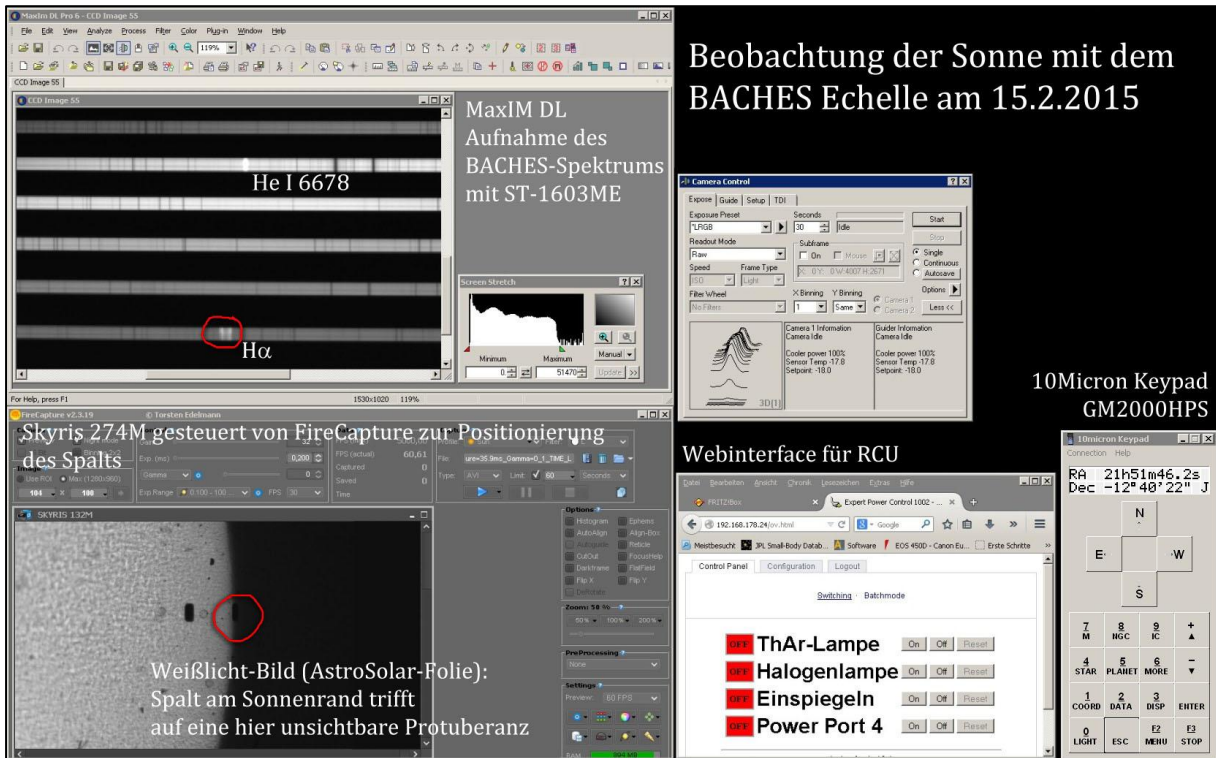


Abb. 50: Nachweis von Helium in der Chromosphäre

Blickt man auf die beiden mittleren Bilder #2 und #3 der Abbildung 49, so erkennt man vier Zeilen ("Ordnungen") oberhalb von $H\alpha$ plötzlich eine sehr helle Emissionslinie. Der Spalt befand sich zu diesem Zeitpunkt am Rand der Photosphäre bzw. lag genau in der Chromosphäre. Eine erste Kalibrierung des Spektrums ergab die Wellenlänge zu 5876 Angström, somit ist die Identifikation mit einer Linie des neutralen Heliums He I sicher.

Die Geschichte zur Entdeckung des Elements Helium ist spannend nachzulesen

„Im Sommer 1868 konnte erstmals die Technik der Spektroskopie bei einer totalen Sonnenfinsternis eingesetzt werden. Aus diesem Grund reisten aus Europa einige Expeditionen nach Indien, zwei aus Großbritannien, zwei französische, eine deutsche und eine spanische. Ziel war es, das Spektrum der Sonnenatmosphäre und insbesondere der Protuberanzen zu erforschen. Wie erwartet wurden im Spektrum der Protuberanzen von verschiedenen Beobachtern helle Emissionslinien beobachtet, die auf Wasserstoff hindeuteten. Zu diesen Beobachtern gehörte auch der französische Astronom Jules Janssen (1824–1907) in Guntur. Im Gegensatz zu den anderen angereisten Wissenschaftlern blieb Janssen noch in Indien, denn er kam während der Finsternis auf den Gedanken, dass die hellen Emissionslinien der Protuberanzen auch bei normalem Tageslicht zu erkennen sein müssten, wenn man durch eine noch stärkere Auffächerung des Spektrums die Intensität des Streulichts reduzierte. Als er am nächsten Tag sein Teleskop auf den Rand der nicht mehr verfinsterten Sonne richtete, sah er seine Vermutung bestätigt, denn er konnte dieselben Emissionslinien wie am Vortag sehen, darunter auch eine sonderbare gelbe „Natrium-Linie“. Verwunderlich war, dass in den Protuberanzen ein

3.6 Messung der äquatorialen Rotationsdauer des Planeten Jupiter

Das reflektierte Sonnenlicht Licht der am rechten Jupiterrand sich vom Beobachter wegdrehenden Seite „p“ (p bedeutet preceding = vorangehend) ist rotverschoben. Die „linke“ Seite „f“ (f bedeutet following) kommt auf den Beobachter zu, das Licht ist blauverschoben.

Das Sonnenlicht erfährt bei der Reflexion an Planeten den Dopplereffekt zweifach. Im Oppositionszeitraum sind die optischen Weglängen an der p- und an der f-Seite praktisch gleich lang, so dass die Rotationsgeschwindigkeit v_{rot} als Mittelwert aus zwei gleich großen Beiträgen resultiert.

$$v_{rot} \cdot \sin i = \frac{|v_r|}{4} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{4\lambda}$$

$|v_r|$: Betrag der gemessenen Radialgeschwindigkeit zwischen den Jupiterrandpunkten p und f
 i : Inklination (nahe 90°), λ : Wellenlänge,
 $\Delta\lambda$: Wellenlängenversatz, gemessen zwischen Randpunkten p und f. $c = 299792,5 \text{ km/s}$: Vakuum-Lichtgeschwindigkeit

Der Äquator des Planeten ist wegen der Neigung i der Rotationsachse zur Sichtlinie (Inklination) etwas ober- oder unterhalb der Mittellinie. Steht die Rotationsachse senkrecht zur Sichtlinie, beträgt $i=90^\circ$. Die in der Mittellinie beobachtete, effektiv gemessene Rotationsgeschwindigkeit beträgt $v_{rot} \cdot \sin i$. Die Inklination beträgt im Extremfall 86.8° , $\sin 86.8^\circ = 0.998$. Dieser Wert ist so nahe bei 1, dass im Rahmen der Messgenauigkeit $i = 90^\circ$ angenommen werden kann. Sonnenlicht fällt auf den Planeten und wird reflektiert.

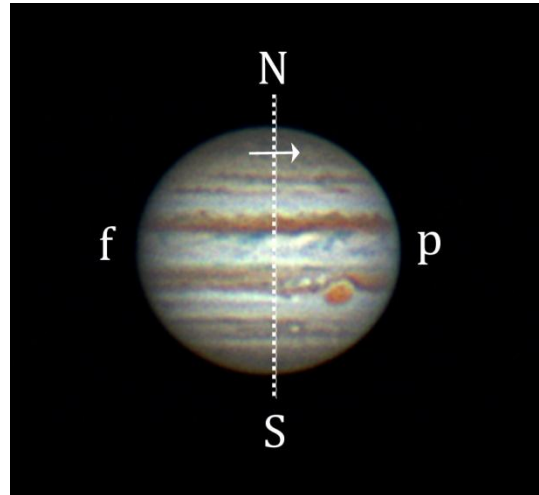


Abb. 52: Jupiter am 18.3.2015, 19:48 UT. Celestron 11 EdgeHD und Videokamera TIS DBK21

3.6.1 Methode 1: Spalt liegt auf dem Planetenäquator

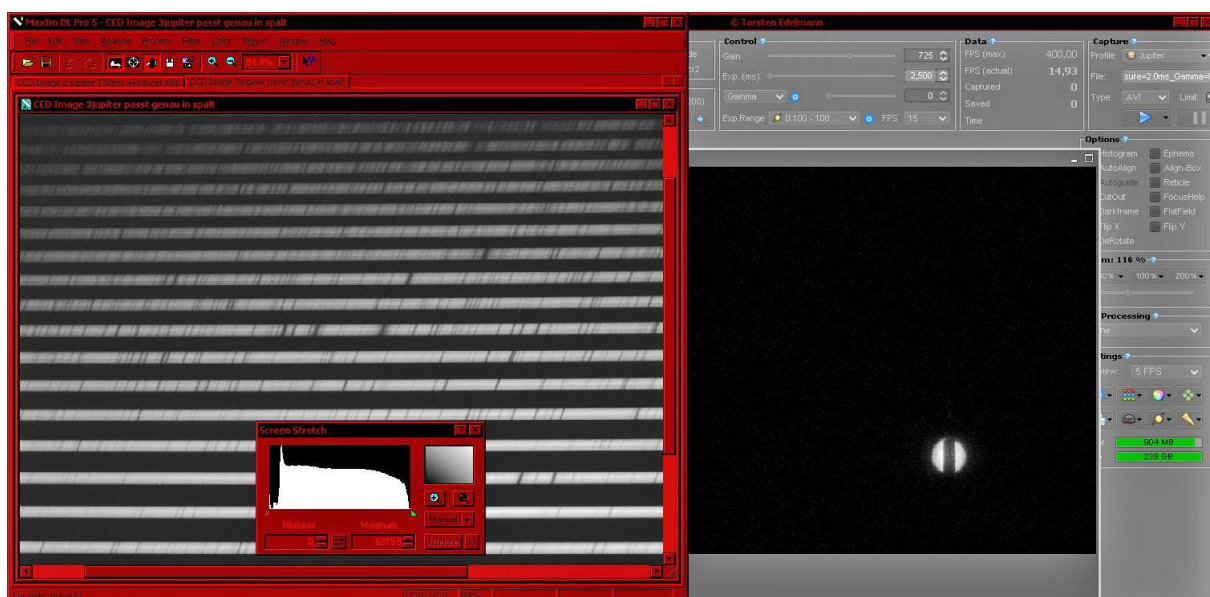


Abb. 53: Rechts das Videobild (FireCapture) mit dem um 90° gedrehten Jupiterbild. Während der Belichtung wurde mit Hilfe der Kontrolltasten des Keypads manuell nachgeführt. Links das vollständige Jupiterspektrum mit dem BACHES Echelle, 25µm Spalt. Aufnahme mit 130mm Refraktor und Reducer bei 624mm Brennweite

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Zur direkten Messung der Rotationsgeschwindigkeit aus einem Einzelspektrum muss der BACHES so orientiert sein, dass der Spalt genau auf der Mittellinie des Planeten liegt, die nahezu die Äquatorlinie darstellt. Nahezu bedeutet, dass der Äquator des Planeten wegen der Neigung i der Rotationsachse zur Sichtlinie (Inklination) etwas ober- oder unterhalb der Mittellinie liegt.

Welche maximale Teleskopbrennweite erlaubt es, den Planeten Jupiter in seiner vollen Breite gerade noch vollständig auf dem Spalt abzubilden?

Die Spaltlänge beträgt $l = 130\mu m$. Am 18.3.2015 betrug der scheinbare Winkeldurchmesser von Jupiter $\alpha = 41.3''$ (WinJupos²¹)

Maximale Teleskopbrennweite am 30.3.2015: $f_{max} = \frac{130\mu m}{\tan \alpha} = 649mm$

Die Messung erfolgte mit dem Astro-Physics 130mm EDF-S Refraktor f/6 mit zusätzlichem 0,8-fach Reducer. Die Brennweite wurde damit nominell von 780mm auf ca. 624mm reduziert, Jupiter sollte in seiner vollen Äquatorbreite (zufällig) exakt in den Spalt gepasst haben.

Ist die Teleskopbrennweite länger, muss das im nachfolgenden Kapitel beschriebene Verfahren durchgeführt werden.

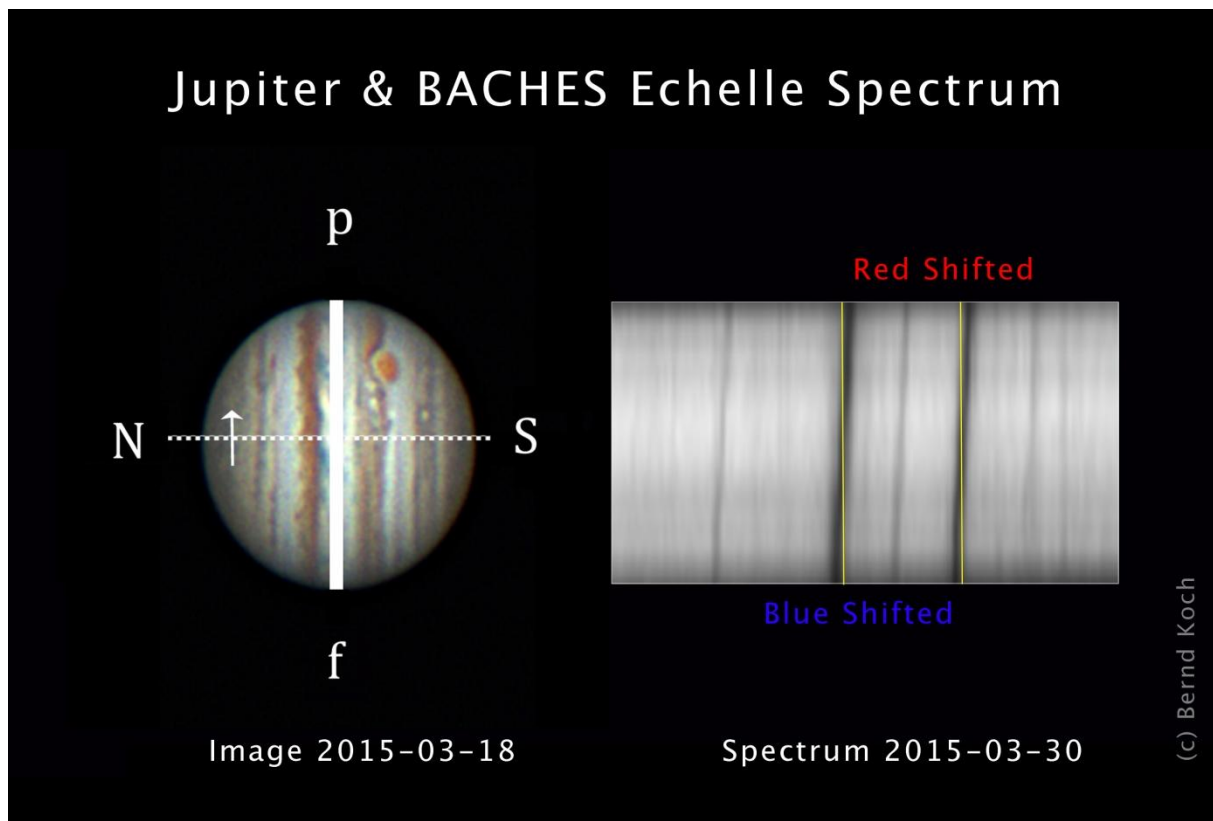


Abb. 54: Am 30.3.2015 passte Jupiter mit seiner vollen Breite in den $130\mu m$ langen Spektrografenspalt. Rechts die geneigten Linien des Natrium-Dubletts, die jeweils eine exakte Gerade sein sollten.

