

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS



**A New Level of
SCIENTIFIC SPECTROSCOPY
with small Telescopes**

www.baader-planetarium.de/baches

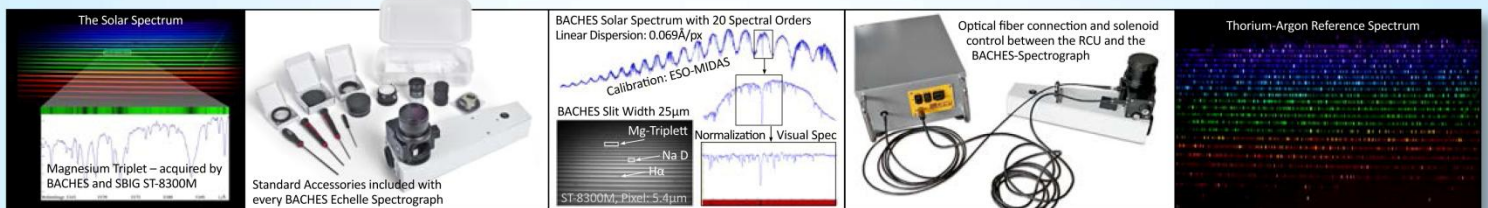
BACHES Echelle-Spectrograph | # 2458600

SBIG und SKYRIS
Cameras not
included

**BACHES Average
Spectral
Resolution**

**RCU - Remote Calibration Unit
(optional accessory | # 2458605)**

RCU Rear Panel with Ethernet and RS-232 connection



The Solar Spectrum

Magnesium Triplet – acquired by BACHES and SBIG ST-8300M

Standard Accessories included with every BACHES Echelle Spectrograph

BACHES Solar Spectrum with 20 Spectral Orders
Linear Dispersion: 0.069Å/px
Calibration: ESO-MIDAS
BACHES Slit Width 25µm
Mg-Triplett
Na D
Hα
ST-8300M, Pixel: 5.4µm

Optical fiber connection and solenoid control between the RCU and the BACHES-Spectrograph

Thorium-Argon Reference Spectrum

**BAADER
BACHES
ECHELLE-SPECTROGRAPH**

High Resolution Echelle Spectrograph with
Autoguiding Port and Remote Calibration Port



**SPECTROGRAPH
RCU
REMOTE CALIBRATION UNIT**

Accurate and Professional Calibration of
BACHES Echelle-Spectra

**baader
planetarium**

BAADER PLANETARIUM G M B H

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

April 2015 – Deutsche Version 2.1

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Die Aufnahmeanordnung	6
2.1	Aufnahme von Tageslicht- und Kalibrierspektren	6
2.2	Ausrichtung der Kamera am BACHES Echelle-Spektrografen	7
2.3	Fokussierung des Spektrums	8
2.4	Arbeitsabfolge für die Aufnahme von Tageslicht- und Kalibrierspektren OHNE Teleskop ...	10
2.5	Orientierung des BACHES Echelle-Spektrografen am Teleskop	11
2.6	Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe	12
2.7	Das Referenzspektrum der ThAr-Lampe	13
2.8	Das Tageslichtspektrum	14
3	Die virtuelle Linuxmaschine für Windows	15
3.1	Bereitstellung der Spektren im Windowsverzeichnis „Shared“	16
3.2	Spektren prüfen.....	18
4	Munich Image Data Analysis System (MIDAS)	19
4.1	MIDAS im Linuxfenster starten	19
4.2	Wie findet man den Ordner „sun1603“ mit den Spektren?.....	20
4.3	BACHES-Skripte laden.....	21
4.4	BACHES-Skripte lokalisieren und anpassen (editieren)	22
4.5	Anpassung des Skripts „baches_calib.prg“ an die CCD-Kamera	23
4.5.1	Threshold-Wert anpassen (Zeile 84)	24
4.5.2	Threshold-Wert ausgeben (Zeile 115)	25
4.5.3	Definition des Scan-Bereichs mit dem CURSOR aktivieren (Zeile 194)	26
4.6	Erkennung der Ordnungen und Wellenlängenkalibrierung des ThAr-Spektrums	27
4.7	Visualisierung des kalibrierten Thorium-Argon-Spektrums	38
4.8	Kalibrierung von Sternspektren.....	39
4.8.1	Erzeugung eines Masterflats	39
4.8.2	Kalibrierung des Sternspektrums mit dem Masterflat	40
4.8.3	Normierung des Sternspektrums	42
4.8.4	Visualisierung des Gesamtspektrums.....	45
4.8.5	Kalzium-Linien Ca II K (3933.66Å) und H (3968.47Å) im UV	46
4.8.6	Das Magnesium-Triplett (5167.33Å / 5172.68Å / 5183.61Å)	47
4.8.7	Natrium-Dublett (D2: 5889.950Å, D1: 5895.924Å)	48
4.8.8	H α -Linie (6562.852Å)	49

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

4.8.9	Fraunhofer B: Sauerstoffbanden der Erdatmosphäre.....	50
4.9	Rebinning.....	51
4.10	Signal-Rausch-Verhältnis.....	52
4.11	Export der fertigen Spektren und Tabellen öffnen	52
4.11.1	Export im Fits-Format.....	52
4.11.2	Export im Postscript-Format	52
4.11.3	Tabellen öffnen.....	52
5	Kalibrierung eines Tageslichtspektrums der ST-8300M CCD-Kamera.....	53
5.1	Technische Daten der ST-8300M	53
5.2	Der Tageslicht-Datensatz der ST-8300M.....	54
5.2.1	Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe.....	55
5.2.2	Das ThAr-Referenzspektrum	55
5.2.3	Das Tageslichtspektrum	56
5.2.4	Threshold-Wert	57
5.2.5	Erkennung der Ordnungen und Wellenlängenkalibrierung des ThAr-Spektrums	57
5.2.6	Erzeugung eines Masterflats	63
5.2.7	Kalibrierung des Sonnenspektrums mit dem Masterflat	64
5.2.8	Normierung des Sonnenspektrums.....	65
5.2.9	„Trocknung“ des Sonnenspektrums bei H α	67
5.2.10	Kalzium-Linien Ca II K (3933.66Å) und H (3968.47Å) im UV	68
5.2.11	Das Magnesium-Triplett (5167.33Å / 5172.68Å / 5183.61Å).....	70
5.2.12	Natrium-Dublett (D2: 5889.950Å / D1: 5895.924Å).....	71
5.2.13	H α -Linie (6562.852Å)	72
6	Bibliografie.....	73
7	Das Urheberrecht	74

1 Einleitung

Der BACHES Echelle-Spektrograf ist ein professionelles Werkzeug zur präzisen Untersuchung von Spektren. Im Unterschied zu herkömmlichen Gitterspektrografen wird das gesamte Spektrum abhängig von der Sensorgröße von ca. 392nm bis 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.

Die Aufnahme eines Sternspektrums ist mit dem BACHES Echelle-Spektrografen zudem wesentlich einfacher als mit einem herkömmlichen Gitterspektrografen. Hinzu kommt die Einspiegelung eines ThAr-Referenzspektrums und eines Flatfieldspektrums per Glasfaserkabel.

Erste Schritte in der Kalibrierung von Sternspektren werden Sie vermutlich bereits von einem Gitterspektrografen kennen. Echelle-Spektren können in derselben Weise abschnittsweise kalibriert werden. Das besondere Merkmal der vorliegenden MIDAS-Skripte ist, dass eine vorzugebende Anzahl von spektralen Ordnungen automatisch erkannt und kalibriert aneinandergesetzt werden kann.

Carlos Guirao, einer der Konstrukteure des BACHES Echelle-Spektrografen und Verfasser der MIDAS-Skripte, hat hierzu ein informatives Video-Tutorial zur Kalibrierung der Spektren verfasst. Wir empfehlen, sich dieses Video zuerst anzusehen und erst dann in die Kalibrierung einzusteigen.