²¹ http://www.grischa-hahn.homepage.t-online.de/winjupos_download.htm

Messung der Linienneigung im Jupiterspektrum

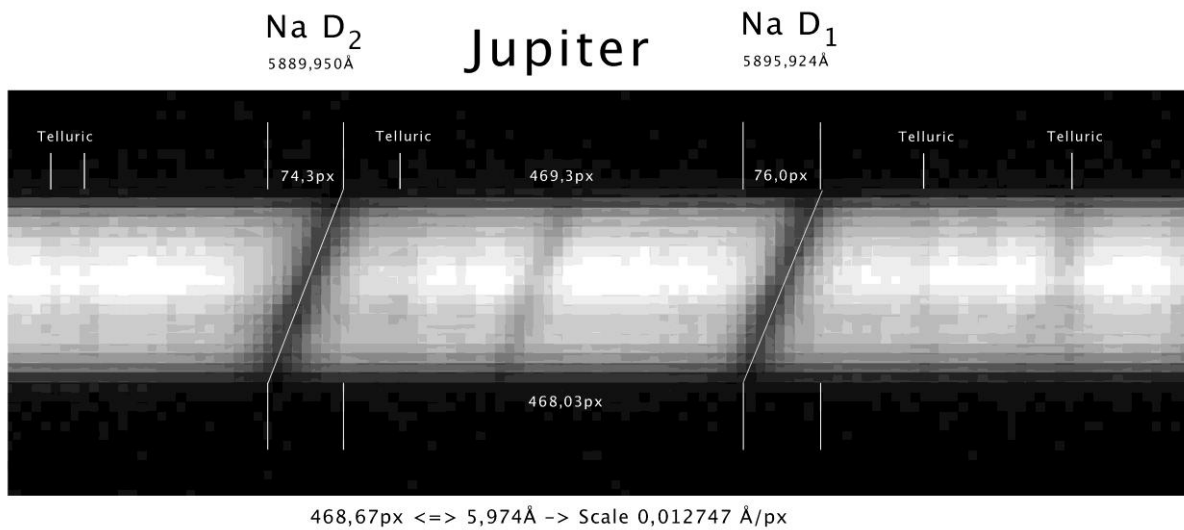


Abb. 55: Vermessung des Natrium-Dubletts

30.3.2015: $i = 89.9^\circ \approx 90^\circ$; $\sin i = 1$; Einzelvermessung des Versatzes der Linien D1 und D2

D1 – Linie: $\Delta\lambda = 76.0px \cdot 0.012747 \frac{\text{\AA}}{px} = 0.9687\text{\AA}$; $\lambda = 5895.924\text{\AA}$

$$v_{rot} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{4\lambda} = 299792,5 \frac{km}{s} \cdot \frac{0.9687\text{\AA}}{4 \cdot 5895.924\text{\AA}} = 12.31 \frac{km}{s}$$

D2 – Linie: $\Delta\lambda = 74.3px \cdot 0.012747 \frac{\text{\AA}}{px} = 0.9471\text{\AA}$; $\lambda = 5889.950\text{\AA}$

$$v_{rot} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{4\lambda} = 299792,5 \frac{km}{s} \cdot \frac{0.9471\text{\AA}}{4 \cdot 5889.950\text{\AA}} = 12.05 \frac{km}{s}$$

Mittelwert aus zwei Einzelmessungen: $v_{rot} = 12.18 \frac{km}{s} \pm 0.13 \frac{km}{s}$

Mit dem Äquatorradius des Planeten Jupiter $r = 71492 \text{ km}$ beträgt die Rotationsdauer am

Jupiteräquator: $T = \frac{2\pi r}{v_{rot}} = \frac{2\pi \cdot 71492 km}{12.18 km/s} = 36879.9s = 10h 14.6m$

Jupiter	Literaturwert	Messung	Abweichung
v_{rot}	12.6 km/s	12.2 km/s	-3.2%
T (Äquator)	9h 55.5m	10h 14.6m	+3.2%

Fehlerbetrachtung:

1. Die Brennweite konnte nicht unter 649mm gesenkt werden, um vollständig sicher zu sein, dass Jupiter in voller Breite auf dem Spalt abgebildet war. Ist Jupiter breiter, dann misst man nicht am Jupiterrand und erhält somit geringere Werte für die Radialgeschwindigkeit.
2. Seeing- und Nachführschwankungen während der Belichtung sorgen für eine „Verschmierung“ der Spalt-Enden über die Jupiterränder.

3.6.2 Methode 2: Spalt an die Planetenränder legen

Der Vorteil dieser Methode zeigt sich insbesondere bei langen Brennweiten, weil der Spalt im Verhältnis zum Jupiterbild klein ist und sehr genau positioniert werden kann.

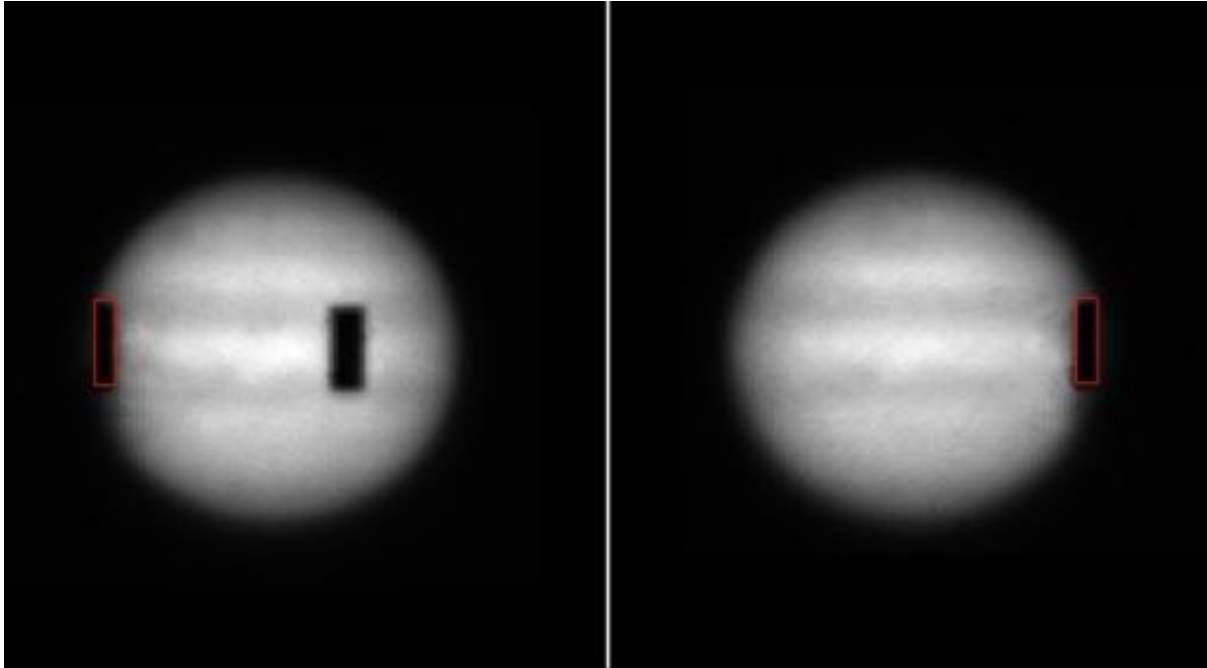


Abb. 56: 2016-03-10. Zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen, wobei der $25\mu\text{m}$ -Spalt einmal am linken und das andere Mal am rechten Jupiterrand positioniert wird. BACHES Spaltbild der Skyris 274M Video-Guidingkamera. Teleskop: Celestron 14 EdgeHD mit 0,7x-Reducer auf GM2000HPS-Montierung.

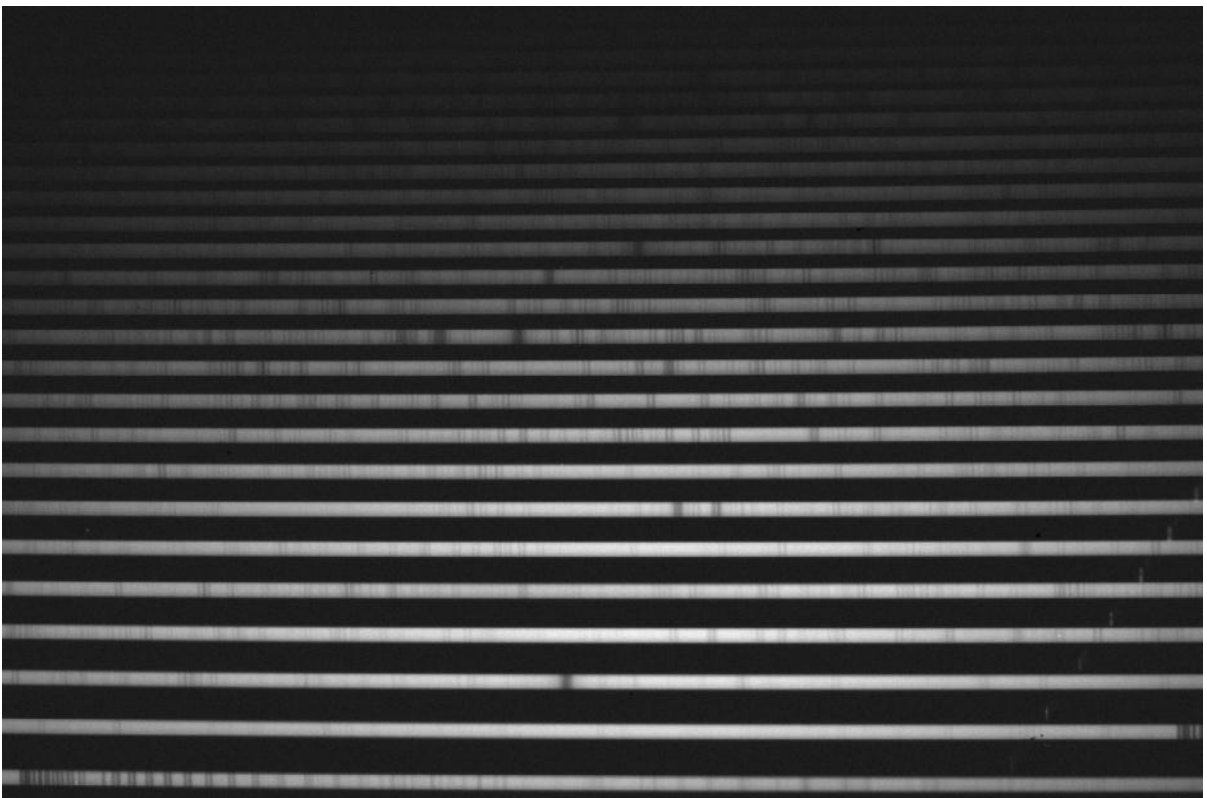


Abb. 57: Jupiterspektrum 2016-03-10 | C14 EdgeHD | BACHES Echelle Spektrograf | ST-1603ME | Zwei jeweils 60s belichtete Spektren wurden zur Darstellung der Linienverdopplung aufaddiert. Der Abstand beträgt knapp $1\text{\AA}$. Bitte beachten Sie, dass die unterste Reihe die Aufspaltung der Banden des tellurischen Sauerstoffs zeigt, zufällig in der selben Größenordnung von $1\text{\AA}$

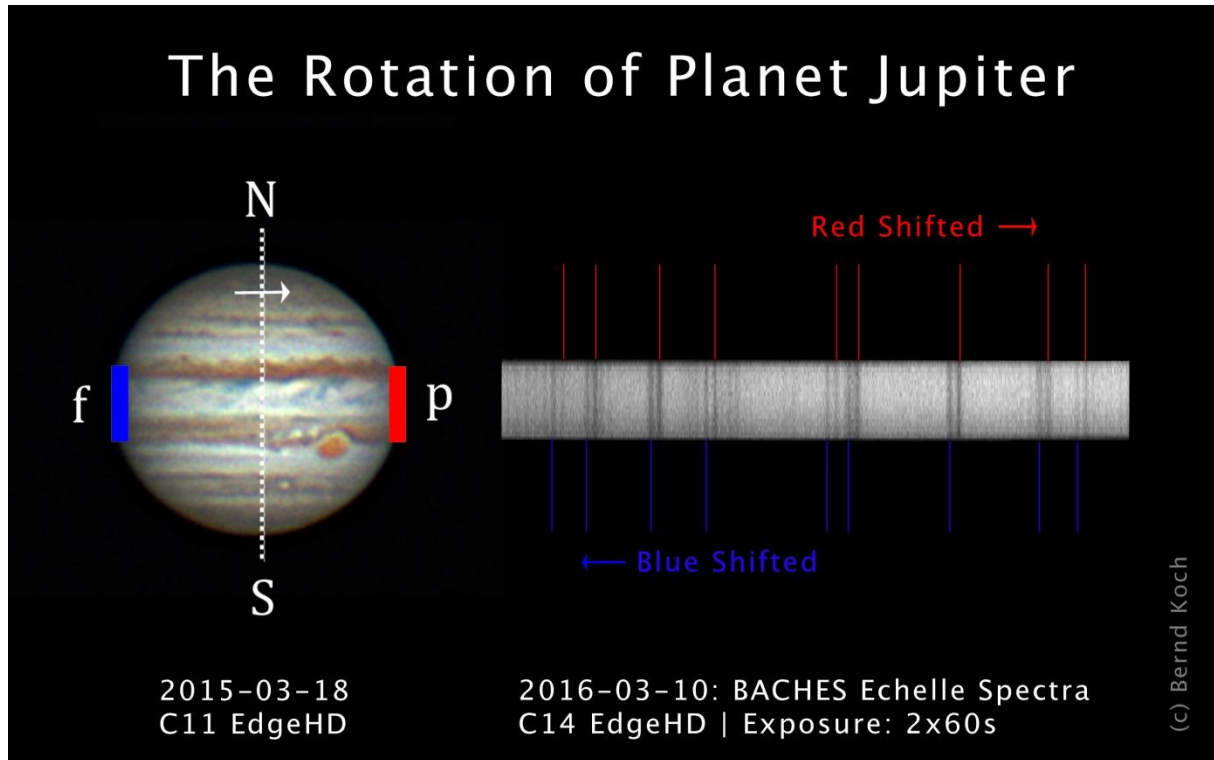


Abb. 58: Sonnenlicht, welches am auf den Betrachter zukommenden f-Rand reflektiert wird, ist blauverschoben. Das Licht des p-Randes entsprechend rotverschoben

Zur Vermessung des Linienversatzes wurden am 10.3.2016 mit dem BACHES (Spalt $25\mu\text{m}$) zwei Spektren zu je 60s Belichtungszeit aufgenommen. Ein Dunkelbild wurde jeweils subtrahiert. Mittels des Kernel-Filters in MaxIm DL wurden Hot- und Darkpixel entfernt. Verbliebene heiße Pixel wurden mit einem Klon-Tool (Photoshop: „Stempel“) per Hand entfernt.

Zur Kalibrierung der beiden Jupiterspektren in MIDAS wurden ein Flatfield-Spektrum und ein Thorium-Argon-Spektrum aufgenommen, jeweils 160s belichtet mit Abzug eines Darkframes.

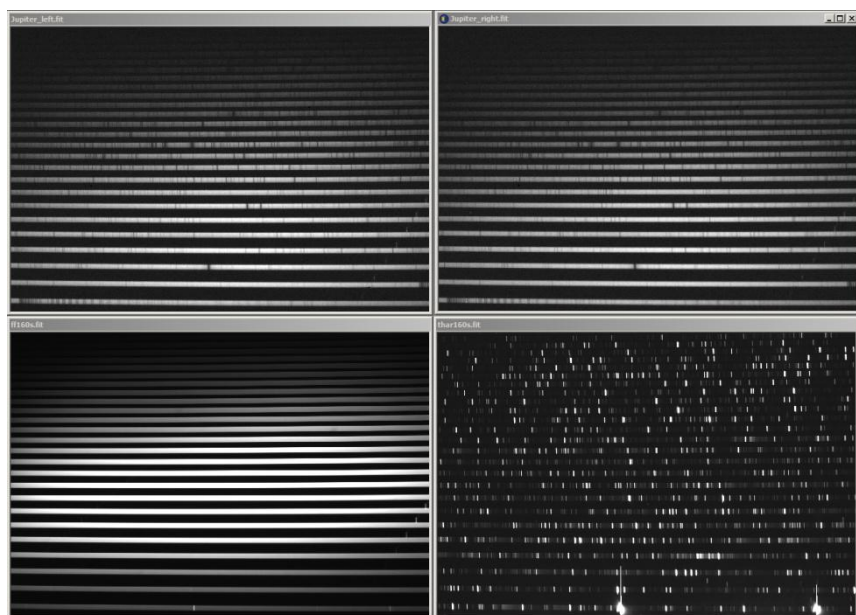


Abb. 59: Jupiter_left.fit (f-Rand, 60s), Jupiter_right.fit (p-Rand, 60s), ff160s.fit (Flatfield, 160s), thar160s.fit (ThAr, 160s)

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Hinweis: Während der Kalibrierung mit MIDAS unter Verwendung der „Standardwerte“ für die ST-1603ME stellt man fest, dass für diesen Datensatz (Abb. 59) der optimale Threshold-Wert vom Standardwert 10 abweicht, der in der MIDAS-Anleitung kommuniziert wird. Mit diesem Wert werden zu wenige Linien erkannt, die Kalibrierung ist unsicher.

Schrittweise wurde der Threshold erhöht. Ein experimentell ermittelter Wert Threshold = 100 ermöglicht hier in diesem Fall die Erkennung von ausreichend vielen Linien.

Es ist umständlich, einen experimentellen Threshold-Wert immer wieder im Skript `baches_calib.prg` manuell zu verändern und das Skript neu zu starten. Die Festlegung eines Parameters „Threshold“ ist empfehlenswert.

Da es aber nicht möglich ist, mehr als acht Parameter frei zu definieren, kann man dazu übergehen, den Parameter für den Grad des Polynoms fest auf 4 zu setzen und den letzten freien Parameter für den Threshold-Wert frei zu halten.

Hier nun die empfohlene Änderung in **`baches_calib.prg`**

Achtung: Bitte fertigen Sie eine Sicherheitskopie an, bevor Sie Änderungen vornehmen

```
DEFINE/PARA p1 ? I "Enter 2-dimensional image with the spectrum of a flat field lamp? "
DEFINE/PARA p2 ? I "Enter 2-dimensional image with the spectrum of a calibration lamp? "
DEFINE/PARA p3 24    NUM
DEFINE/PARA p4 20    NUM
DEFINE/PARA p5 20    NUM
DEFINE/PARA p6 0     NUM
DEFINE/PARA p7 0.5   NUM
DEFINE/PARA p8 100   NUM
! DEFINE/PARA only permits 8 parameter max.
!
! Convert parameters into variables:
!
DEFINE/LOCA cmd/c/1/20          "baches_calib"
DEFINE/LOCA ff_frame/c/1/40     {p1}
DEFINE/LOCA lamp_frame/c/1/40  {p2}
DEFINE/LOCA calib_table/c/1/8  "thar.fit"
DEFINE/LOCA orders/i/1/1       {p3}
DEFINE/LOCA width/i/1/1        {p4}
DEFINE/LOCA width/i/1/1        {p5}
DEFINE/LOCA slit_offset/r/1/1   {p6}
DEFINE/LOCA tolerance/r/1/1     {p7}
DEFINE/LOCA threshold/i/1/1     {p8}
!
! Das Polynom fest auf 4 einstellen:
DEFINE/LOCA poly/i/1/1         4
!
! Threshold kann beim Kalibrieren nun frei eingegeben werden
!USE THRESHOLD=10 ... 100 FOR SBIG ST1603ME (KAF1603ME):
!USE THRESHOLD=2 FOR SBIG ST8300 (KAF8300):
```

!Beispiel: Midas>calib/baches ff.fit thar.fit 24 20 20 0 0.5 100

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

3.6.3 Kalibrierung des Datensatzes zur Jupiterrotation

Jupiter_left.fit (60s), Jupiter_right.fit (60s), ff160s.fit (Flatfield, 160s), thar160s.fit (ThAr, 160s)

Midas01> set/cont baches

Midas02> calib/bach **ff160s.fit thar160s.fit 20 20 20 0 0.5 100**

PARAMETERS FOR THIS CALIBRATION:

=====

Flat field = **ff160s.fit**

Calibration lamp = **thar160s.fit**

Calibration table = thar.fit

Num. of orders = **0020**

Slit order width = **0020**

Slit extraction width = **0020**

Offset from center slit = **0.00000E+00**

Tolerance on RMS = **5.00000E-01**

Polynomial degree = 0004

Threshold = **0100**

Der Threshold-Wert 100 wurde experimentell in mehreren Durchgängen ermittelt. Ziel dessen war, die Kalibrierung des ThAr-Spektrums mit einer „möglichst hohen Erkennung der mittelhellen Linien“ durchzuführen, möglichst über 50%.

Ergebnis der Kalibrierung:

No. of selections: 886 Lines

Percentage of identifications among the half brighter lines : 81 %

INPUT TABLE : line.tbl

POLYNOMIAL DEGREE : 4

SEQ.NO	SPECTRAL ORDER	NO.LINES	WL START	WL END	STD. DEV.
			-----	ANGSTROEM	-----

1	52	33	4224.86	4362.94	0.02078
2	51	38	4307.60	4448.42	0.01766
3	50	37	4393.65	4537.33	0.01306
4	49	35	4483.22	4629.85	0.01647
5	48	43	4576.53	4726.23	0.01441
6	47	48	4673.81	4826.71	0.01525
7	46	52	4775.33	4931.55	0.01353
8	45	45	4881.36	5041.05	0.01717
9	44	39	4992.21	5155.52	0.02095
10	43	46	5108.22	5275.32	0.01787
11	42	47	5229.76	5400.81	0.01566
12	41	50	5357.22	5532.41	0.01681
13	40	50	5491.05	5670.60	0.01143
14	39	44	5631.74	5815.86	0.01703
15	38	49	5779.84	5968.76	0.01273
16	37	60	5935.93	6129.92	0.01154
17	36	53	6100.68	6300.03	0.01164
18	35	37	6274.84	6479.85	0.01648
19	34	41	6459.23	6670.24	0.01307
20	33	39	6654.79	6872.16	0.01706

MEAN RMS: 0.01553 Å

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Der Pipeline-Befehl wird ohne die Verwendung eines Master_Flats ausgeführt:

Midas> pipeline/baches Jupiter_left.fit

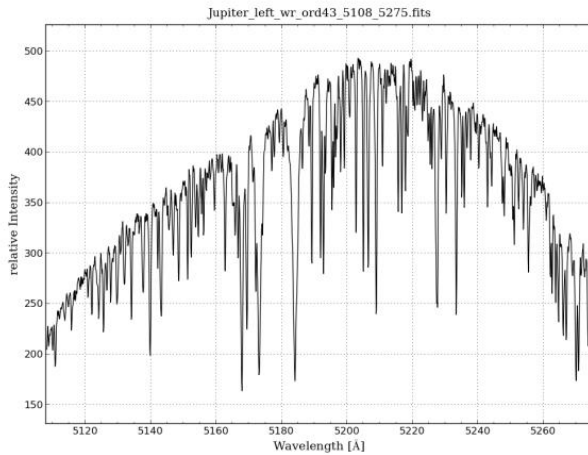


Abb. 61: Jupiter_left_wr_ord43_5108_5275.fits

Midas> pipeline/baches Jupiter_right.fit

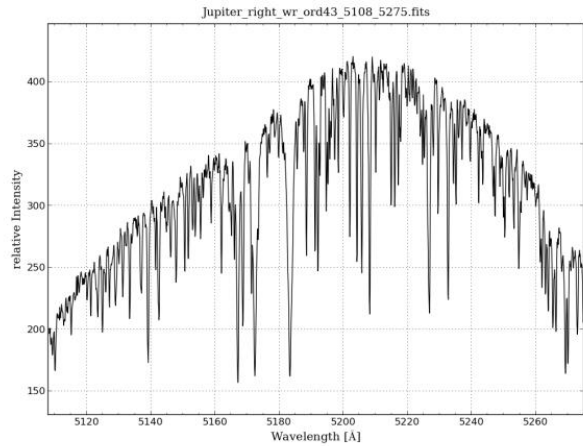


Abb. 61: Jupiter_right_wr_ord43_5108_5275.fits

Normierung der beiden Ordnungen #43 und Überlagerung (VisualSpec):

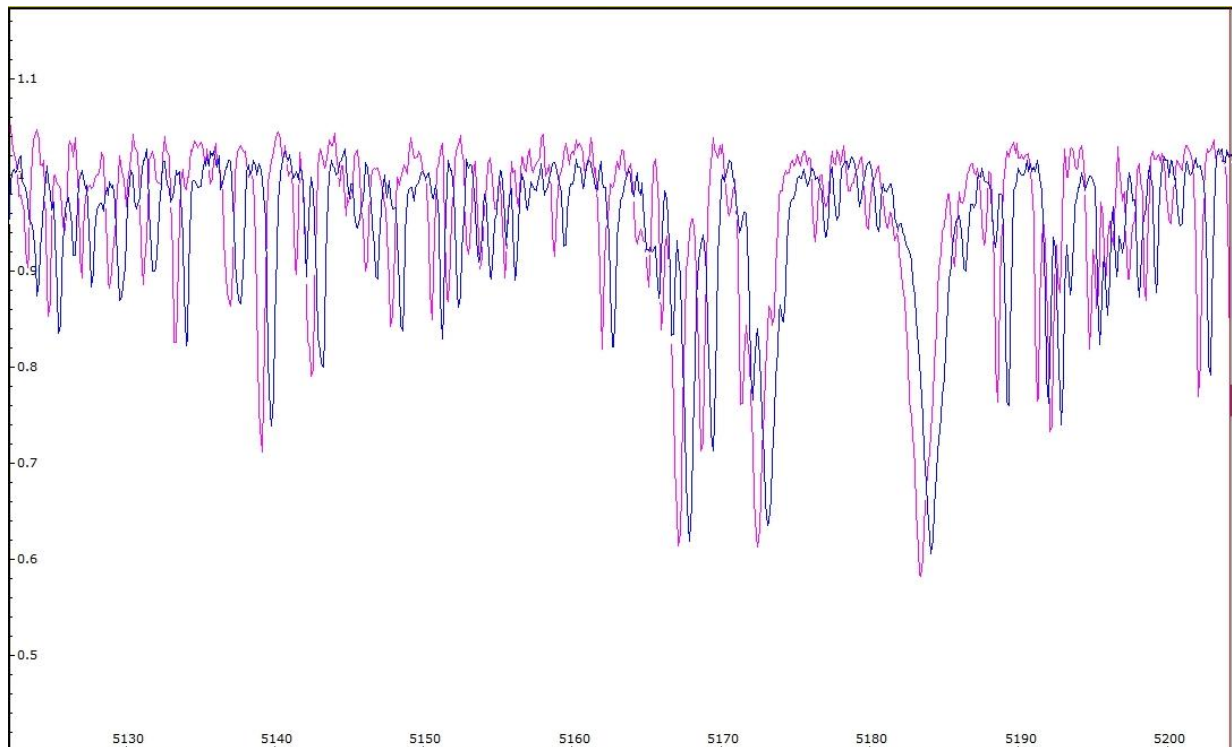


Abb. 62: Überlagerung der beiden normierten Ordnungen „Jupiter-links“ + „Jupiter-rechts“

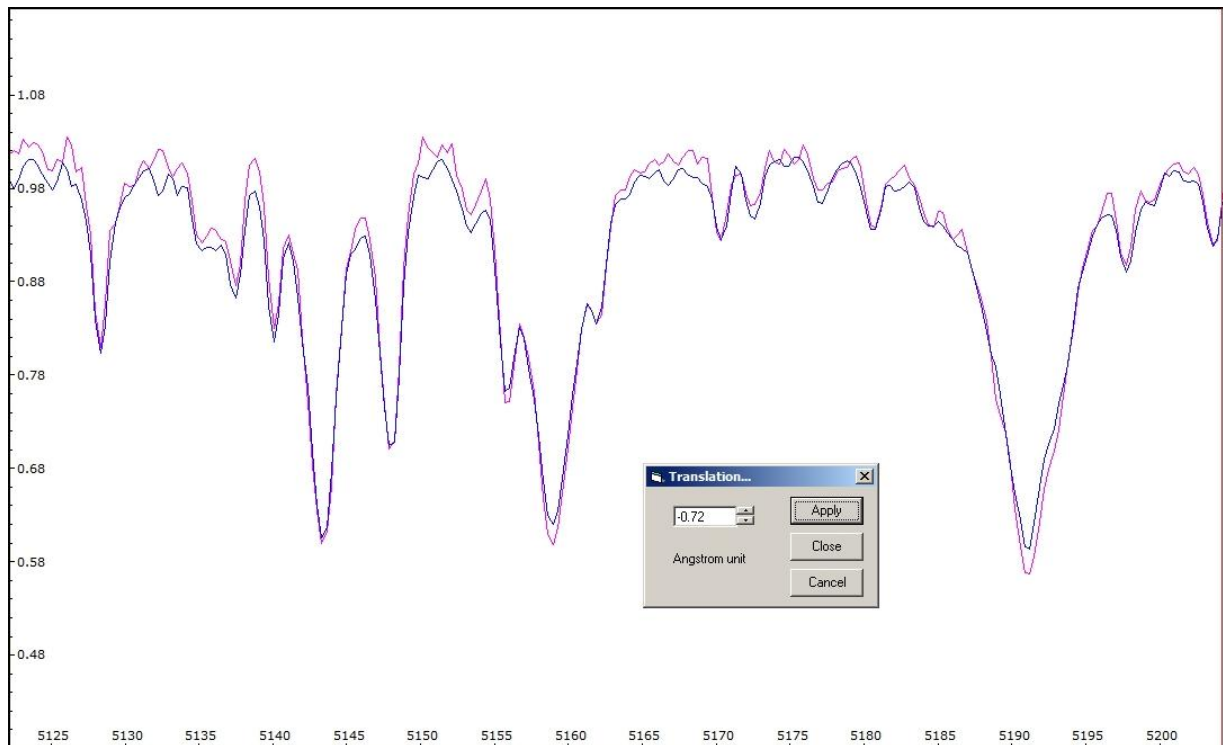


Abb. 63: Überlagerung der beiden normierten Ordnungen „Jupiter-links“ + „Jupiter-rechts“ und Verschiebung

Im Bereich des Mg-Triplets:

$\Delta\lambda = 0.72\text{\AA}$. Mittlere Wellenlänge: $\lambda = 5160\text{\AA}$

$$v_{\text{rot}} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{4\lambda} = 299792,5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \frac{0.72\text{\AA}}{4 \cdot 5160\text{\AA}} = 10.5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad (-16,6\%) \text{ Literaturwert } 12.6 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Eine Kreuzkorrelation der beiden Spektren oder Gaußfits der Absorptionslinien erübrigen sich. Die Genuigkeit der manuellen Translation der beiden Spektren in VisualSpec ist für diese Zwecke ausreichend.

Betrachtung der systematischen Fehler:

1. Der Spalt ist im Verhältnis zum Jupiterdurchmesser noch zu groß. Abhilfe: Höhere Vergrößerung anwenden!
2. Seeing- und Nachführschwankungen während der Belichtung sorgen für eine „Versmierung“ über den Jupiterrand. Dadurch werden die Linien breiter, die Linienmitte entspricht nicht dem Jupiterrand. Abhilfe: Nur bei gutem Seeing Spektren zur RV-Messung an Jupiter aufnehmen.
3. Es ist schwierig, den exakten Jupiterrand zu treffen. Man erkennt das auch daran, dass die Spalthöhe ausgeleuchtet ist, was darauf hinweist, dass der Spalt fast ganz innerhalb des Planeten lag.

3.7 Der Bedeckungsveränderliche VV Cep

VV Cep (HD 208816) ist ein bedeckungsveränderlicher Stern. Mit 4,9 mag Helligkeit ist er zudem ein relativ helles, rötlich leuchtendes Objekt im Zentrum des Sternbildes Cepheus, ca. 5000 Lichtjahre von der Erde entfernt²². Die Komponente VV Cep A ist als M2-Überriesen einer der größten Sterne in der Galaxis, der Sternradius beträgt zwischen 1050 und 1900 Sonnenradien, die Masse bis zu ca. 20 Sonnenmassen.

Der M2-Überriesen füllt sein Roche-Volumen aus, wenn der ca. 8 Sonnenmassen schwere Begleiter, ein heißer B-Stern, den Überriesen im Periastron nahe steht. Der B-Stern vom Typ B0 bis B2 ist ein Hauptreihenstern mit ca. 25000K Oberflächentemperatur. Im System findet ein Massentransfer vom Überriesen zum B-Stern statt. Es bildet sich eine rotierende, leuchtende Materiescheibe aus, die weniger als 1/18 des Durchmessers der Photosphäre des Überriesen ausgedehnt ist und zudem keine sphärische Symmetrie aufweist²³.

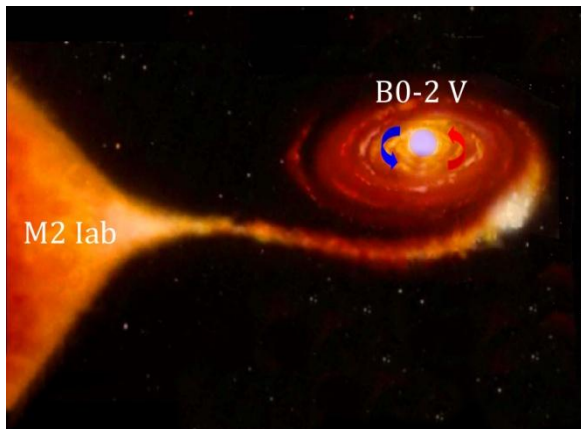


Abb. 64: Materie strömt vom M2-Überriesen zum heißen Begleiter und sammelt sich in einer Scheibe

Die Umlaufperiode ist veränderlich und beträgt rund 20,4 Jahre. Dazu trägt der Massentransfer zur B-Komponente von etwa $4 \cdot 10^{-4}$ Sonnenmassen pro Jahr bei. Die Dauer der Bedeckung der Be-Sterns durch den M2-Stern beträgt 673 Tage²⁴.

Der M2-Überriesen verliert durch einen 20 km/s erreichenden Sternwind ca. $1.5 \cdot 10^{-6}$ Sonnenmassen pro Jahr²⁵.

Observation data	
Epoch J2000	Equinox J2000
Constellation	Cepheus
Right ascension	21h 56m 39.144s
Declination	+63° 37' 32.01"
Apparent magnitude (V)	4.91 ^[1] (Naked eye)
Characteristics	
Spectral type	M2 Iab ^[2] / B0-2V ^[3]
U-B color index	0.3 (variable) ^[3]
B-V color index	1.6 (variable) ^[3]
Astrometry	
Parallax (π)	1.33 ± 0.20 ^[4] mas
Distance	4.9k ly (1.5k ^[5] pc)
Absolute magnitude (M_V)	-6
Details	
Mass	<25 ^[1] / <20 ^[3] ^[foot 1] $M_{\odot}$
Radius	1050 ^[5] -1900 ^[6] ^[foot 1] / 5-8 ^[3] $R_{\odot}$
Luminosity	200,000 ^[1] -320,000 ^[5] / ~10,000 ^[foot 1] $L_{\odot}$
Temperature	3,800 ^[1] / ~25,000 K
Other designations	
HIP 108317 ^[4]	

²² https://en.wikipedia.org/wiki/VV_Cephei

²³ <http://ibvs.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?6156>

²⁴ <http://www.astronomie.de/astronomische-fachgebiete/spektroskopie/projekte-kampagnen/das-vv-cephei-projekt/>

²⁵ Bennet, P. D. (2010). "Chromospheres and Winds of Red Supergiants: An Empirical Look at Outer Atmospheric Structure". *ASP Conference Series* **425**: 181. [arXiv:1004.1853](https://arxiv.org/abs/1004.1853). *Bibcode:2010ASPC..425..181B*

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Die letzte Bedeckung des B-Sterns wurde 1997 beobachtet. Der nächste Zyklus beginnt im August 2017 und endet im Mai 2019.