[http://www.baader-planetarium.de/baches/kalibrierung/BACHES Tutorial Carlos Guirao geschnitten/baches_midas_data_reduction.htm](http://www.baader-planetarium.de/baches/kalibrierung/BACHES_Tutorial_Carlos_Guirao_geschnitten/baches_midas_data_reduction.htm)

Die folgenden Ausführungen werden anhand eigener Datensätze vollzogen. Es handelt sich um Tageslichtspektren (Sonnenspektren), welche auf einfache Weise ohne Teleskop „auf dem Schreibtisch“ gewonnen wurden und dazu dienen, sich mit dem BACHES, seinen Spektren und deren Kalibrierung vertraut zu machen.

Von Anfang an sollten Sie darauf achten, dass die Spektren in der richtigen Weise orientiert aufgenommen werden. Die MIDAS-Skripte können die Spektren sonst nicht auswerten. Die im Folgenden verwendeten Spektren wurden mit MaxIm DL¹ in Form monochromer 16-Bit Fits-Bilder gewonnen. Ein Dunkelbild wurde jeweils als „Autodark“ subtrahiert, das mit der RCU aufgenommene Flatfield wird im Verlauf des Kalibrierungsprozesses verwendet. Es wurde darauf geachtet, die CCD-Kamera mit Hilfe des ThAr-Spektrums möglichst genau auszurichten und zu fokussieren.

Hinweis: Diese MIDAS-Skripte liegen im ASCII-Format vor und müssen den Beobachtungs-erfordernissen angepasst werden. Dazu mehr im Verlauf dieser Anleitung. Es empfiehlt sich, vor einer Veränderung eine Sicherung dieser Skripte anzulegen. Abb. 20 gibt Auskunft über den Ort der Skripte. Hilfreich für das Verständnis des Ablaufs der Kalibrierung ist es auch, einen Ausdruck der Skripte immer zur Hand zu haben.

¹ www.cyanogen.com

2 Die Aufnahmeanordnung

2.1 Aufnahme von Tageslicht- und Kalibrierspektren

Das Kennenlernen des BACHES und die Aufnahme erster Tageslichtspektren sollten im Zimmer mit Tageslicht, aber ganz ohne Teleskop erfolgen. Legen Sie den BACHES auf eine freie Arbeitsfläche und nehmen Sie die Anschlüsse für die motorische Steuerung und die Einspiegelung der Referenzlichtquelle per Glasfaserkabel vor. Schließen Sie nun Ihre CCD-Kamera an (Abb. 1) und nehmen Sie diese in Betrieb. Die Einspiegelung der Referenzlichtquelle erfolgt in diesem Fall manuell an der RCU.

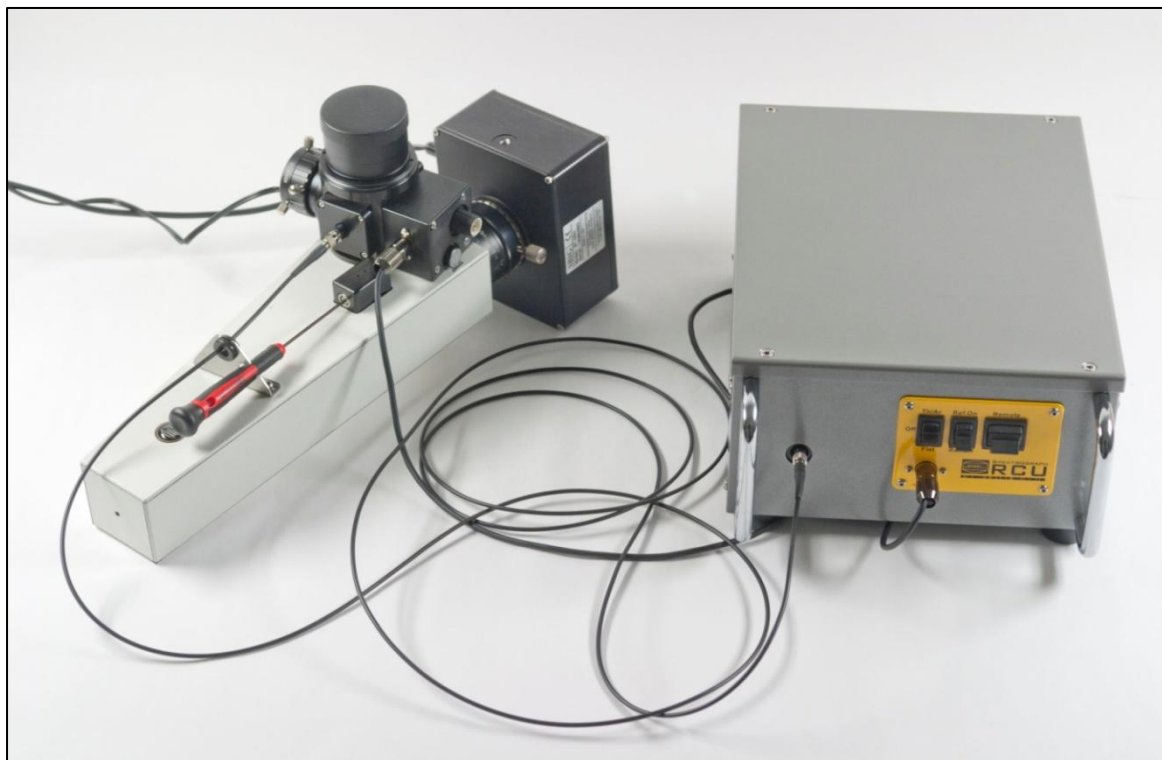


Abb. 1: Die SBIG ST-1603ME mit BACHES und Remote Calibration Unit RCU

Der BACHES Echelle-Spektrograf ist für eine CCD-Pixelgröße von $9\mu\text{m}$ optimiert worden. Sehr gut geeignet 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%

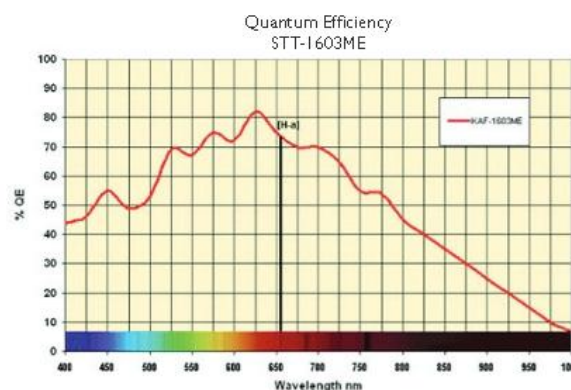


Abb. 2: Technische Daten und Quanteneffizienz des KAF-1603ME

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

2.2 Ausrichtung der Kamera am BACHES Echelle-Spektrografen

Damit die Spektren später von MIDAS³ 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. 8 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.