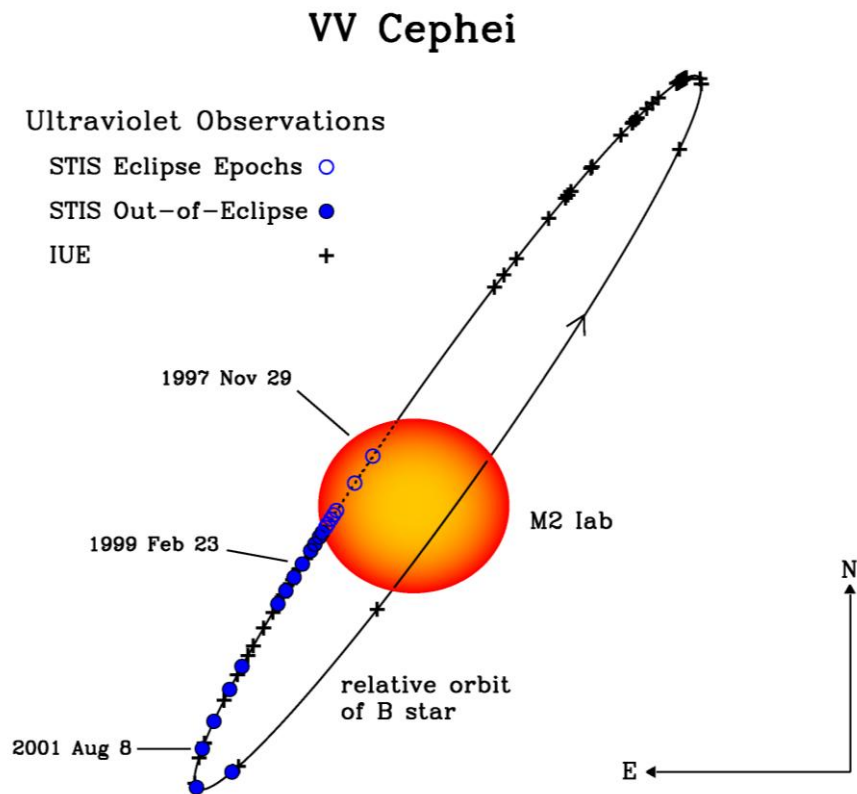


Abb. 65: Nächste Bedeckung des Be-Sterns von August 2017 bis Mai 2019

Dabei scheint der Be-Stern durch die dünne Photosphäre des M2-Überriesen. Die Bedeckung der Gasscheibe des Be-Sterns durch die halbtransparente Atmosphäre des M2 Überriesen wird sich dramatisch auf das Spektrum des Be-Sterns auswirken.



Abb. 66: Die Bedeckung findet nur alle 20 Jahre statt

Im Langzeitmonitoring²⁶ sind folgende Messgrößen zu ermitteln:

- $H\alpha$ -Äquivalentbreite EW (6550Å-6570Å)
- Heliozentrische Radialgeschwindigkeit HRV des $H\alpha$ -Absorptionsminimums
- V/R-Verhältnis der $H\alpha$ -Linie

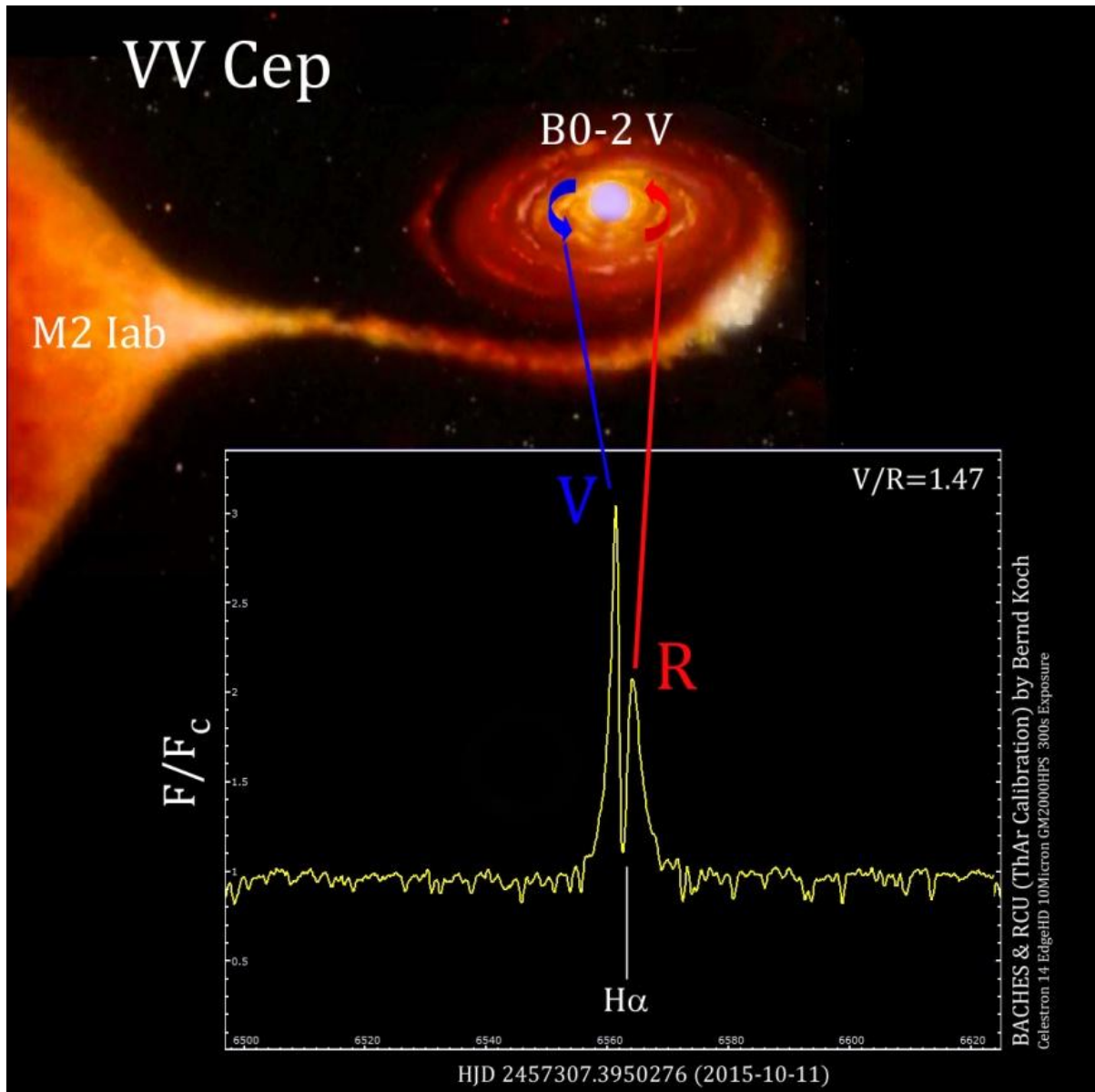


Abb. 67: Ursprung der violett und rot verschobenen Emissionsanteile

²⁶ <http://ibvs.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?6156>

3.7.1 Kalibrierung von Sternspektren anhand des Beispiels VV Cep

Am Abend des 11.10.2015 wurden 12 Spektren von VV Cep sowie Kalibrierspektren aufgenommen. Die Kalibrierung des Summenspektrums von VV Cep mit Hilfe eines Flatfields zur Ordnungserkennung und eines ThAr-Spektrums wird hier vorgestellt.

Datensatz: VV Cep, 12x300s

Aufnahmedatum: 11.10.2015

Midpoint: 21:57:26 UT

HJD=2457307.41724

Optik: Celestron 14 EdgeHD, f/10.8, f=3820mm

BACHES Spaltbreite: 25 μ m

CCD-Kamera: ST-1603ME

ff160s.fit: Flatfield, 160s belichtet (Autodark subtrahiert)

thar80s.fit: ThAr-Referenzspektrum, 80s belichtet (Autodark subtrahiert)

vvcep12x300.fit: 12 Spektren von VV Cep, jeweils 300s belichtet, Darkframes subtrahiert

3.7.2 Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe

Das Flatfieldspektrum (**ff160s.fit**), welches mit der Halogenlampe aufgenommen wurde, ist erforderlich, damit MIDAS die Ordnungen erkennt. Wegen der knappen Belichtung von 160s (max. Counts: 30.000) ist es nicht für die Generierung eines Masterflats geeignet. Es hätte durchaus länger belichtet werden können, weil die Ordnungserkennung insbesondere im UV-Bereich problematisch ist. Auf diese Problematik wird am Ende der Kalibrierung noch einmal eingegangen.

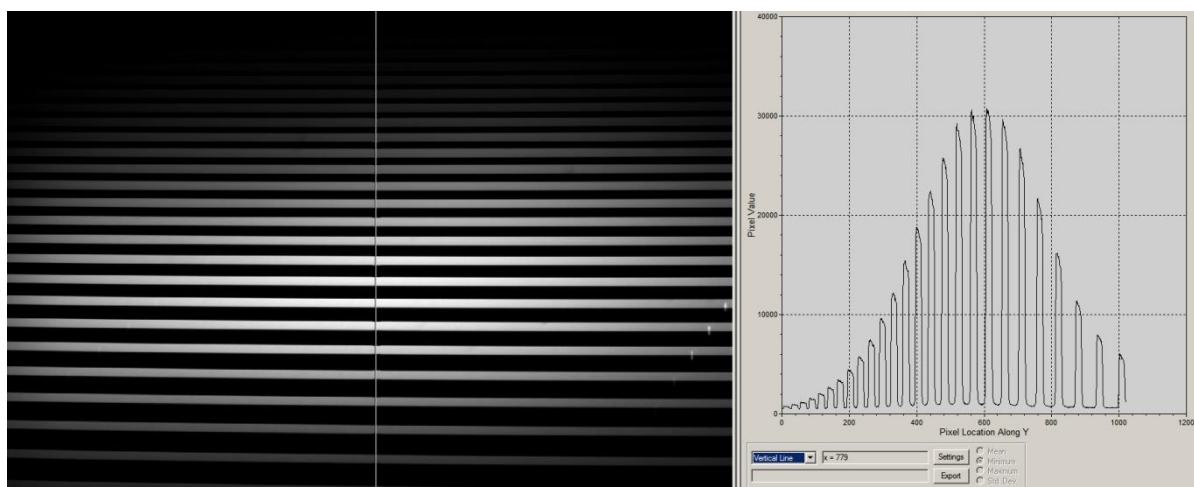


Abb. 68: Flatfield mit der Halogenlampe der RCU, 160s belichtet mit ST-1603ME. Vertikaler Intensitätsscan in der Bildmitte. Die Belichtung liegt deutlich unterhalb der Sättigungsgrenze.

3.7.3 Das Referenzspektrum der ThAr-Lampe

Das ThAr-Spektrum ist mit 80s ausreichend lange belichtet. Eine zu lange Belichtung würde die hellen Linien in die Sättigung treiben. Zum zweiten würde sich das Blooming des non-ABG-Sensors KAF-1603ME ggf. ungünstig bemerkbar machen. Hier hilft nur ein experimentieren mit unterschiedlichen Belichtungszeiten.

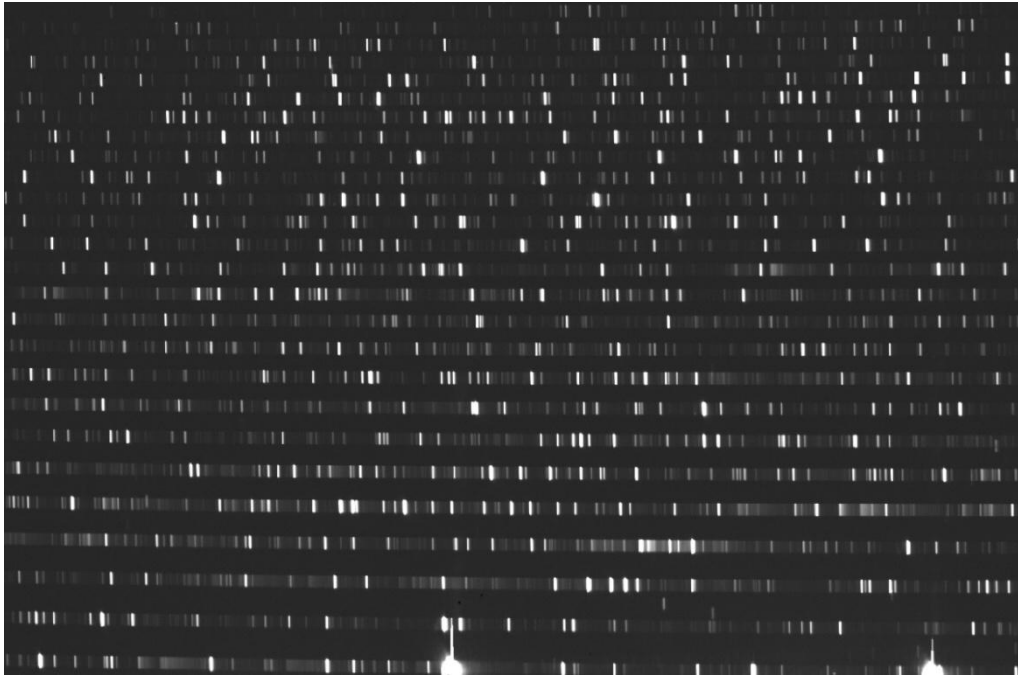


Abb. 69: ThAr-Spektrum, 80s belichtet

3.7.4 Das Sternspektrum VV Cep vorbereiten

Das typische $H\alpha$ -Profil der Wasserstoffscheibe um den Be-Stern. Aber auch in $H\beta$ ist das Profil sofort sichtbar.

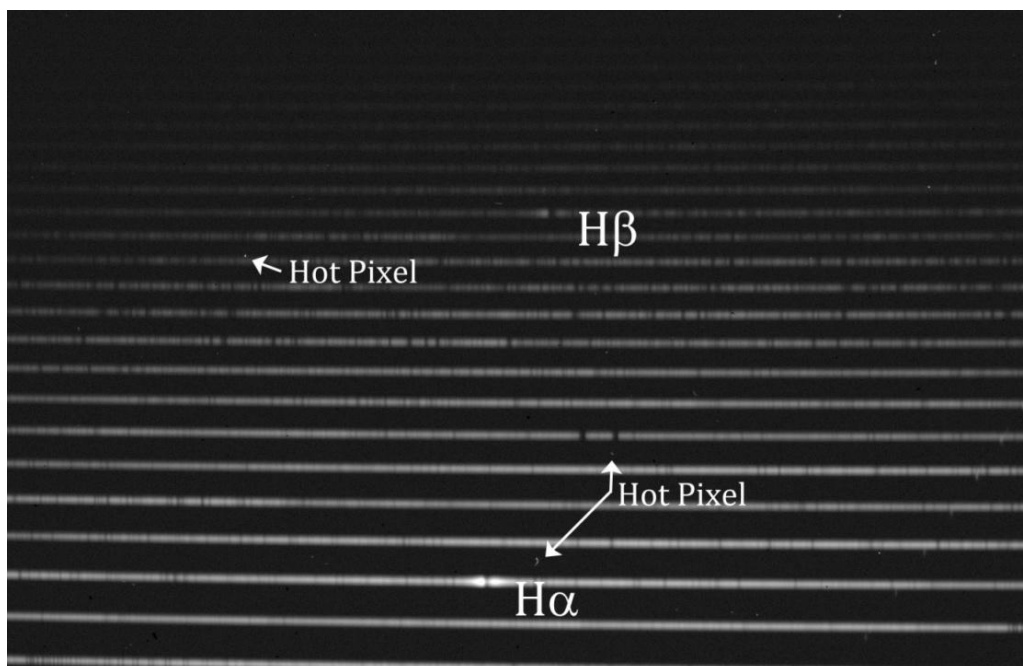


Abb. 70: Das VV Cephei-Spektrum, Mittwert aus 12x300s belichtet, enthält wenig Störpixel

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Sofern nötig, können im nächsten Schritt restliche „warme“ und „heiße“ Pixel beseitigt werden. Dazu wird in MaxIm DL ein „Kernel-Filter“ angewendet (Hotpixel, Threshold 0%).

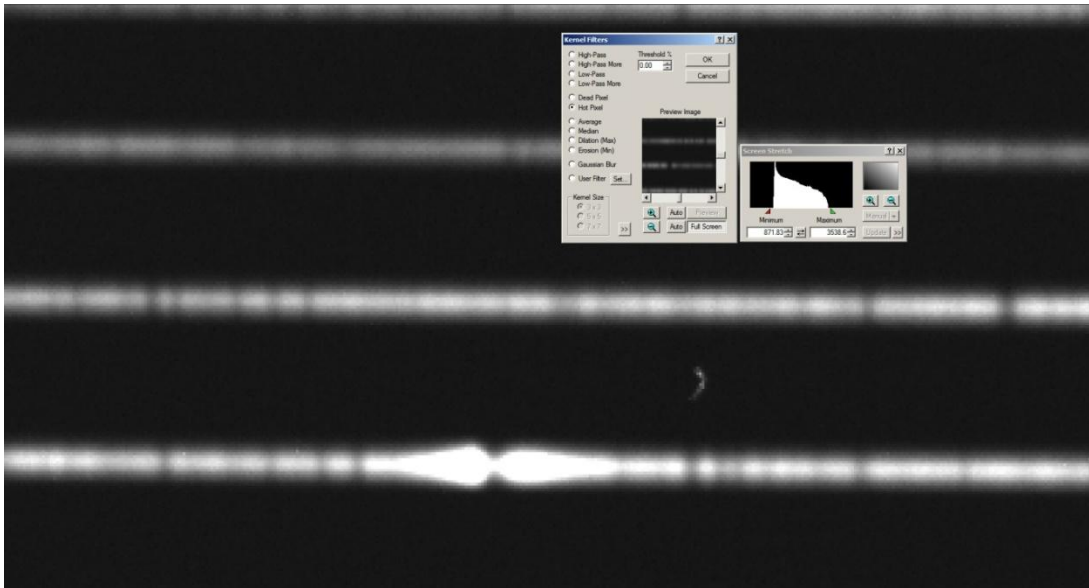


Abb. 71: Hot Pixel mit einem „Kernel-Filters“ beseitigen (MaxIM DL)

Übrig gebliebene Cosmics werden mit dem „Clone Tool“ beseitigt.

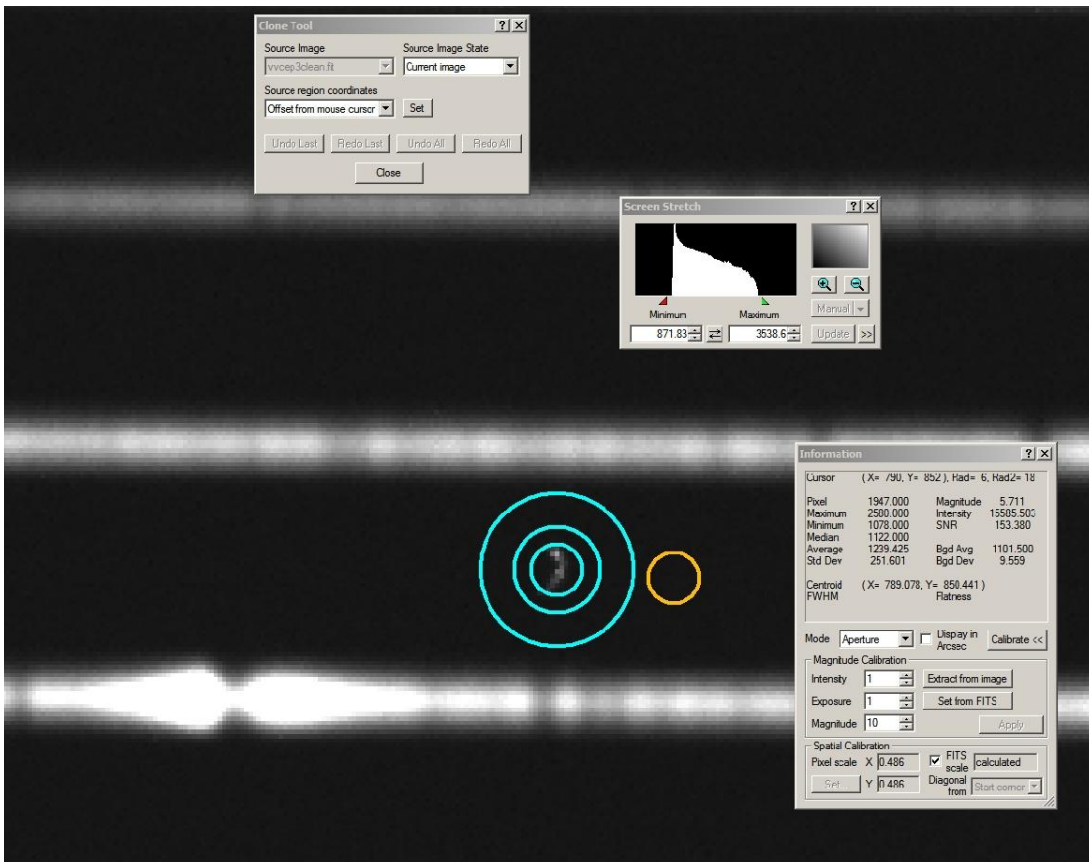


Abb. 72: Cosmics mit dem "Clone Tool" beseitigen (MaxIm DL)

Das Ergebnis ist eine von Hot- und ggf. Dark-Pixeln gereinigte Datei.

3.7.5 Das Signal-Rauschverhältnis des Masterflats

Vor der Kalibrierung des Sternspektrums erfolgt nun noch eine Betrachtung des MASTERFLATS. Im Folgenden verläuft der Workflow ohne Berücksichtigung eines Masterflats. Begründung: Aufgrund der meist geringen Quanten-Effizienz der Sensoren, insbesondere im UV/Blaubereich, kann, wie in

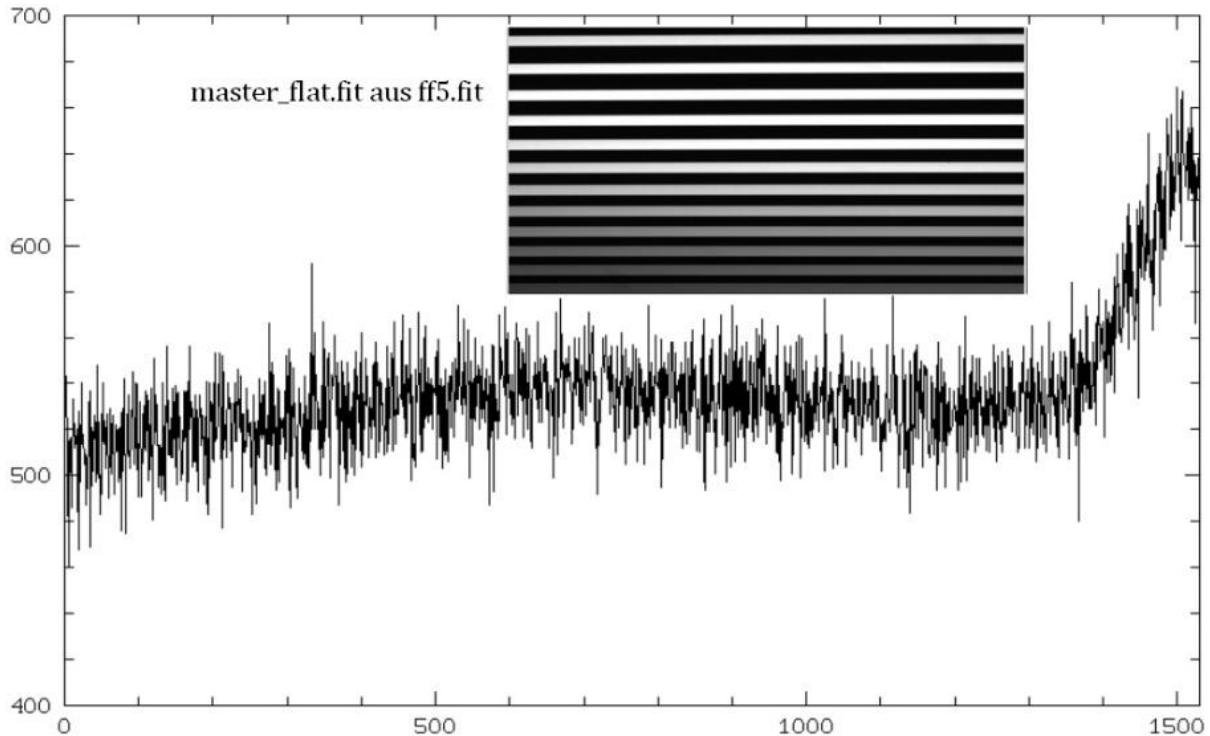


Abb. 73: Rauschen eines aus einer einzelnen Flatfield-Aufnahme erstellten Masterflats

diesem Fall, das SNR so schlecht sein, dass bei der Division durch das Sternsignal das SNR des Divisionsergebnisses verschlechtert wird. Das Flatfield ist häufig also zu knapp belichtet, so dass es nicht für ein Masterflat geeignet

ist. Man erkennt das an nebenstehendem Plot des Masterflats, welches stark verrauscht ist. Im roten Spektralbereich (rechts) ist die statistische Schwankung des Signals etwas geringer, aber immer noch unbefriedigend. Wer nicht auf ein Masterflat verzichten will, sollte am Ende oder am Anfang einer Sitzung viel Integrationszeit in die Aufnahme zahlreicher Flats investieren, jeweils unterhalb der

```
SNR Berechnung von seq0001.fit OHNE master_flat

Midas 030> status/imag seq0001.fits [4140:4150]
frame: seq0001.fits (data = R4, format = FITS)
area [4140:4150] of frame
minimum, maximum:      1.095757e+03      1.103234e+03
at pixel (706),(713)
mean, standard_deviation:      1.099703e+03      1.643364e+00
3rd + 4th moment:      0.102542      2.39975
total intensity:      102272
exact median, 1. mode, mode:      1.099645e+03      1.095772e+03      1.099085e+03
total no. of bins, binsize:      256      2.932320e-02
# of pixels used = 93 from 664 to 756 (in pixels)
Midas 031> comp 1099.703 / 1.643364
SNR=669.1780

|
SNR Berechnung von seq0001.fit MIT master_flat
Midas 027> status/imag seq0001.fits [4140:4150]
frame: seq0001.fits (data = R4, format = FITS)
area [4140:4150] of frame
minimum, maximum:      8.491534e-01      8.691641e-01
at pixel (696),(666)
mean, standard_deviation:      8.577590e-01      5.150633e-03
3rd + 4th moment:      0.326314      2.31183
total intensity:      79.7716
exact median, 1. mode, mode:      8.573288e-01      8.491926e-01      8.534302e-01
total no. of bins, binsize:      256      7.847337e-05
# of pixels used = 93 from 664 to 756 (in pixels)
Midas 028> comp 0.8577590 / 0.005150633
SNR=166.5347
```

Sättigungsgrenze des Sensors. Danach wird ein Mittelwert (ggf. Sigma-Clipping) auf den Flats gebildet. Mit einem ungemittelten Masterflat, welches aus dem einzigen Flatfield generiert wurde, verschlechtert sich das SNR von 669 auf 166.

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

3.7.6 Kalibrierung des Sternspektrums von VV Cep mit MIDAS

Der Datensatz besteht aus den Dateien **vvcep12x300s.fit**, **ff160s.fit** und **thar80s.fit**.

Wie in der MIDAS-Anleitung anhand des Sonnenspektrums detailliert beschrieben, kopieren Sie die Dateien in einen Arbeitsordner in den mit LINUX geteilten Ordner **Shared**. Aus diesem Arbeitsordner heraus können Sie ein Terminal öffnen mit dem Befehl **inmidas**. Danach starten Sie die Kalibrierung mit dem Kommando

```
Midas > set/cont baches
```

Innerhalb Ihres Arbeitsordners führen Sie nun die Wellenlängenkalibrierung durch:

```
Midas > calib/baches ff160s.fit thar80s.fit 22 20 20 0 0.1 100
```

PARAMETERS FOR THIS CALIBRATION:

=====

Flat field = ff160s.fit

Calibration lamp = thar80s.fit

Calibration table = thar.fit

Num. of orders = 0022

Slit order width = 0020

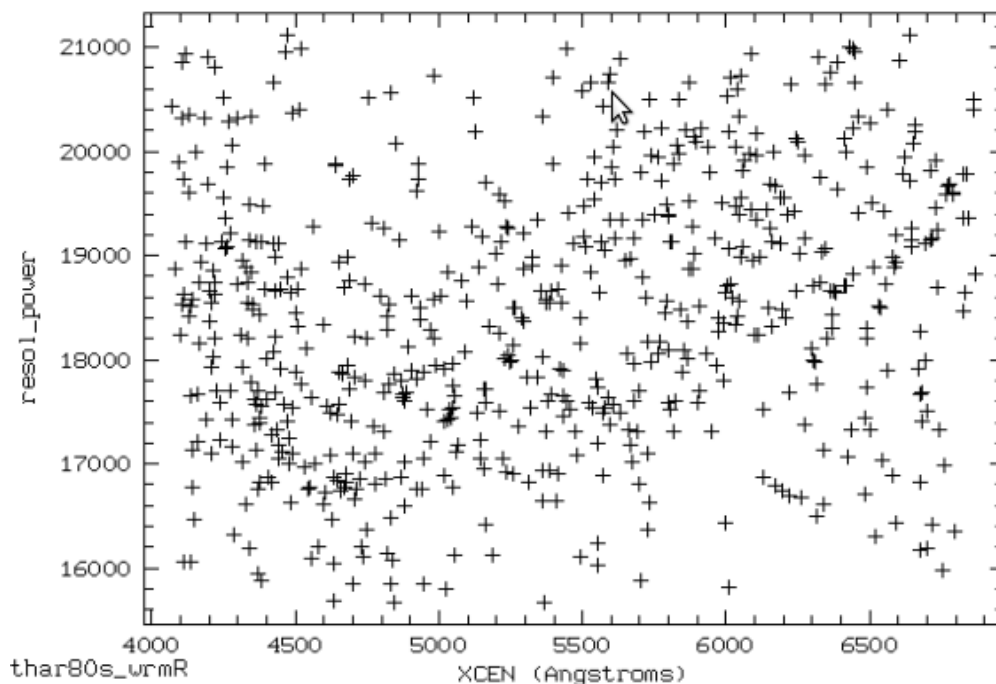
Slit extraction width = 0020

Offset from center slit = 0.00000E+00

Tolerance on RMS = 1.00000E-01

Polynomial degree = 0004

Threshold = 0100



Das durchschnittliche spektrale Auflösungsvermögen beträgt $R=18425 \pm 1275$.

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Das Ergebnis der Kalibrierung ist sehr genau (RMS=0.00480Å), obwohl die Gesamtzahl der verwendeten ThAr-Linien mit Nb=461 rel. klein ist.

```
No. of selections:      556
*** Rejection: STD. DEV. 0.00787 wav. units, i.e. 0.07268 pixels ***
Final Selection: Threshold = 0.01083 wav. units, Nb = 461
No. of selections:      461
  COMPUTE DISPERSION COEFFICIENTS
  -----
  INPUT TABLE : line.tbl
  POLYNOMIAL DEGREE :   4
  SEQ.NO  SPECTRAL  NO.LINES  WL START    WL END    STD. DEV.
        ORDER                                ANGSTROM
  -----
    1      54         8    4068.05    4200.98    0.00383 *FROM 2D SOLUTION*
    2      53         9    4144.70    4280.19    0.00537 *FROM 2D SOLUTION*
    3      52         9    4224.32    4362.46    0.00472 *FROM 2D SOLUTION*
    4      51        13    4307.06    4447.95    0.00655 *FROM 2D SOLUTION*
    5      50        10    4393.13    4536.85    0.00522 *FROM 2D SOLUTION*
    6      49         9    4482.71    4629.39    0.00613 *FROM 2D SOLUTION*
    7      48        13    4576.04    4725.78    0.00424 *FROM 2D SOLUTION*
    8      47        23    4673.34    4826.27    0.00427 *FROM 2D SOLUTION*
    9      46        22    4774.87    4931.13    0.00461 *FROM 2D SOLUTION*
   10      45        18    4880.93    5040.64    0.00396 *FROM 2D SOLUTION*
   11      44        18    4991.80    5155.13    0.00463 *FROM 2D SOLUTION*
   12      43        26    5107.84    5274.95    0.00394 *FROM 2D SOLUTION*
   13      42        25    5229.40    5400.46    0.00395 *FROM 2D SOLUTION*
   14      41        25    5356.89    5532.10    0.00542 *FROM 2D SOLUTION*
   15      40        32    5490.76    5670.32    0.00478 *FROM 2D SOLUTION*
   16      39        28    5631.48    5815.62    0.00507 *FROM 2D SOLUTION*
   17      38        32    5779.61    5968.56    0.00428 *FROM 2D SOLUTION*
   18      37        39    5935.75    6129.77    0.00478 *FROM 2D SOLUTION*
   19      36        36    6100.55    6299.92    0.00545 *FROM 2D SOLUTION*
   20      35        24    6274.77    6479.80    0.00548 *FROM 2D SOLUTION*
   21      34        22    6459.23    6670.24    0.00491 *FROM 2D SOLUTION*
   22      33        20    6654.87    6872.23    0.00407 *FROM 2D SOLUTION*
  -----
                                MEAN RMS:   0.00480
** TOTAL NUMBER OF LINES :      461 **
***** Verification *****
```

- 1) Minimum number of selections per order : 6
If the number of selections in any order (column NO.LINES above)
is less or equal than the minimum, this order should be checked.
- 2) Percentage of identifications among the half brighter lines : 54 %
This percentage must be as high as possible (above 50%). Low values
indicate an uncertain calibration.

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

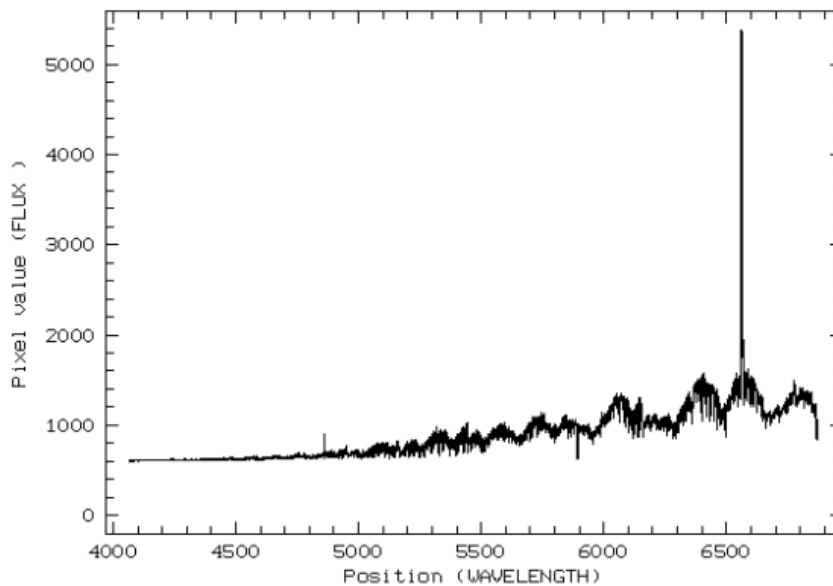
```
Midas > pipeline/baches vvcep12300s.fit
```

Die Ergebnisse liegen nun im Arbeitsordner: 22 Ordnungen werden im Gesamtspektrum **vvcep12x300s_wrm.bdf** automatisch zusammengefügt.