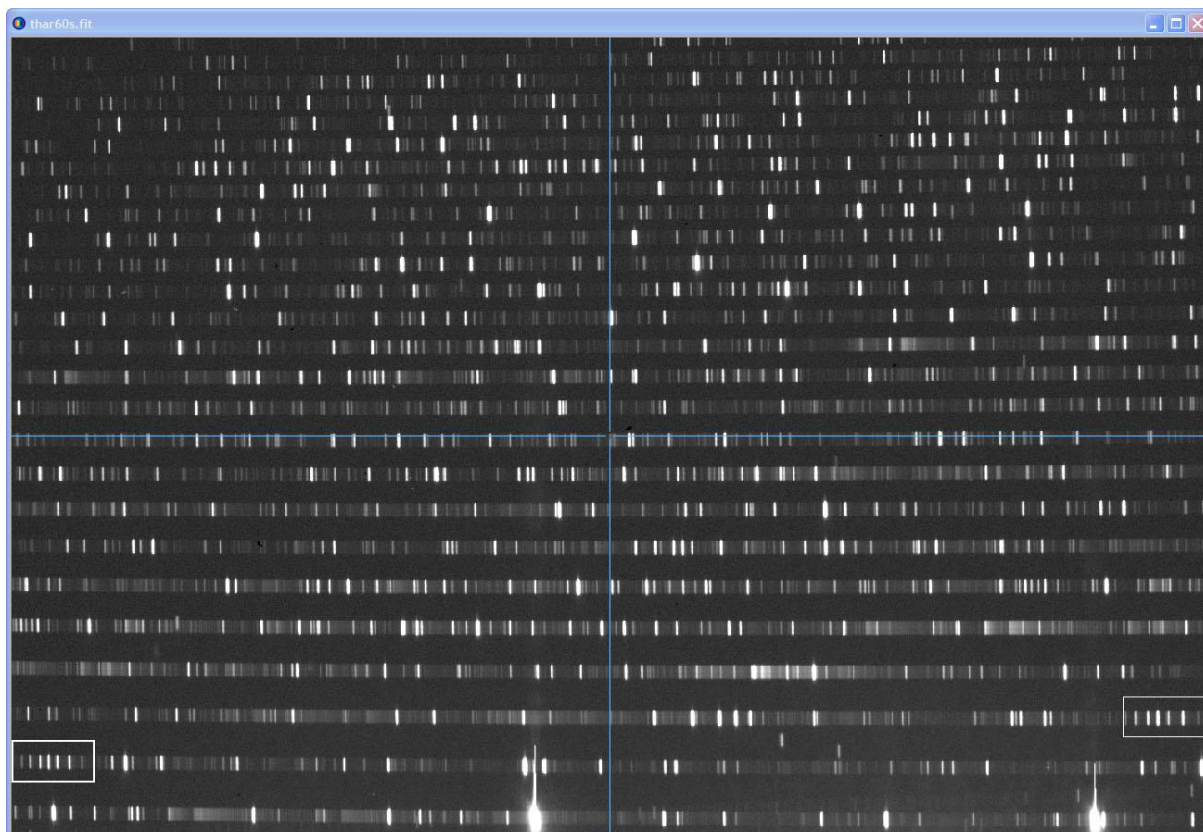


Abb. 3: 25 Ordnungen passen in das Feld der ST-1603ME-Kamera. Das ThAr-Spektrum wurde 60s belichtet. Oben links: Ultraviolett, ca. 392nm, unten rechts: Infrarot ca. 710nm

2. Die Einstellung des gewünschten Spektrenausschnitts gemäß Abb. 3 erfolgt mit Hilfe der Justierschrauben am BACHES. Mit der ST-1603-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. 3 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.

³ <https://www.eso.org/sci/software/esomidas/>

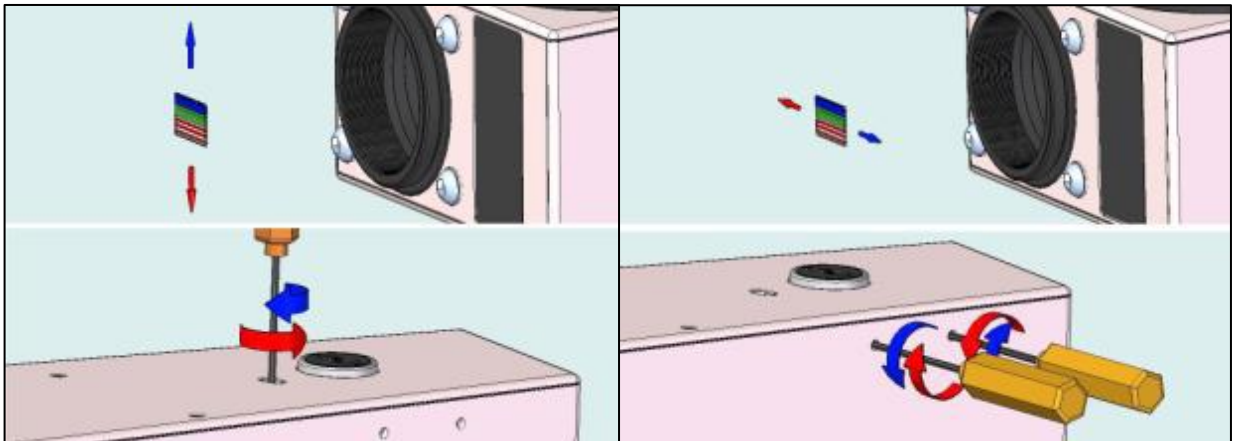


Abb. 4: Höhen- und Seitenverstellung des Spektrums

2.3 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. 5 ausgewählt.

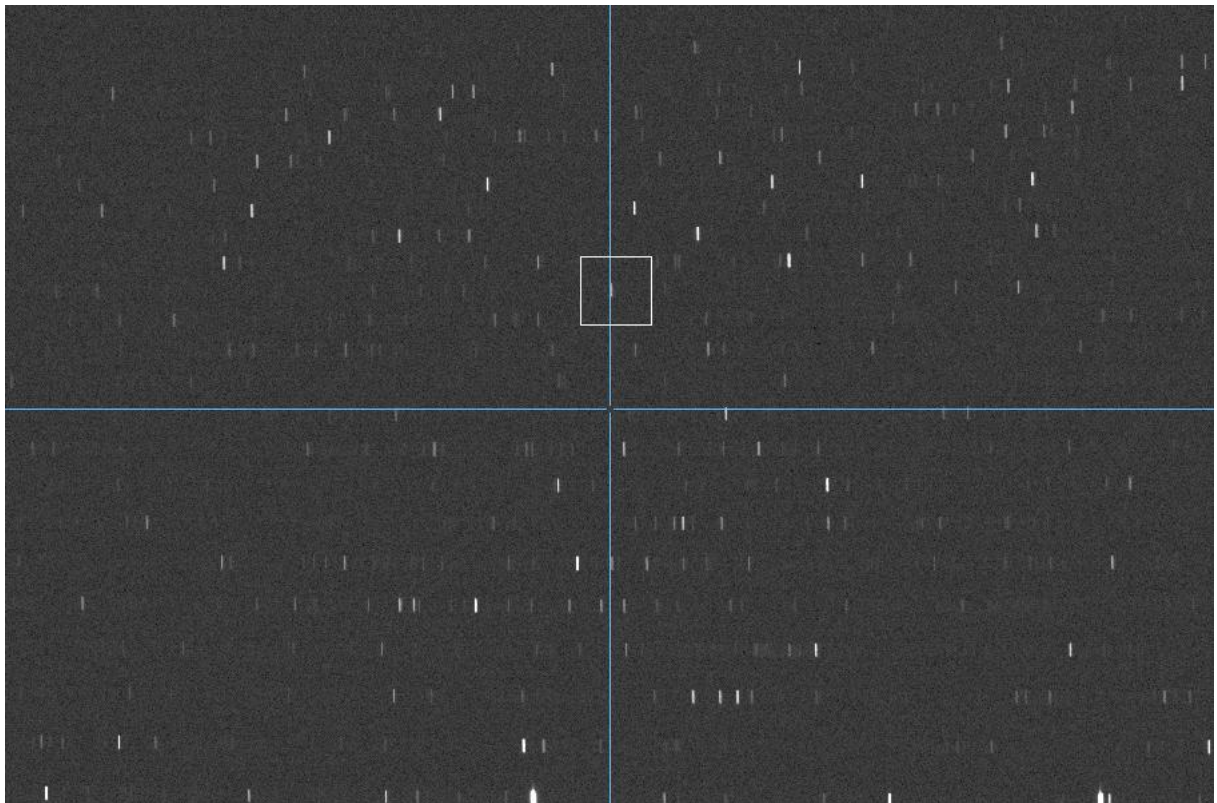


Abb. 5: Auswahl einer ThAr-Linie im grünen Spektralbereich zum Fokussieren

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

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Linie vornehmen zu lassen. Man fokussiert so lange, bis die Intensität am höchsten ist. Dies wird bei einer halben Breite von ca. drei 9 Mikron Pixeln erreicht (Abb. 6).

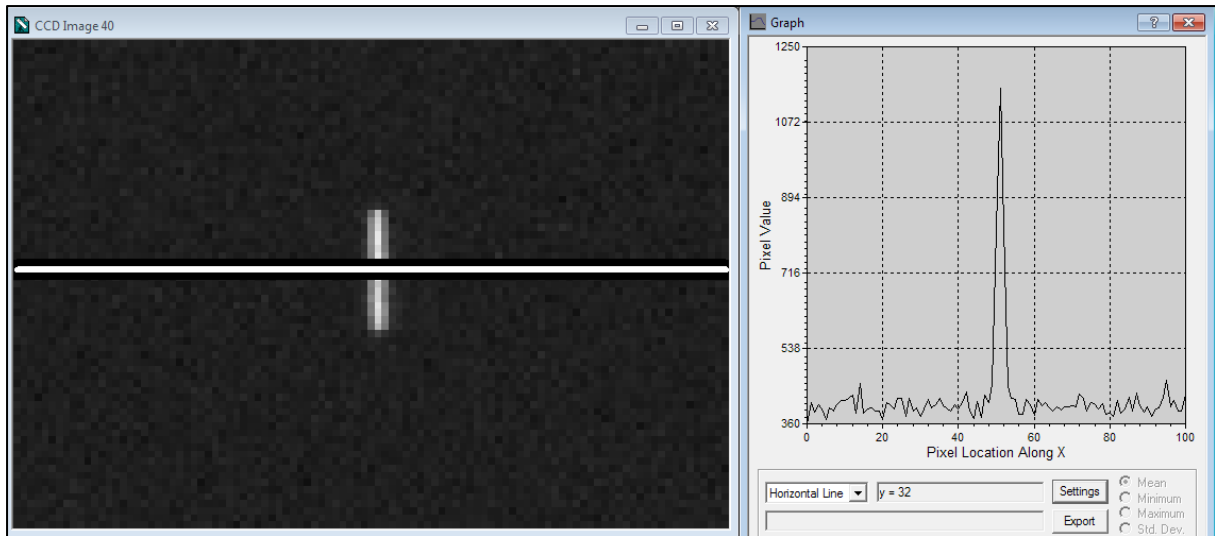


Abb. 6: Maximale Intensität bei ca. drei Pixeln zu je 9 Mikron Pixelbreite

Die Fokussierung erfolgt mit Hilfe eines passenden Inbusschlüssels (Abb. 7).

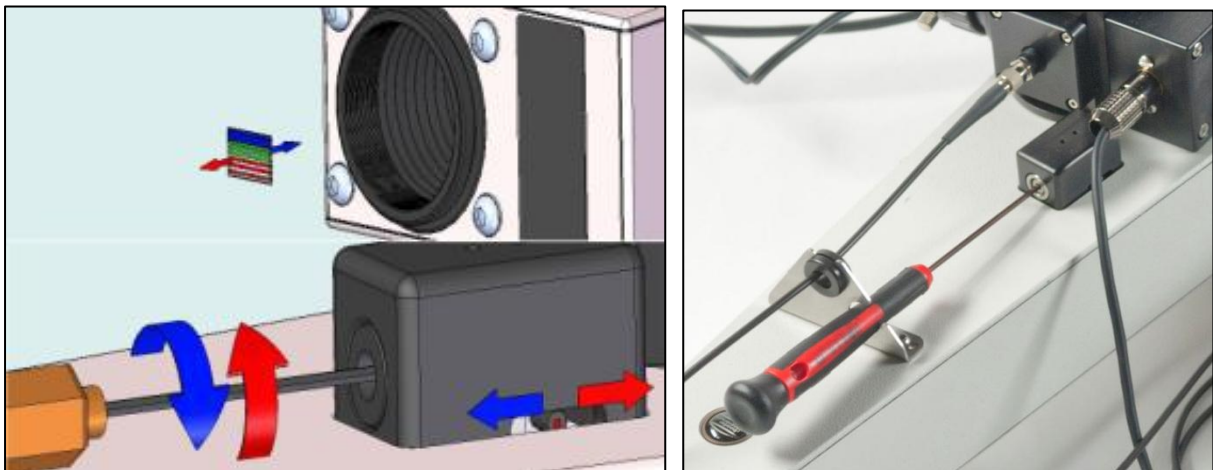


Abb. 7: Fokussierung des Spektrums

2.4 Arbeitsabfolge für die Aufnahme von Tageslicht- und Kalibrierspektren OHNE Teleskop

1. BACHES, RCU und Kamera an einem Platz nahe dem Fenster mit Blick auf den Tageshimmel in stabiler Lage aufbauen
2. BACHES nicht mehr anfassen (außer später Deckel abnehmen/aufsetzen)
3. Kamerasoftware starten. Kamerakühlung in Betrieb nehmen.
4. ThAr-Lampe anschalten und Einblenden
5. BACHES-Eingänge mit schwarzen Kappen verschließen
6. Mit wiederholten Kurzbelichtungen Kamera horizontal ausrichten (Abb. 3)
7. Mit wiederholten Kurzbelichtungen gewünschten ThAr-Spektrum-Ausschnitt einstellen
8. Mit wiederholten Kurzbelichtungen ThAr-Spektrum fokussieren (Abb. 6)
9. ThAr-Referenzspektrum aufnehmen. Belichtungszeiten ausprobieren. Es sollten nicht zu viele ThAr-Linien gesättigt sein. Guter Erfahrungswert mit ST-1603ME: 60s, Autodark abziehen lassen
10. Prüfen Sie, ob die ThAr-Linien im gewünschten Bereich scharf sind
11. Halogenlampe einschalten
12. Flatfield-Spektrum belichten. Mit Hilfe einer vertikalen Intensitätsanalyse (bsp. in MaxIM DL) bis unterhalb der Sättigungsgrenze belichten. ST-1603ME: 150s, Autodark abziehen lassen
13. Halogenlampe abschalten und ausblenden
14. Kappe am BACHES-Eingang abnehmen
15. Tageslichtspektrum belichten. Belichtungszeit ausprobieren; die hängt von der Helligkeit des Himmels (klar, bewölkt, verdeckt durch Bäume, etc.) ab. Bis unterhalb der Sättigungsgrenze belichten, jeweils Autodark abziehen lassen
16. Prüfen, ob das Tageslichtspektrum von den Ca II-Linien (oben links) bis zu den Wasserdampflinien (unten rechts) gleichmäßig scharf ist
17. Die erhaltenen Bilder im FITS-Format für MIDAS in den Ordner „Shared“ kopieren

Datensatz für die Kalibrierung in MIDAS, jeweils mit subtrahiertem Darkframe. Kamera: ST-1603ME

ff150s.fit: Flatfield, 150s belichtet

thar60s.fit: ThAr-Referenzspektrum, 60s belichtet

sun240s.fit: Tageslichtspektrum, 240s belichtet

Spaltbreite: 25 μm

2.5 Orientierung des BACHES Echelle-Spektrografen am Teleskop

Das Thema der Spektrengewinnung am Teleskop soll an dieser Stelle, da es um den Anschluss einer CCD-Kamera geht, nur ganz kurz angesprochen werden. In einem zukünftigen Tutorial gehe ich detaillierter darauf ein. Grundsätzlich gibt es keinen zwingenden Grund, den Spektrografen in einer bestimmten Orientierung an das Teleskop anzusetzen. Wegen der Teleskopnachführung in RA und ggf. DE empfiehlt es sich jedoch, den Spalt in einer der beiden Richtungen auszurichten. Auch ein gut eingenordetes Teleskop muss von Zeit zu Zeit in Deklination verstellt werden, und sei es nur zum Ausgleich der Refraktion. Viele Montierungen weisen ein Spiel in DE auf, welches eine punktgenaue Nachführung auf den Spalt in DE erschweren kann. Der zweite Grund dafür, den Spalt entlang der DE-Richtung auszurichten ist der, dass der BACHES bei Aufnahmen im Zenit an der Säule anstoßen könnte. Die CCD-Kamera, in diesem Beispiel die SBIG ST-8300M, wird so ausgerichtet sein, dass die Spitze des BACHES zum Boden zeigt. (Abb. 8).