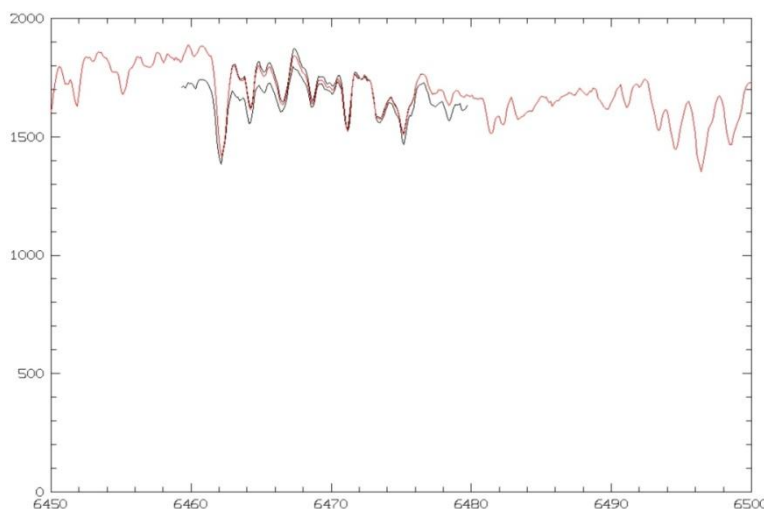
Falls die bdf-Datei noch nicht automatisch in eine fits-Datei konvertiert wurde:

```
Midas > OUTDISK/FITS vvcep300s_wrm.bdf vvcep12x300s_wrm.fit
```

```
Midas > PLOT vvcep12x300s_wrm.fit
```



Im folgenden Plot wurde dem Gesamtspektrum (**rot**) die Sequenz überlagert, welche weiter rechts H α enthält.



Man erkennt, dass es eine Übergangszone gibt, in dem die Anpassung erfolgen kann. Neben Intensität passt MIDAS auch den Abbildungsmaßstab an. **HINWEIS:** Wer auf das Zusammenfügen („Merging“) benachbarter Ordnungen nicht angewiesen ist, sollte, wie im Folgenden beschrieben, auf die einzelnen abgespeicherten Ordnungen zugreifen.

Nichtsdestoweniger ist das Gesamtspektrum hilfreich, um einen Überblick zu erhalten. Man möchte beispielsweise rasch durch das Spektrum scrollen, um Spektralbereiche sofort miteinander vergleichen zu können.

3.7.7 Normierung der Ordnung 34 ($H\alpha$) mit MIDAS

Falls das *BACHES Renaming and Plotting Utility* installiert ist, wurden alle 22 Ordnungen von **vvcep12x300s_wr_ord33_6654_6872** bis **vvcep12x300s_wr_ord54_4067_4200** zunächst als FITS-Dateien abgespeichert und liegen im Ordner /plots in vordefinierten Ausgabeformaten PNG, PDF etc. vor.

Die Ausgabe Ordnung 34 ($H\alpha$) erfolgt gemäß:

```
Midas > CREA/GRA 1 1000,800
Midas > PLOT/AXES 6459,6770 1300,6000 0 "Wavelength (A)" " rel. Intensity"
Midas > OVERPLOT vvcep12x300s_wrn_ord34_6459_6670.fits
```

Alternativ öffnet man im Ordner /plots die Datei **vvcep12x300s_wr_ord33_6654_6872.png** (Vorschau) oder **vvcep12x300s_wr_ord33_6654_6872.pdf (hochaufgelöst)**

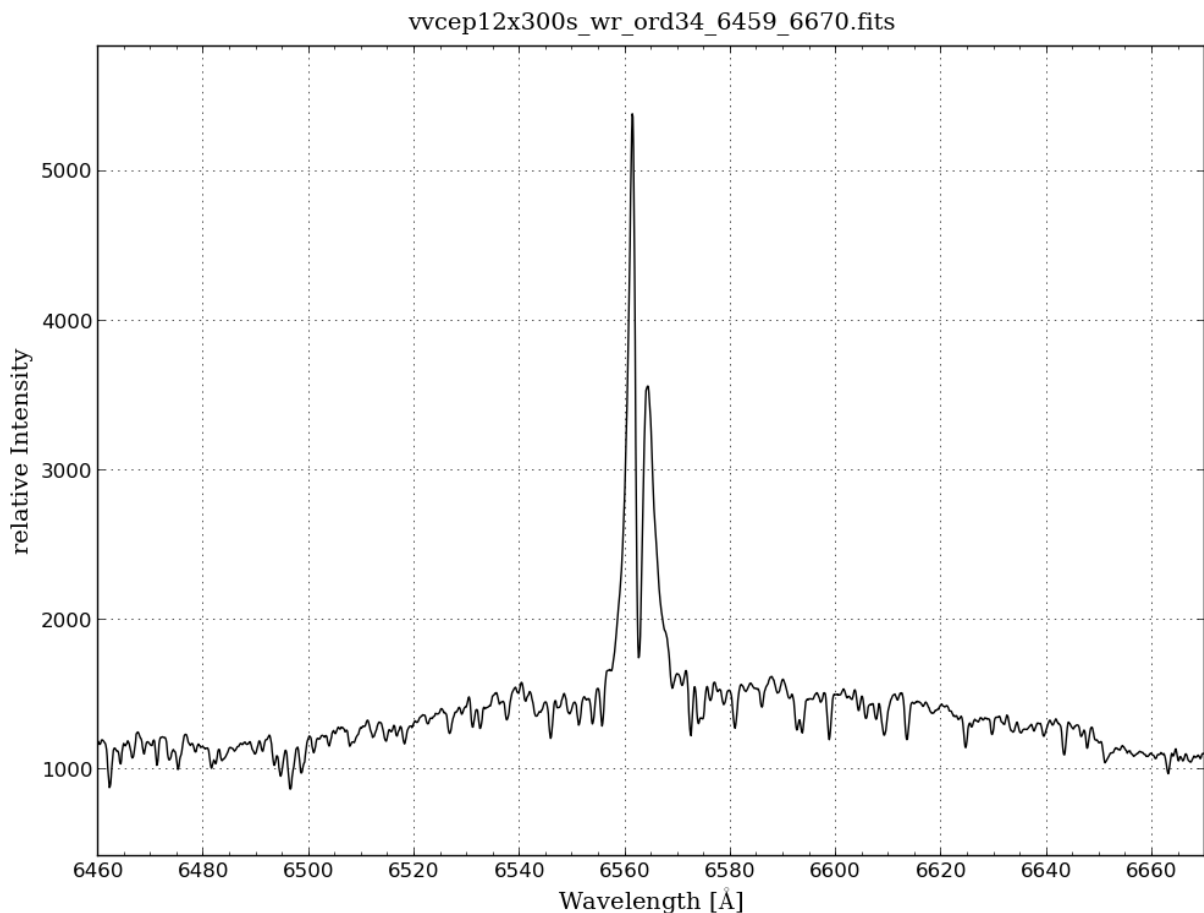


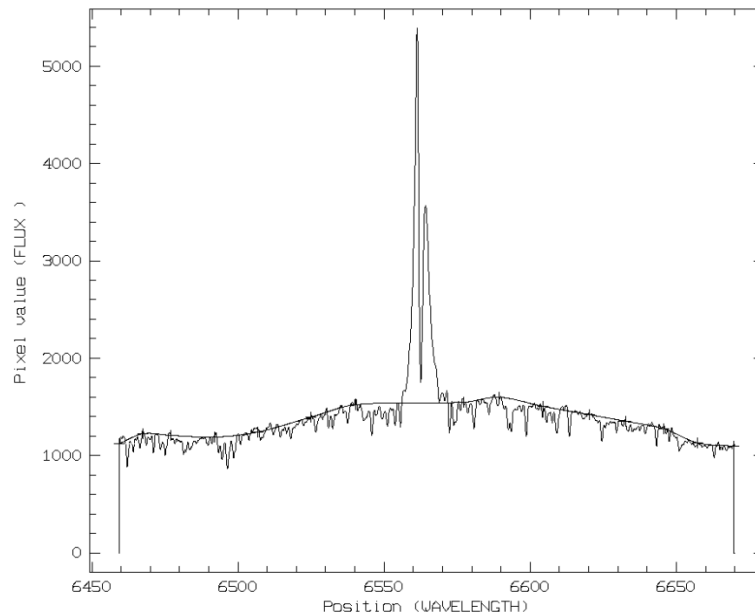
Abb. 74: Im Ordner /plots findet man ein hochaufgelöstes PDF der Ordnung 34 ($H\alpha$)

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Vorteil der Einzelabspeicherung der Ordnungen: Einzelne Analyse und Normierung.

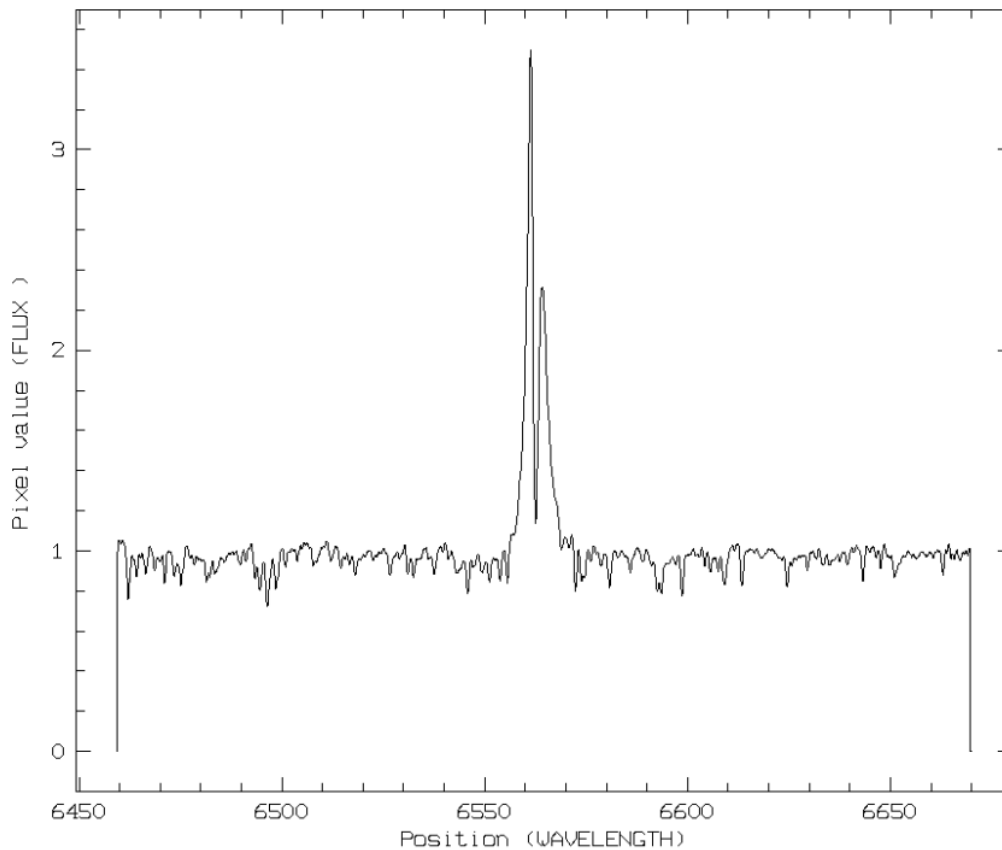
```
Midas > PLOT vvcep12x300s_wr_ord34_6459_6670.fits
```

```
Midas > NORMALIZE/SPEC vvcep12x300s_wr_ord34_6459_6670.fits response.fits
```



```
Midas > COMPUTE/IMAGE vvcep12x300s_wrn_ord34_6459_6670.fits =  
vvcep12x300s_wr_ord34_6459_6670.fits/response.fits
```

```
Midas > plot vvcep12x300s_wrn_ord34_6459_6670.fits
```



BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

```
Midas > PLOT/AXES 6540,6580 0,3.6 0 "Wavelength (A)" "F/Fc"
```

```
Midas > OVERPLOT vvcep12x300s_wrn_ord34_6459_6670.fits
```

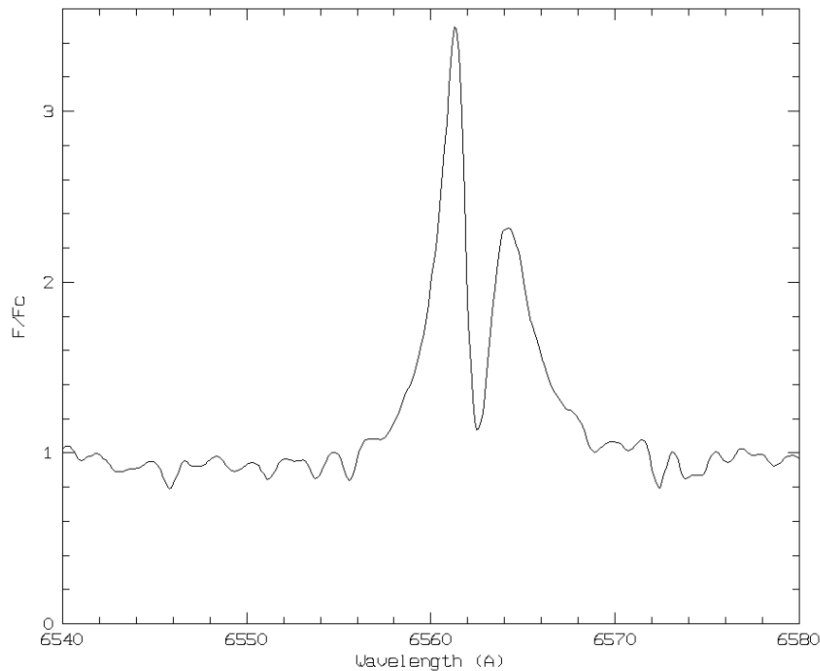
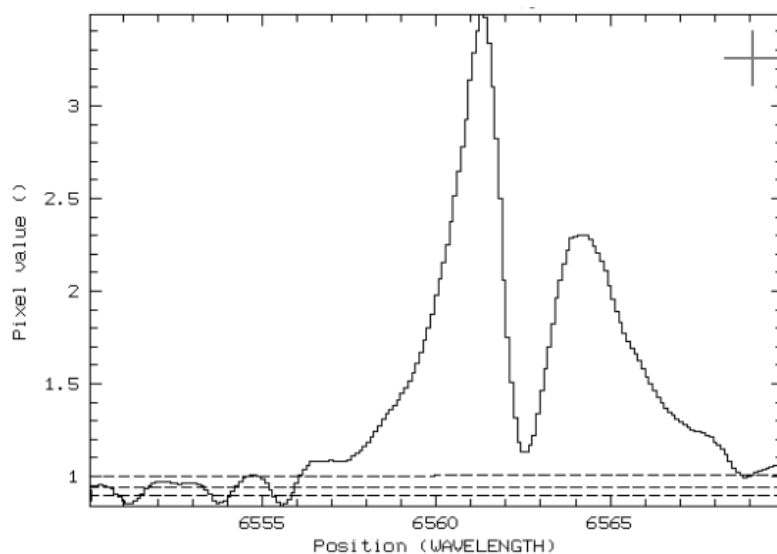


Abb. 75: Normiertes Spektrum (MIDAS)

Bestimmung des Verhältnisses V/R und Messung der Äquivalentbreite EW (bei VV Cep vereinbarungsgemäß bestimmt von 6550Å bis 6570Å). Hinweis: HELP INTEGRATE/LINE gibt Auskunft zur Syntax

```
Midas > INTEGRATE/LINE vvcep12x300s_wrn_ord34_6459_6670.fits @1  
6550,6570 2,1
```



Ergebnis:

$V/R = 1.50 \pm 0.1$

$EW = -10\text{\AA} \pm 2\text{\AA}$

Hinweis: Der Schwankungsbereich der Äquivalentbreite EW beruht auf der subjektiven Normierung auf 1 außerhalb des Emissionsdoppelpeaks. Das liegt im Verfahren der Festlegung des Pseudo-kontinuums begründet. Dieses ist von subjektiver Einschätzung

abhängig und kann bei jedem Durchgang unterschiedlich sein. Das kann auch der Grund dafür sein, dass die Messungen verschiedener Beobachter voneinander abweichen.