Bemerkung zur Kamera: Der BACHES Echelle-Spektrograf ist für eine CCD-Pixelgröße von $9\mu\text{m}$ optimiert worden. Die ST-8300M in diesem Beispiel oversampled mit $5.4\mu\text{m}$ Pixelgröße und ist im 2×2 -Binning mit $10.8\mu\text{m}$ Pixelgröße nicht ganz optimal angepasst. Man erreicht eine höhere spektrale Auflösung im 1×1 -Binning, allerdings auf Kosten einer deutlich längeren Belichtungszeit bei gleichem SNR. Je nach Anwendungszweck wird man zwischen diesen beiden Binnings wählen, falls man keine $9\mu\text{m}$ -Kamera zur Hand hat. Für Flussmessungen (Äquivalentbreite EW^4) wählt man das 2×2 -Binning, für die Messung präziser Wellenlängenverschiebungen bei sehr hellen Sternen eher das 1×1 -Binning.

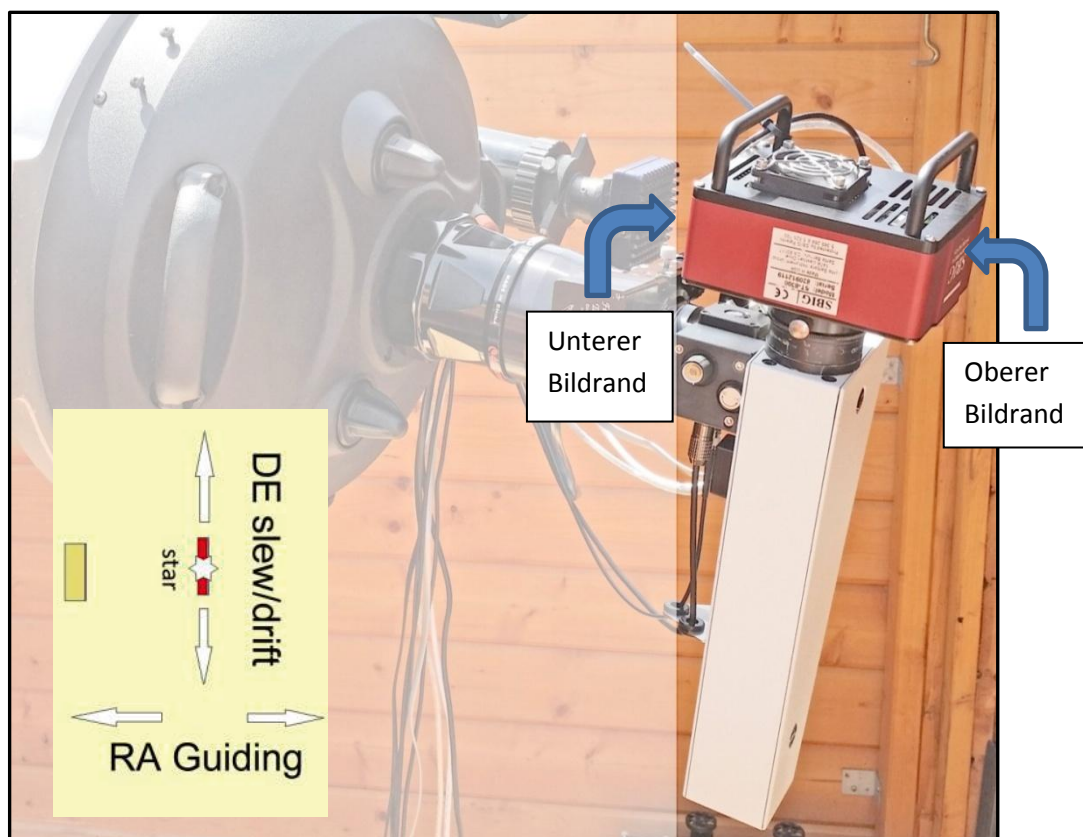


Abb. 8: Der BACHES Echelle-Spektrograf ist am C14 Edge HD in Nord-Südrichtung ausgerichtet. Die ST-8300M CCD-Kamera ist am BACHES so orientiert, dass deren Unterseite zum Teleskop zeigt

⁴ EW bedeutet „Equivalent width“. Die Äquivalentbreite EW ist ein Maß für den Strahlungsfluss in einer Linie

2.6 Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe

Das Flatfieldspektrum (**ff150s.fit**), welches mit der Halogenlampe aufgenommen wurde, leistet zweierlei: Erstens korrigiert es Einflüsse von Staub und Vignettierung. Zweitens ist es zwingend erforderlich für eine halbautomatische Wellenlängenkalibrierung mit MIDAS. MIDAS erkennt am Flatfieldspektrum die Lage der Ordnungen und überträgt die Lageinformation auf das ThAr-Referenzspektrum (Abb. 9, 10).

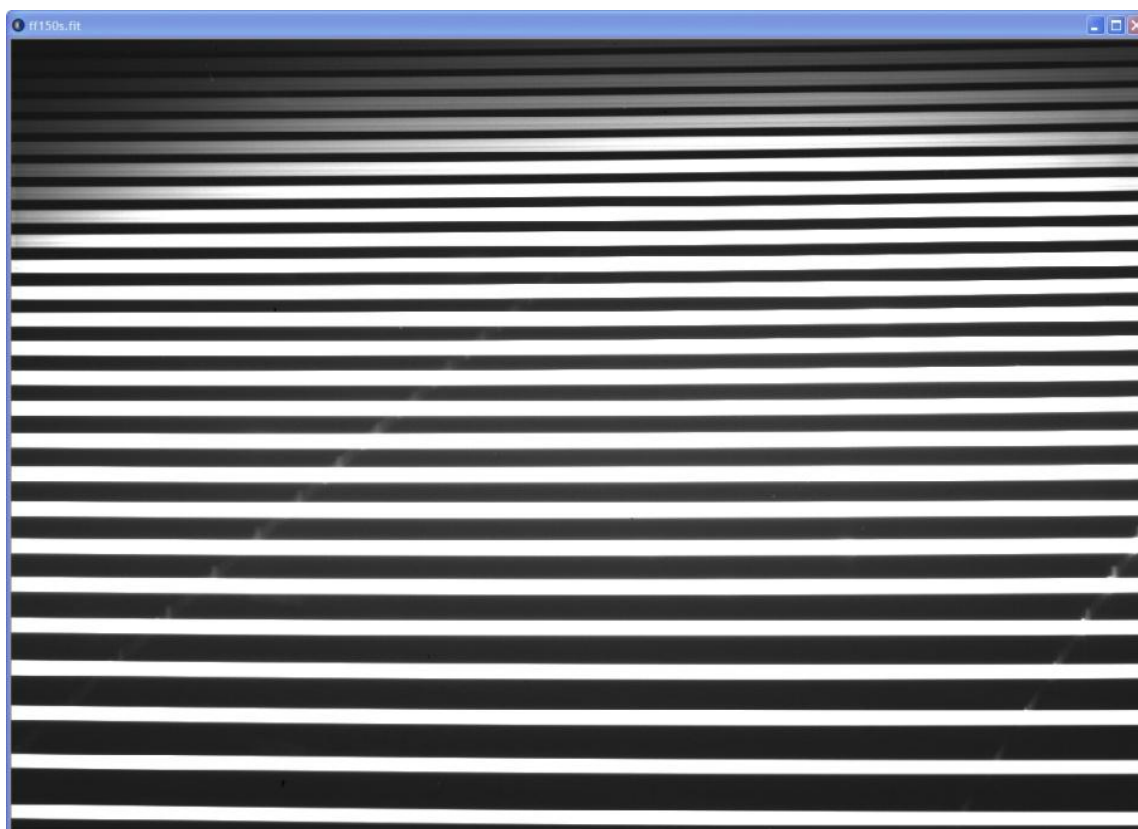


Abb. 9: Kontrastverstärkte Darstellung: Genau so müssen die 25 Ordnungen beim KAF-1603-Sensor liegen, damit diese von MIDAS alle erkannt werden