3.7.8 Normierung der Ordnung 34 ($H\alpha$) mit VisualSpec

Die rote Kurve zeigt den ermittelten Verlauf des Pseudokontinuums

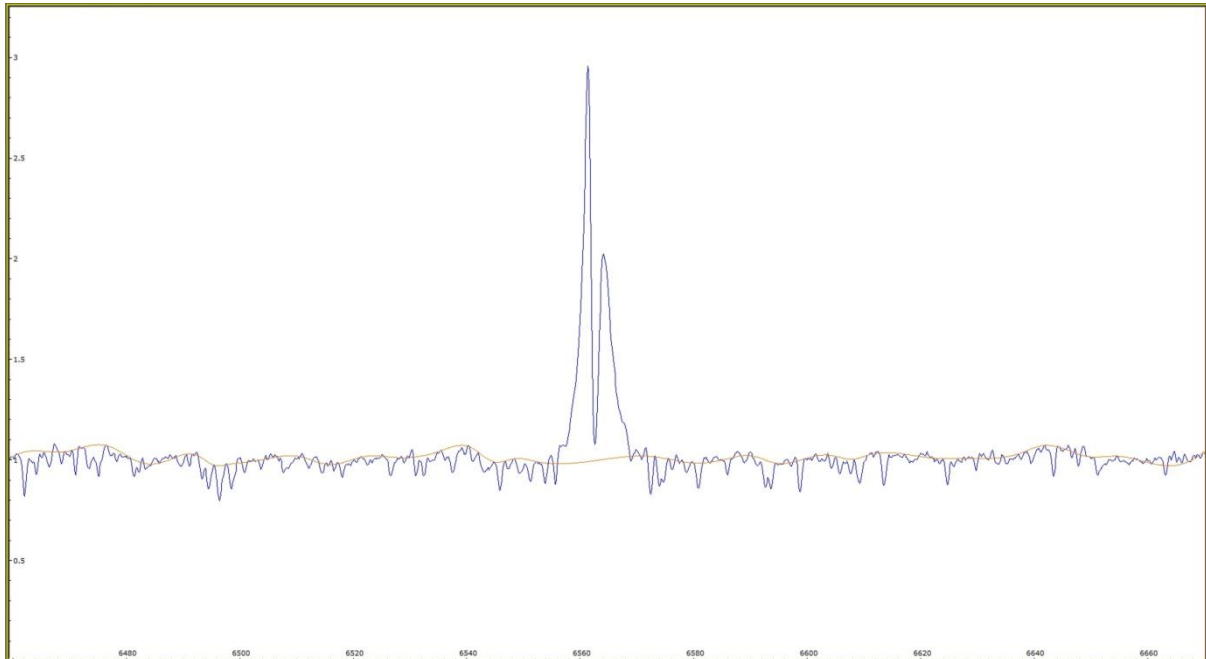


Abb. 76: Manuell bestimmtes Pseudokontinuum (VSpec)

Die Division des Sternspektrums (blau) durch das Pseudokontinuum (rot) ergibt das auf 1 normierte Sternspektrum. Ergebnis: $V/R=1.51$, $EW=-8.3\text{\AA}$. Auch bestimmt der subjektiv festgelegte Verlauf des Pseudokontinuums das Ergebnis.

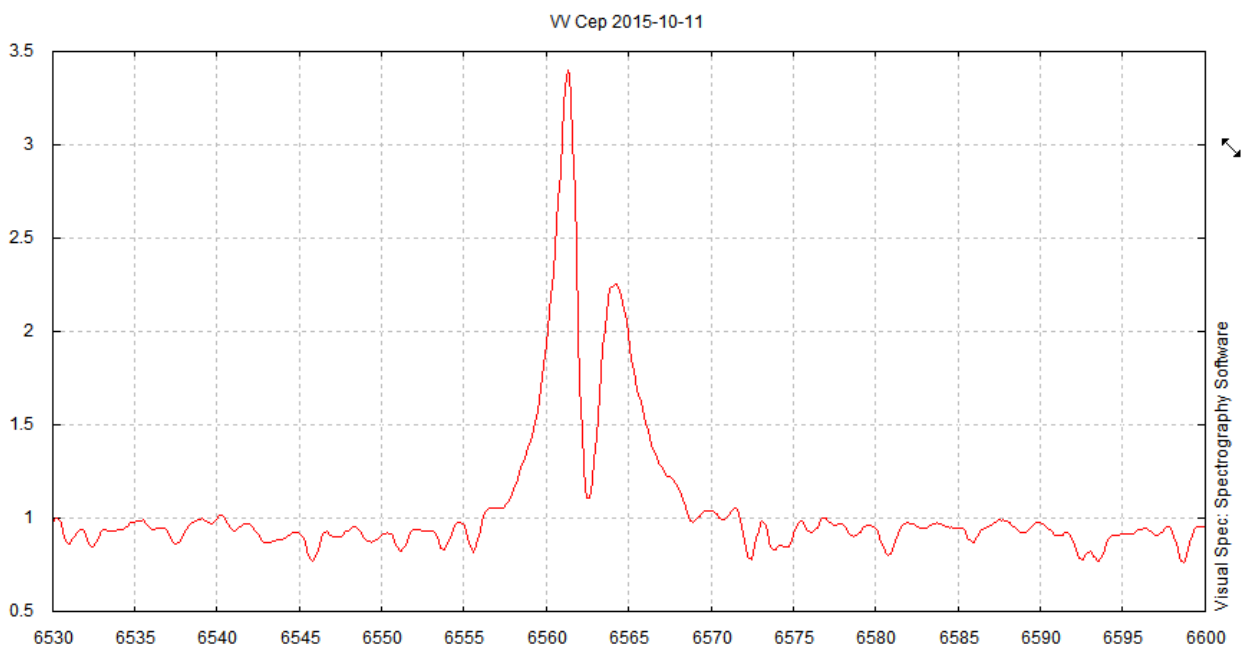


Abb. 77: Normiertes Spektrum. $V=3.399$, $R=2.249$; $V/R=1.51$ (Vspec), $EW=-8.3\text{\AA}$

3.7.9 Messung der heliozentrischen Radialgeschwindigkeit (HRV) an der H α -Linie

Bei VV Cep wird das Absorptionsminimum zwischen dem V- und dem R-Peak vermessen.

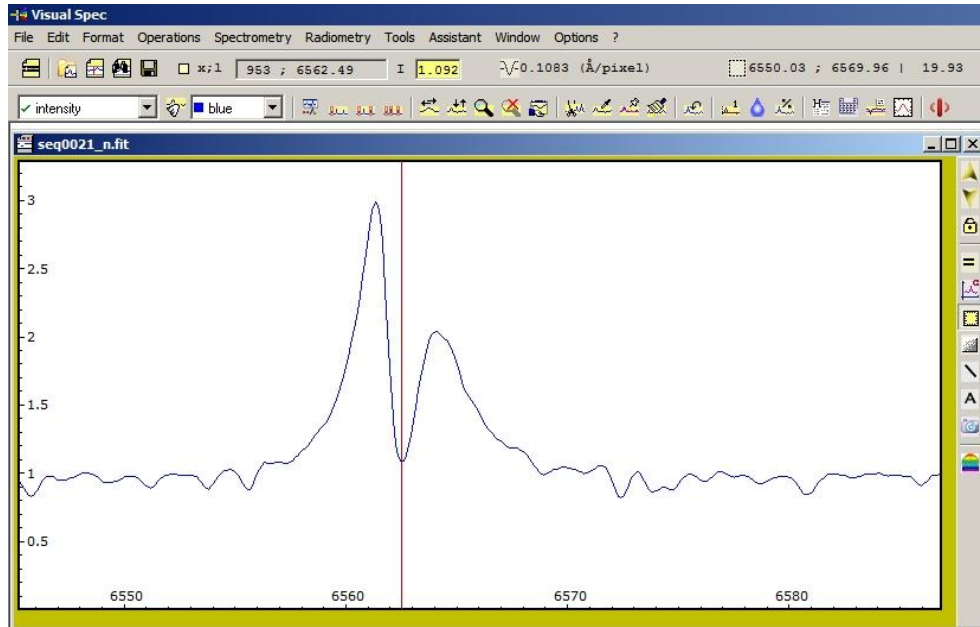


Abb. 78: Die senkrechte rote Linie markiert die Lage der Absorptionseinsenkung bei H α

Man erkennt eine Asymmetrie im Absorptionsprofil, die die Festlegung der Mittenwellenlänge unsicher macht. Nach dem Anfitzen eines symmetrischen Gaußprofils erkennt man, dass die Zentralwellenlänge des Gaußprofils vom Minimum der Einsenkung abweicht.

Je nachdem, wo man das Gaußprofil ansetzt, ergibt sich eine andere Zentralwellenlänge. Die Differenz kann zwischen 0.05Å und 0.1Å betragen. Entsprechend der Dopplerformel $\Delta\lambda/\lambda = v/c$ ergibt sich eine Differenz in der Radialgeschwindigkeit in Höhe von 2.3km/s bis 4.6km/s.



Abb. 79: Anpassung eines Gaußprofils an die Absorptionseinsenkung

Die Lage der Einsenkung kann alternativ mit Hilfe der sogenannten *Spiegelmethode* bestimmt werden. Hierbei wird das Profil der H α -Linie um die Ruhewellenlänge gespiegelt.²⁷ Roland Bücke hat diese Methode in seinem Programm HRV-MM2 verwirklicht²⁸

Aber auch mit dieser Software HRV-MM2 verursacht die Asymmetrie des Profils Probleme. Je nachdem, wie hoch man den Bereich ansetzt, der gefittet werden soll (rote Kurve), ergeben sich unterschiedliche Werte.

²⁷ Stefan Parimucha, Petr Skoda: Comparison of Selected Methods for Radial Velocity Measurements, 2007
<http://adsabs.harvard.edu/full/2007IAUS..240..486P>

²⁸ <http://www.astro.buecke.de/>

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

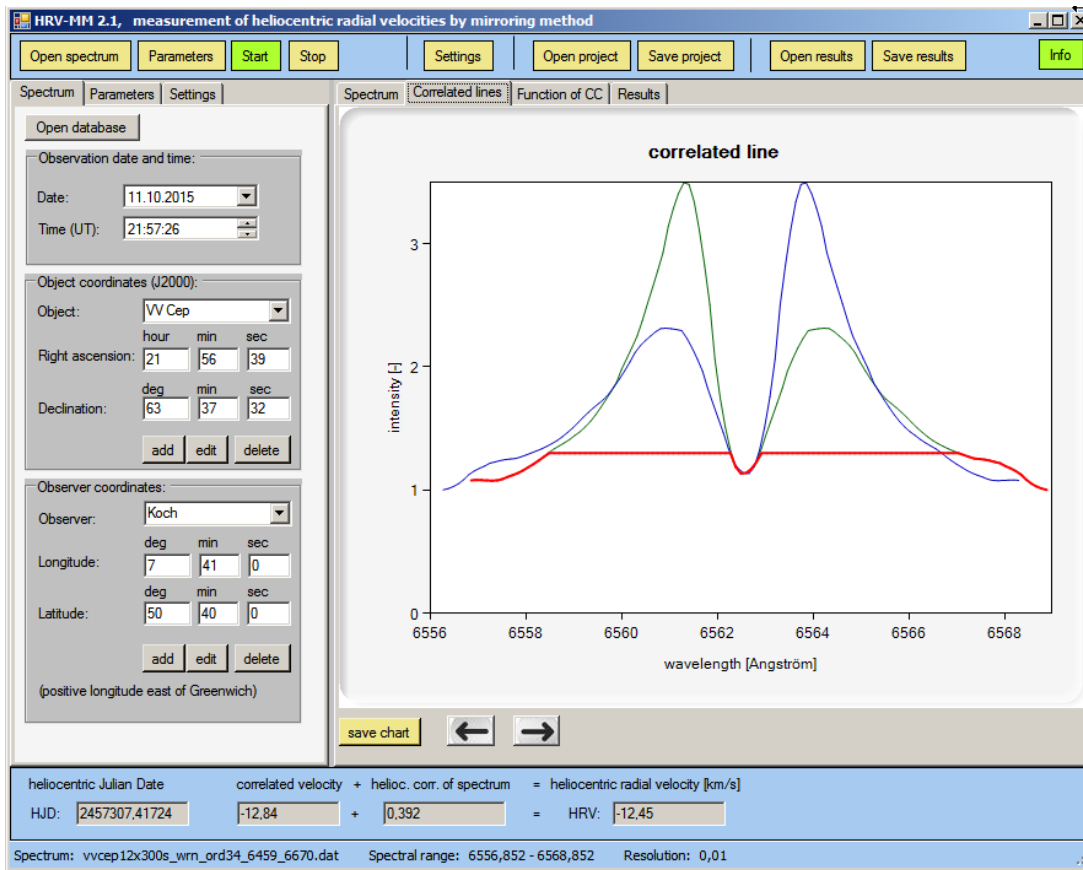


Abb. 80: Ergebnis mit HRV-MM2 von Roland Bücke; HRV=-12.5 km/s (bezogen auf 6562.852Å)

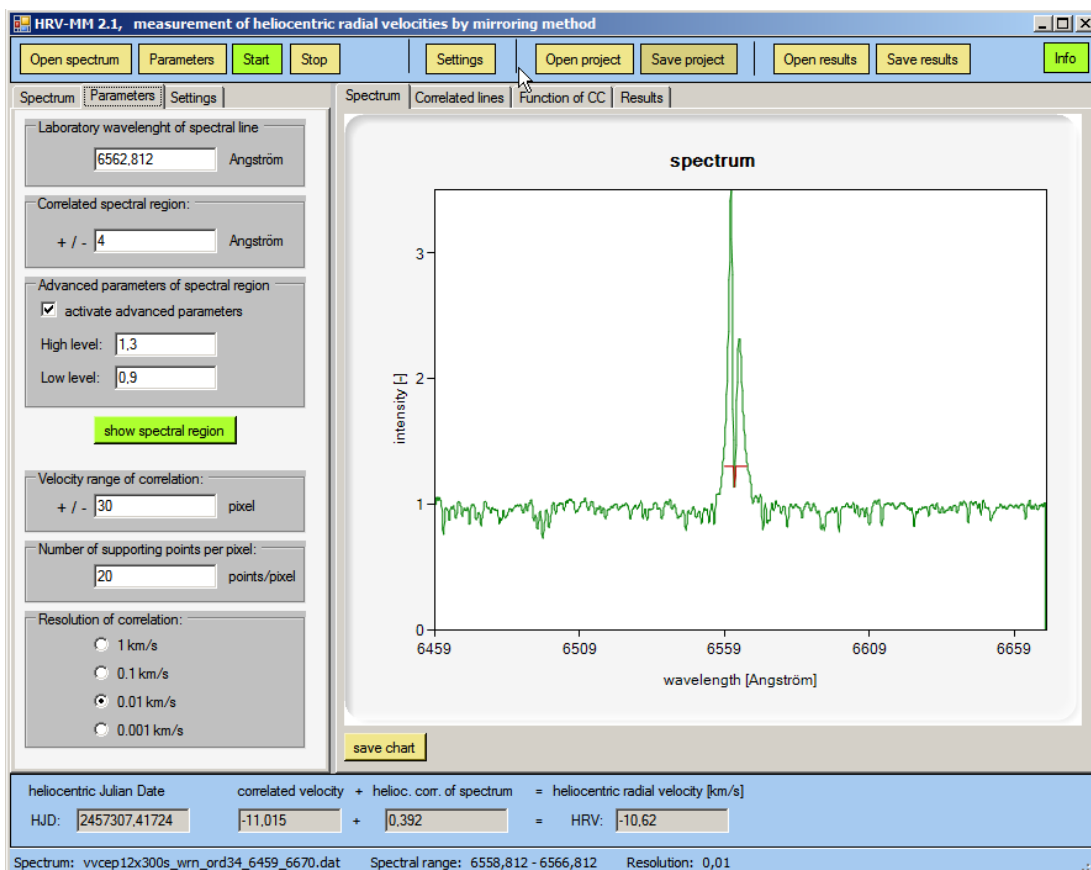


Abb. 81: Ergebnis mit HRV-MM2 von Roland Bücke; HRV=-10.6 km/s (bezogen auf 6562.812Å)

BACHES Echelle Spektrograf Tutorial

Eine gewisse Unsicherheit besteht in der Annahme der „richtigen“ Laborwellenlänge für die H α -Linie. Die Wasserstoff H α -Linie weist eine Feinstruktur auf, deren Anteile sehr unterschiedliche Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen dem Grundniveau 2 und 3 aufweisen.

Verschiedene Beobachter legen unterschiedliche Laborwellenlängen fest. Zieht man die Tabellen NIST²⁹ zu Rate, erkennt man das Problem. In Übereinkunft mit Herrn Pollmann, der die Messergebnisse des Langzeit Monitorings u.a. von VV Cep sammelt, setzen wir für diese Messungen hier die H α -Ruhewellenlänge zu 6562.852Å fest.

physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl

Lines: [Kramida 2010](#)

Transition Probabilities: [Wiese and Fuhr 2009](#)

The lines corresponding to transitions associated with the levels designated only by the principal quantum numbers (e.g., 2-3 or 1s-2) correspond to observations in which the fine structure of transitions is completely unresolved. Their observed and calculated (Ritz) wavelengths, given here, are pertinent to observations of the solar corona. The observed intensity values of these lines, given in arbitrary units, are pertinent to the same type of observations. Intensity values given in parentheses are extrapolated values. Relative intensities of lines in laboratory light sources differ from those in the solar corona by several orders of magnitude and strongly depend on experimental conditions. Wavelengths of centers of gravity and various blended groups of fine-structure components of the Balmer series lines, derived assuming Boltzmann populations in an optically thin medium, are given without level classifications. Their identities and uncertainties are explained in the "Line Ref." column.