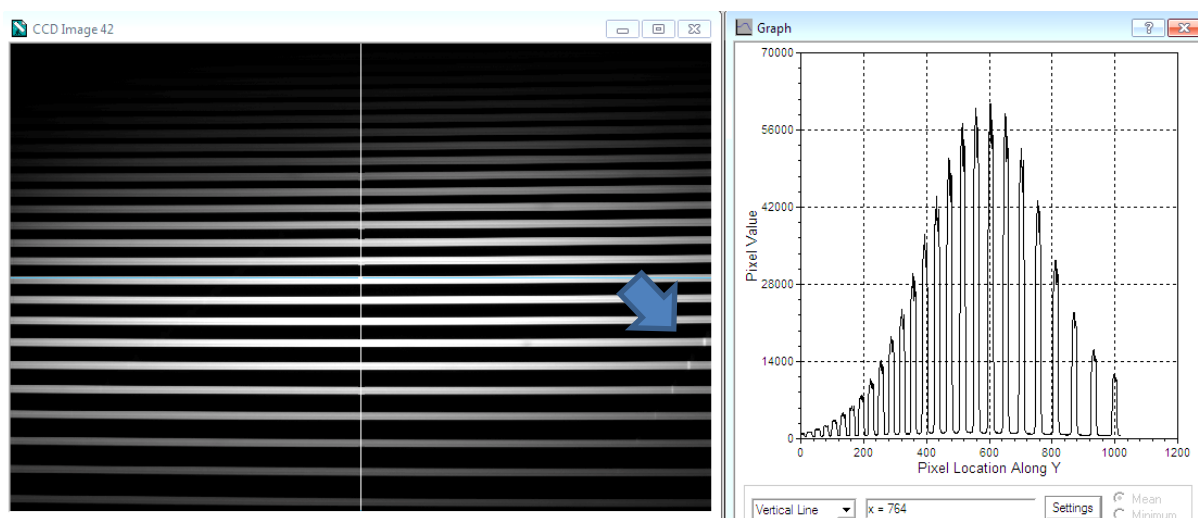


Abb. 10: Flatfield mit der Halogenlampe der RCU, 150s belichtet mit ST-1603ME. Vertikaler Intensitätsscan in der Bildmitte. Die Belichtung liegt deutlich unterhalb der Sättigungsgrenze. 25 Ordnungen sind abgebildet. Ein Staubfleck ist auf dem Fenster des Sensors vorhanden. Der blaue Pfeil weist auf eine Kaskade von Reflexen hin, die im Kalibrierungsprozess eliminiert werden

2.7 Das Referenzspektrum der ThAr-Lampe

Wichtig im Verlauf der Kalibrierung mit MIDAS ist, dass die Spektren in genau definierter Weise ausgerichtet sind, weil sonst nicht alle Ordnungen erkannt werden. Das erreicht man mit Hilfe der ThAr-Referenzlampe, hier ein 60s belichtetes ThAr-Spektrum⁵ (**thar60s.fit**) mit der ST-1603ME (Abb. 9). Es sollte von oben links (Blau) nach unten rechts (Rot) in dieser Weise ausgerichtet sein. Anhand der charakteristischen hellen Linien im Roten/Infraroten (unten) ist die korrekte Orientierung der Aufnahmekamera leicht möglich.

Sensoren ohne Anti-Blooming-Gate zeigen bei hellen ThAr-Linien im IR ein deutliches Blooming der Linien (Abb. 11). Das zu vermeiden würde bedeuten, sehr viel kürzere Belichtungszeiten in Kauf zu nehmen. Versuche habe gezeigt, dass das Blooming sich sowohl in der Zeile, in der die Linie steht, als auch in der Zeile darüber nicht negativ auf den Kalibrierungsprozess auswirkt. Sollten Sie dennoch einen Einfluss feststellen, so bitten wir um Zusendung eines diesbezüglichen Ergebnisses.

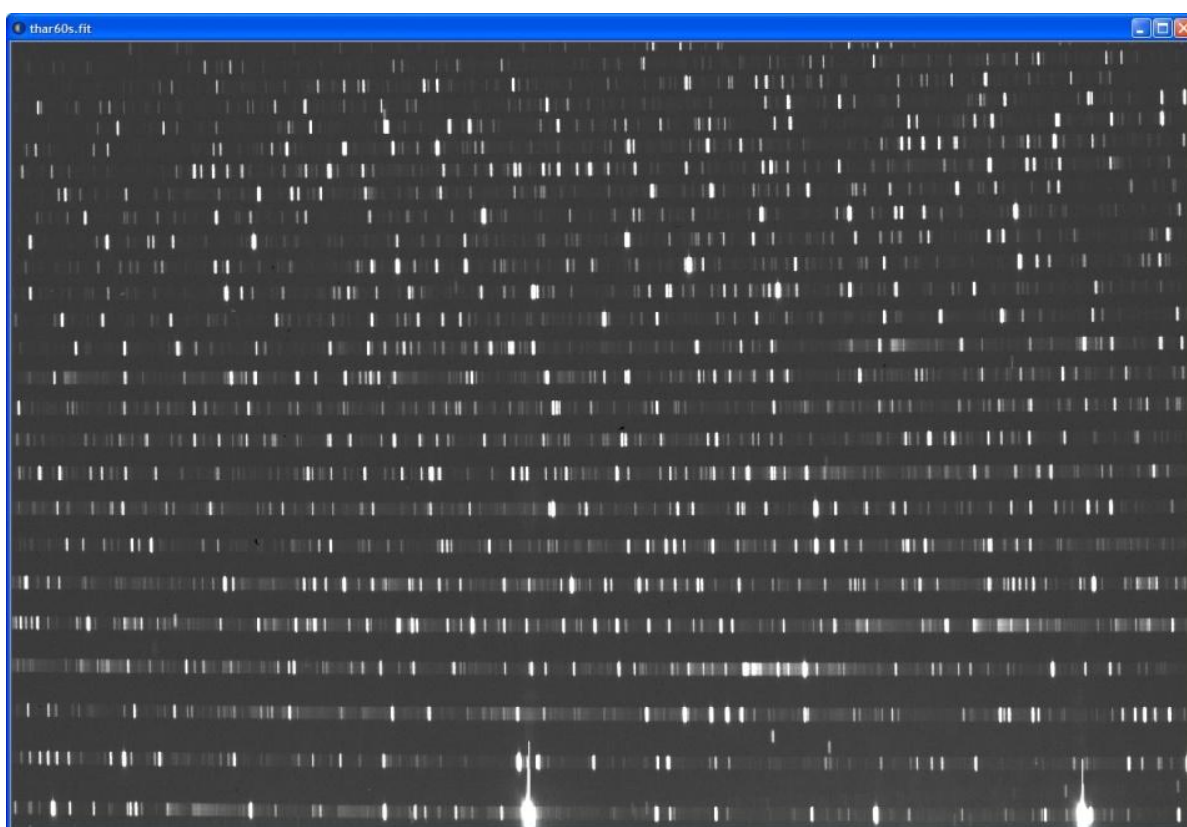


Abb. 11: ThAr-Referenzspektrum thar60s.fit, 60s belichtet mit ST-1603ME. Blau → Rot entspricht der Reihenfolge oben links → unten rechts. Das Blooming hat keine negativen Auswirkungen auf den Kalibrierungsprozess