Observed Wavelength Air (Å)	Ritz Wavelength Air (Å)	Rel. Int. (%)	A_{ki} (s ⁻¹)	Acc.	E_i (cm ⁻¹)	E_k (cm ⁻¹)	Lower Level Conf., Term, J	Upper Level Conf., Term, J
6 562.709699	6 562.709702		5.3877e+07	AAA	82 258.9191133	- 97 492.319433	2p 2P° 1/2	3d 2D 3/2
	6 562.714							
	6 562.722							
6 562.724827	6 562.724827		2.2448e+07	AAA	82 258.9543992821	- 97 492.319611	2s 2S 1/2	3p 2P° 3/2
	6 562.751807		2.1046e+06	AAA	82 258.9191133	- 97 492.221701	2p 2P° 1/2	3s 2S 1/2
	6 562.767009				82 258.9543992821	- 97 492.221701	2s 2S 1/2	3s 2S 1/2
	6 562.770							
6 562.771534	6 562.771533		2.2449e+07	AAA	82 258.9543992821	- 97 492.211200	2s 2S 1/2	3p 2P° 1/2
6 562.79	6 562.819	500000	4.4101e+07	AAA	82 259.158	- 97 492.304	2	3
	6 562.795							
6 562.85175	6 562.851769		6.4651e+07	AAA	82 259.2850014	- 97 492.355566	2p 2P° 3/2	3d 2D 5/2
	6 562.8533							
	6 562.854							
	6 562.867336		1.0775e+07	AAA	82 259.2850014	- 97 492.319433	2p 2P° 3/2	3d 2D 3/2
	6 562.909442		4.2097e+06	AAA	82 259.2850014	- 97 492.221701	2p 2P° 3/2	3s 2S 1/2

Abb. 82: Linienstärken der Feinstrukturkomponenten der H α -Linie

Interessanterweise liegt die Mittenwellenlänge bei hochaufgelösten Sonnenspektren bei 6562.812Å. Roland Bücke legt 6562.817Å zugrunde.

Ruhewellenlänge	HRV
6562.812Å	-10.6 km/s
6562.852	-12.5 km/s

²⁹ http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

3.7.10 Internationale Kampagne: Langzeit-Monitoring an der H α -Linie von VV Cephei

Ernst Pollmann³⁰ koordiniert ein Langzeit-Monitoring, zu dem man mit eigenen Ergebnissen beitragen kann³¹.

COMMISSIONS 27 AND 42 OF THE IAU
INFORMATION BULLETIN ON VARIABLE STARS
Number 6156

Konkoly Observatory
Budapest
11 January 2016
HU ISSN 1587 - 2440 (on-line)

The Long-term Binary System VV Cep

Pollmann, E.¹; Bennett, P. D.²; Hopkins, J. L.³

(1) International Working Group ASPA, Emil-Nolde-Str. 12, 51375 Leverkusen, Germany,
e-mail: ernestospec @ hotmail . de

(2) Department of Astronomy & Physics, Saint Mary's University, Halifax, NS B3H 3C3,
e-mail: pbennett @ ap . smu . ca

(3) 7812 West Clayton Drive, Phoenix, Arizona USA, e-mail: phjeff @ hposoft . com

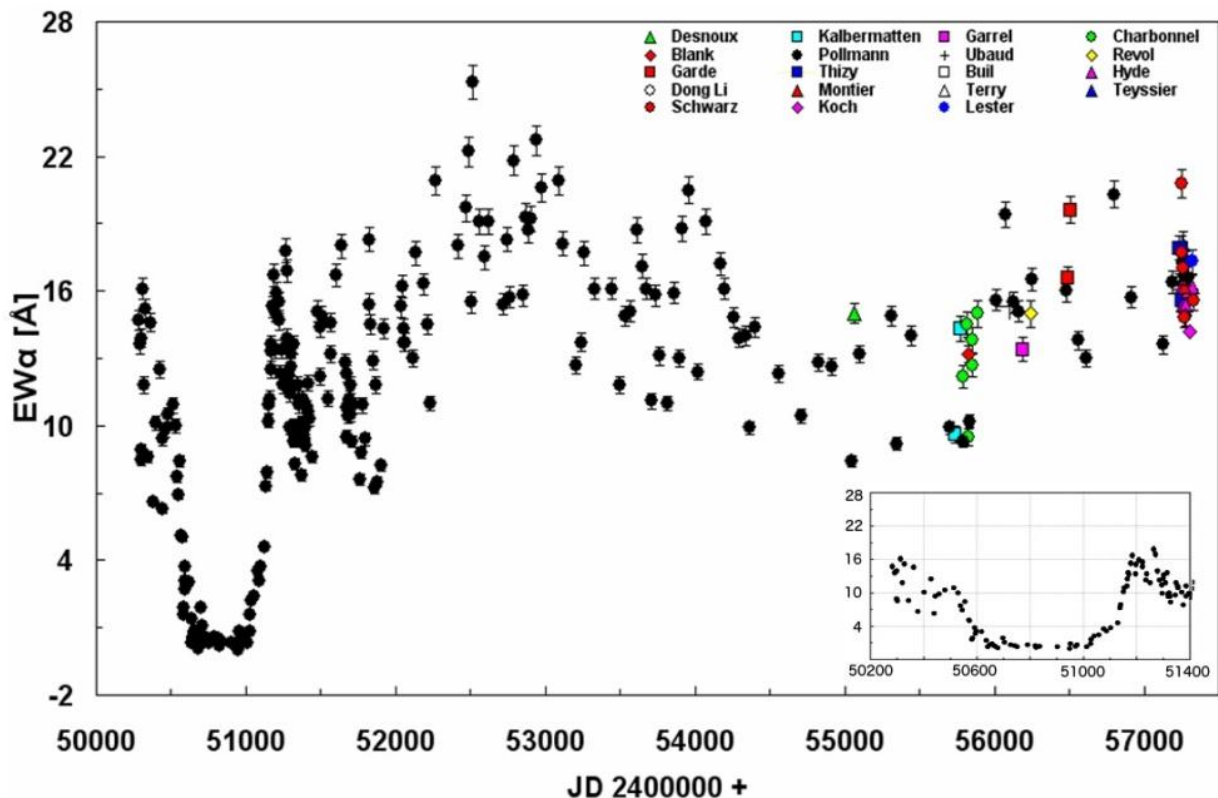


Abb. 83: Zeitliche Entwicklung der Äquivalentbreite (EW) der H α -Linie

³⁰ <http://www.astrospectroscopy.de/>

³¹ <http://ibvs.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?6156>

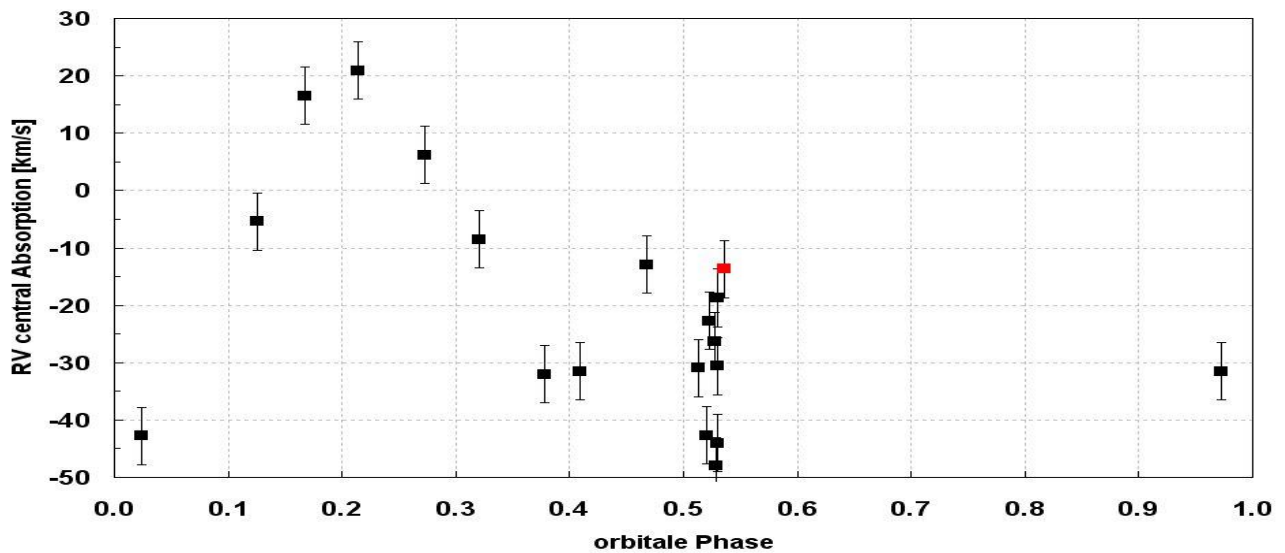


Abb. 84: Heliozentrische Radialgeschwindigkeit (HRV) der Absorptionseinsenkung bei $H\alpha$

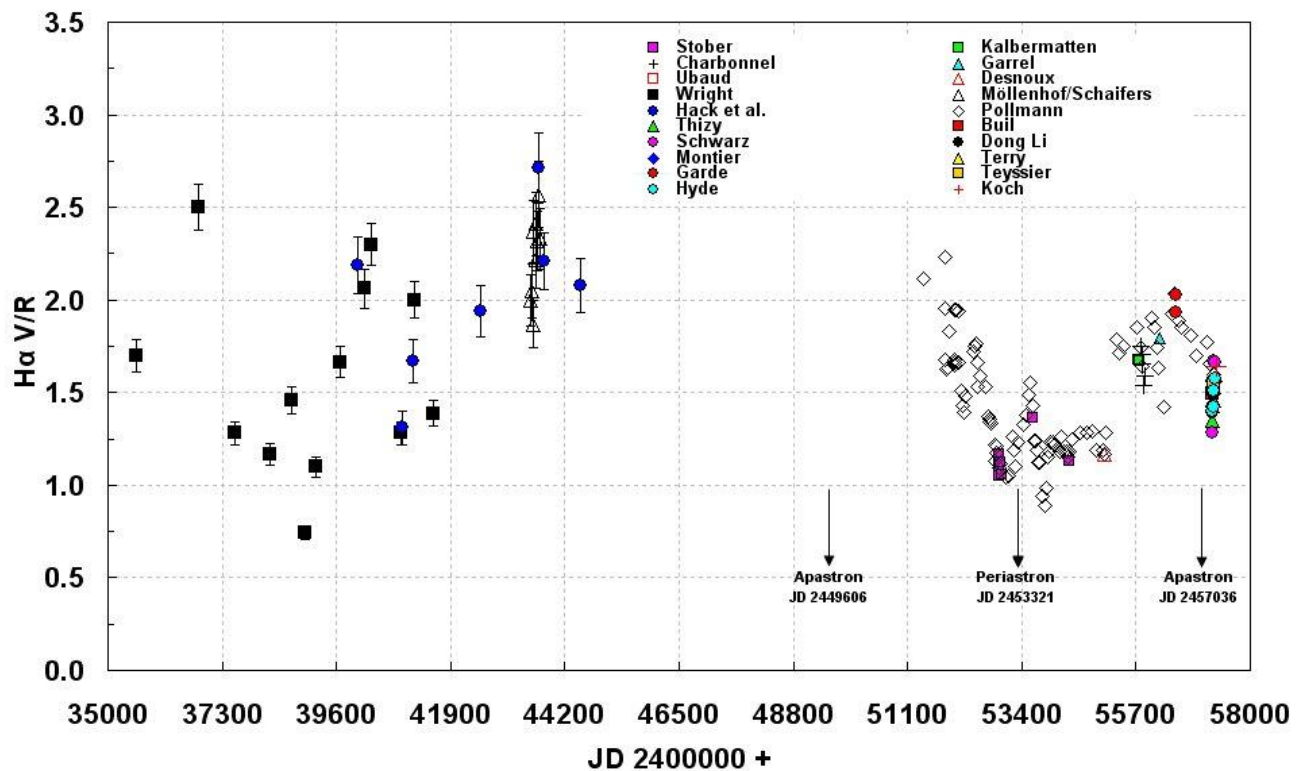


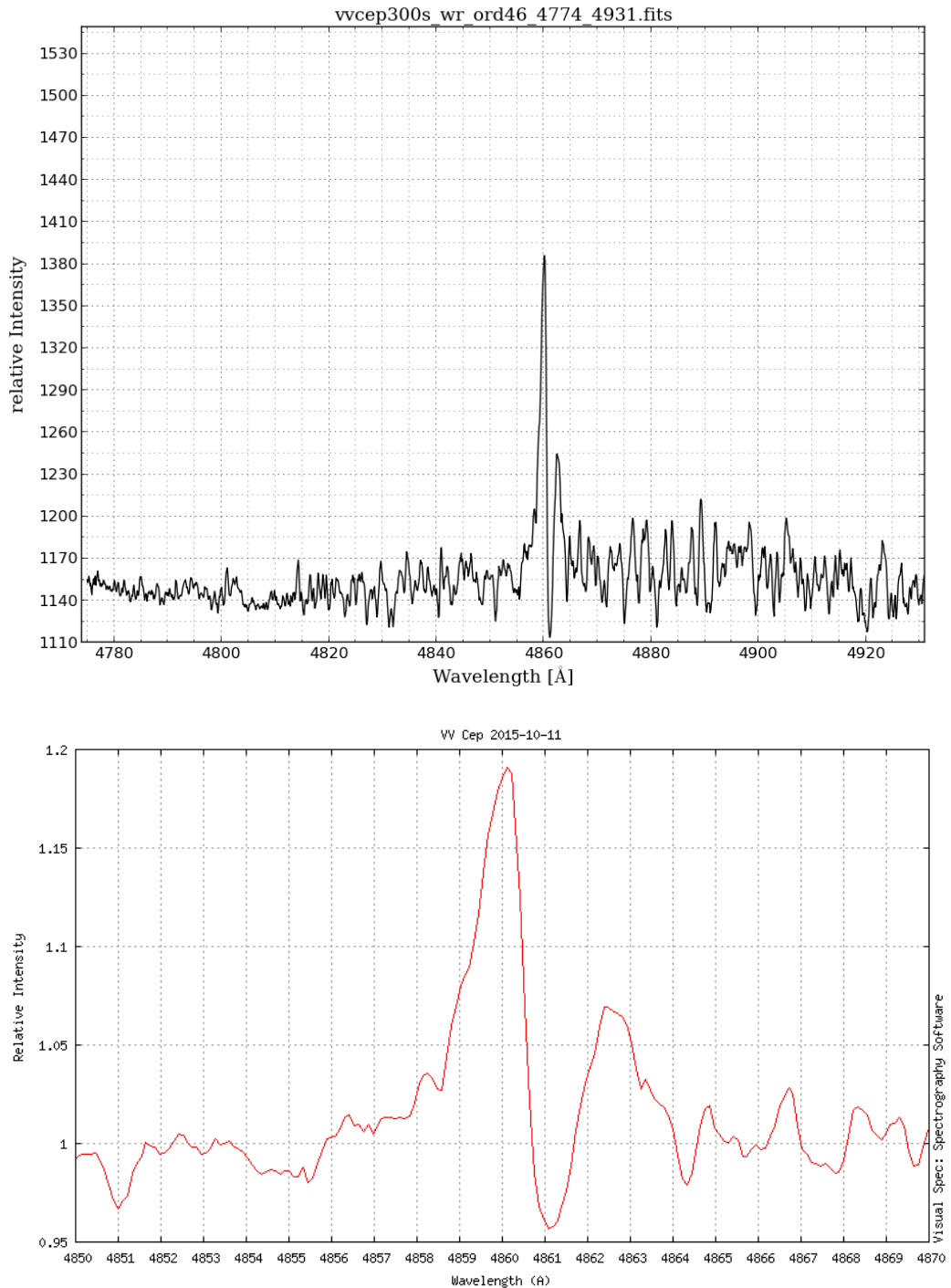
Abb. 85: Das V/R-Verhältnis bei $H\alpha$

3.7.11 Darstellung des Linienprofils der H β -Linie

Weiteres Beispiel: Ausgabe der Ordnung 46 (H β)

```
Midas > CREA/GRA 1 1000,800  
Midas > PLOT/AXES 4775,4931 1100,1400 1 "Wavelength (A)" "rel. Intensity"  
Midas > OVERPLOT vvcep300s_wr_ord46_4774_4931.fits
```

Alternativ öffnet man im Ordner /plots die Datei **vvcep300s_wr_ord46_4774_4931.png** (Vorschau) oder **vvcep300s_wr_ord46_4774_4931.pdf** (hochaufgelöst)



4 Das Urheberrecht

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt und nur zur Verwendung durch den berechtigten Empfänger gedacht. Baader Planetarium GmbH behält sich alle Rechte an diesem Dokument vor. Alle in diesem Dokument enthaltenen Informationen unterliegen dem Copyright der Firma Baader Planetarium.

Außer für kurze Zitate in Kritiken oder für Besprechungen darf kein Teil dieser Anleitung in irgendeiner Weise und ohne schriftliche Genehmigung durch die Firma Baader Planetarium GmbH reproduziert werden, weder in Teilen noch als Ganzes.

Jegliche Vervielfältigung oder Kopie dieses Dokuments oder Teilen davon und jegliche Veröffentlichung im Internet oder Intranet zur Information Dritter ohne die ausdrückliche Genehmigung durch Baader Planetarium GmbH, stellt eine Verletzung des internationalen Urheberrechts dar.

Jede Weitergabe an Mitbewerber oder andere Dritte verletzt das Urheberrecht.

Zu widerhandlungen werden strafrechtlich verfolgt.

Baader Planetarium GmbH, 2016.

BAADER BACHES ECHELLE-SPEKTROGRAF

**BACHES Spektrograf
mit empfohlener
RCU-Unit**



www.baader-planetarium.de



BAADER PLANETARIUM GMBH

Zur Sternwarte • D-82291 Mammendorf • Tel. +49 (0) 81 45 / 8089-0 • Fax +49 (0) 81 45 / 8089-105
Baader-Planetarium.de • kontakt@baader-planetarium.de • Celestron-Deutschland.de