⁵ http://spectroscopy.files.wordpress.com/2010/05/an_atlas_of_the_thorium-argon-spectrum-3900-9000.pdf

2.8 Das Tageslichtspektrum

Die Sonne ist als unser nächster Stern (Spektraltyp G2V) das ideale Startobjekt, um die Spektrenaufnahme und -kalibrierung zu erlernen. Die Aufnahme des Spektrums kann im Zimmer OHNE TELESKOP erfolgen, weil das Tageslicht als gestreutes Sonnenlicht das Spektrum eines G2V-Sterns aufweist. Richten Sie den BACHES also einfach gegen den Himmel und schalten Sie jegliche Zimmerbeleuchtung aus, welches das Tageslichtspektrum verfälschen könnte. Es spielt keine Rolle, ob es ein blauer Tageshimmel oder ein trüber, wolkenverhangener Tag ist.

Abb. 12 zeigt ein Spektrum der Sonne (**sun240s.fit**), dem die atmosphärischen Wasserdampf- und Sauerstoffabsorptionslinien (um und unter $H\alpha$) überlagert sind. $H\alpha$, das Natriumdublett Na D und das Magnesiumtriplett sind gut zu erkennen. Das Linienspektrum ist charakteristisch für einen G2V-Stern wie unsere Sonne. Das Spektrum beginnt im UV kurz vor der Ca II K-Linie und endet im IR unten rechts bei knapp $7100\text{\AA}$. Die Belichtungszeit des Spektrums wurde so gewählt, dass die Counts im Kontinuum des grünen Spektralbereichs bei maximal ca. 50000 ADU liegen. Überbelichtung und Sättigung müssen immer vermieden werden, um später eine korrekte radiometrische Korrektur vornehmen zu können. Da alle Sensoren im UV mehr oder weniger empfindlich sind, kann es sein, dass dort die Linien nicht oder nur sehr schwach abgebildet sind. Berücksichtigen Sie dies bei der Gesamtbelichtung des Spektrums, welches aus mehreren addierten Teilbelichtungen bestehen kann.

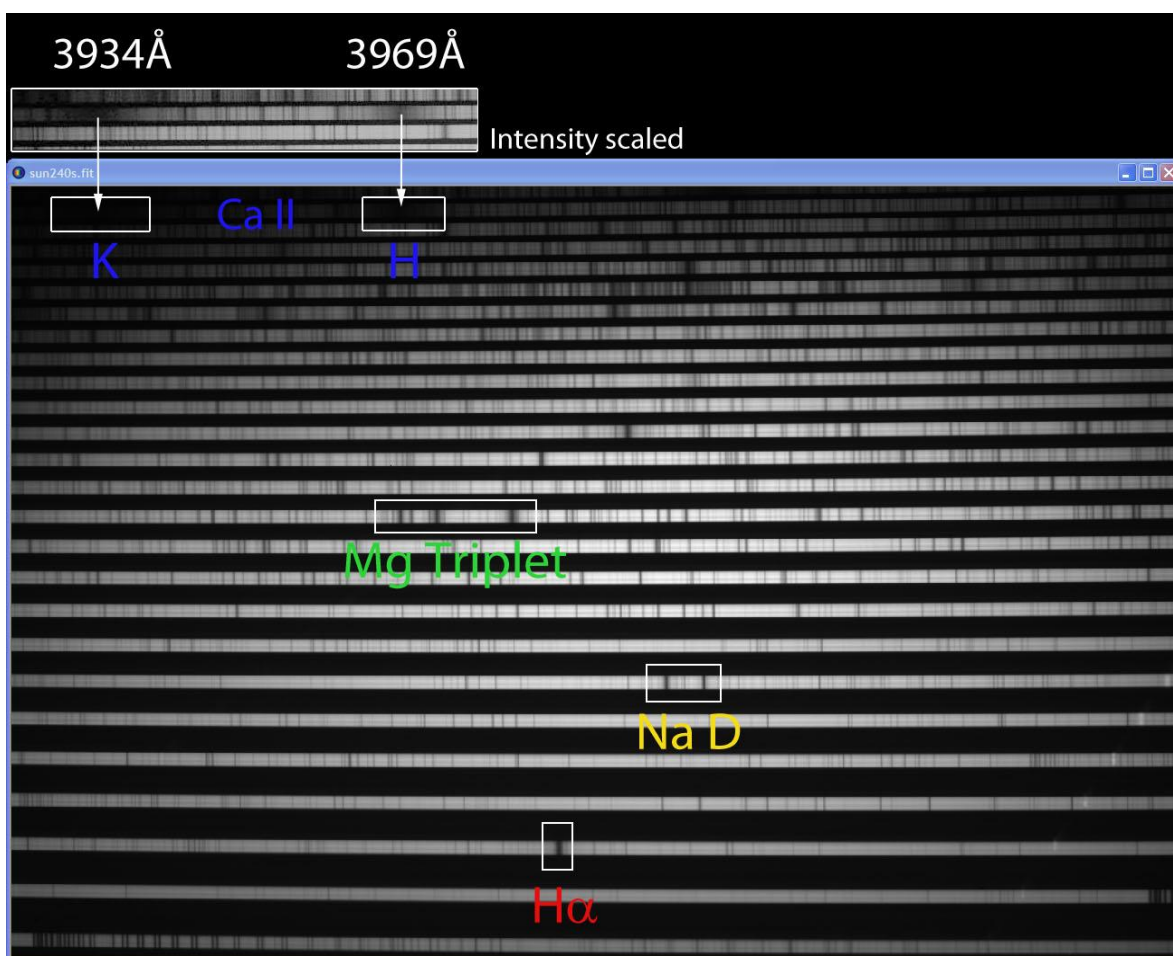


Abb. 12: Tageslichtspektrum sun240s.fit, 240s belichtet mit ST-1603ME. Spektraltyp G2V, Blau → Rot entspricht der Reihenfolge oben links → unten rechts. Die wichtigen Ca II-Linien H und K sind enthalten. Das Spektrum reicht von ca. $3925\text{\AA}$ bis ca. $7084\text{\AA}$

3 Die virtuelle Linuxmaschine für Windows

Die Kalibrierung von Echelle-Spektren erfolgt mit der Software MIDAS, die für Linuxsysteme⁶ erstellt wurde. Windowsanwender installieren eine virtuelle Linuxmaschine, die von Windows aus in einem eigenen Fenster gestartet wird.

Start der virtuellen Linuxmaschine für Windows: Falls Login-Daten verlangt werden, bitte eingeben:



Benutzer: user

Passwort 1235813

Linux wird in einem eigenen Fenster ausgeführt, so dass außerhalb dessen andere Windowsprogramme parallel laufen können.

Der Austausch von Daten zwischen beiden Systemen erfolgt über den Austauschordner **Shared**.

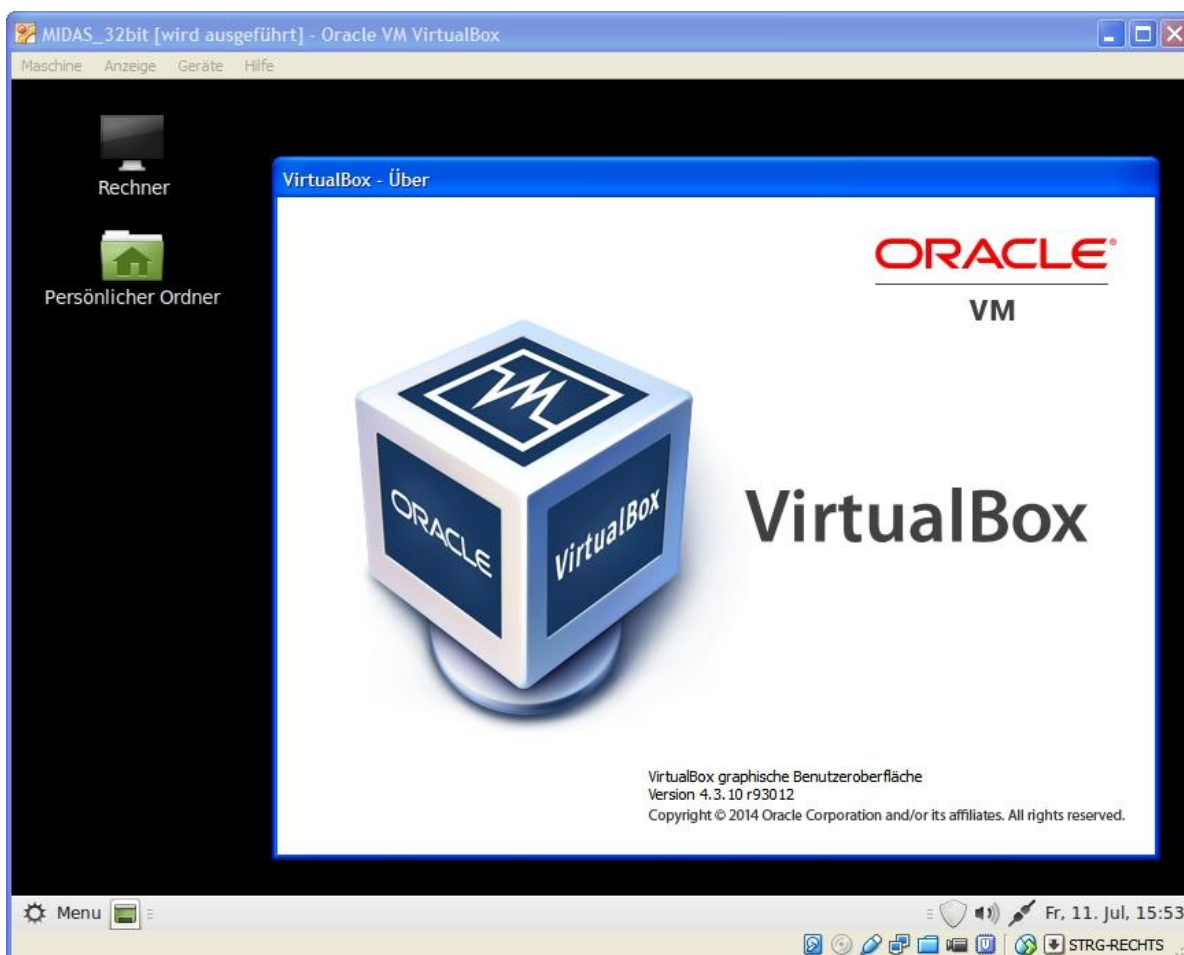


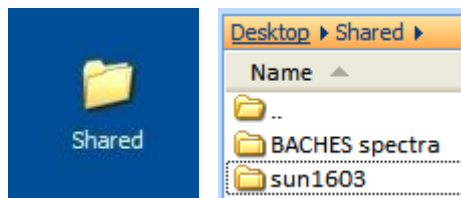
Abb. 13: Die VirtualBox wird als Windows-Fenster geöffnet

⁶ <http://ubuntuusers.de/>

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

3.1 Bereitstellung der Spektren im Windowsverzeichnis „Shared“

Der Austausch von Daten zwischen beiden Systemen, Linux und Windows, erfolgt über den Austauschordner **Shared**. Dieser muss exakt so bezeichnet werden, weil der Name in Linux voreingestellt ist.



Windows: Man legt nun in Windows einen Ordner **Shared** an. Im Ordner **Shared** sollten sich nun die Ordner mit den zu kalibrierenden Spektren befinden. Im Ordner **sun1603** befinden sich die Dateien **sun240s.fit** (Sonnenspektrum, aufgenommen mit der CCD-Kamera ST-1603ME, **thar60s.fit**

(Spektrum der ThAr-Referenzlampe) und **ff150s.fit** (Spektrum der Flatfieldlampe). Die Spektren in diesem Beispiel wurden kurz hintereinander aufgenommen, um theoretisch mögliche Verschiebungen zwischen den Aufnahmen auszuschließen.

Nun legt man in Linux den Pfad zum gemeinsamen Ordner **Shared** fest:
„Geräte“ -> „Gemeinsame Ordner“: „**Shared**“

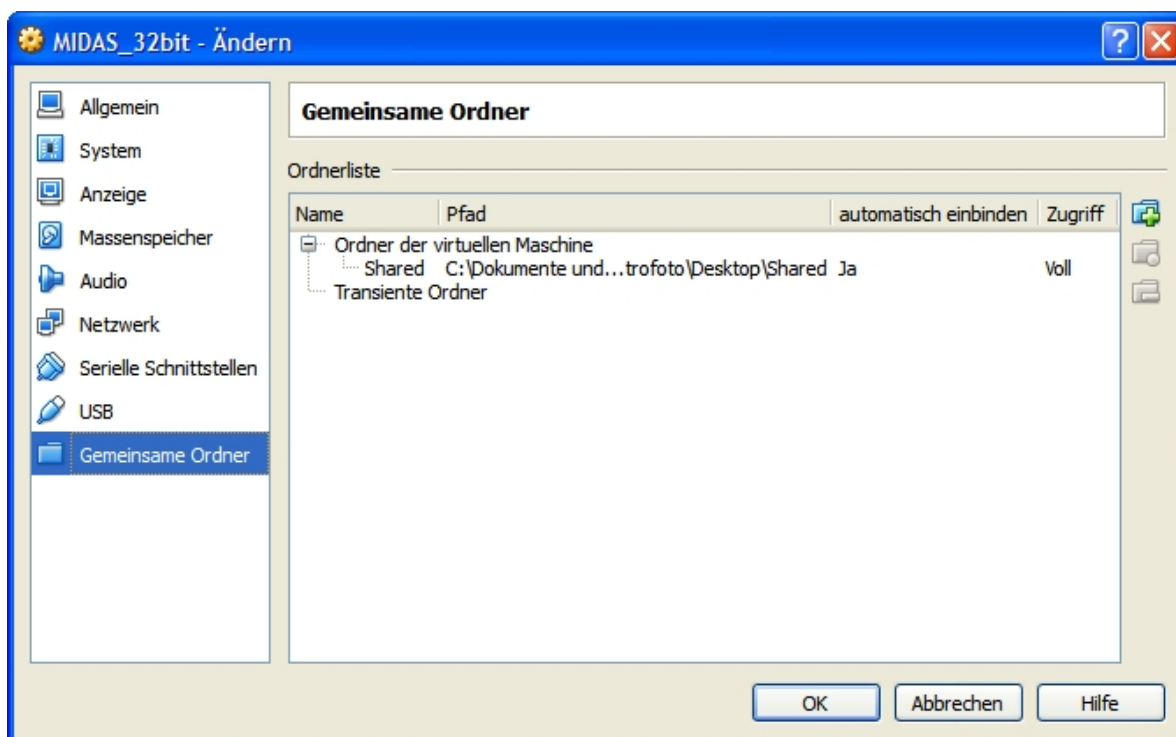


Abb. 14: Anlegen des Pfades für den Austauschordner „Shared“

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

In Linux: Klicken auf „Persönlicher Ordner“ -> „sf_Shared“. Der Ordner **sun1603** ist hier zu finden.

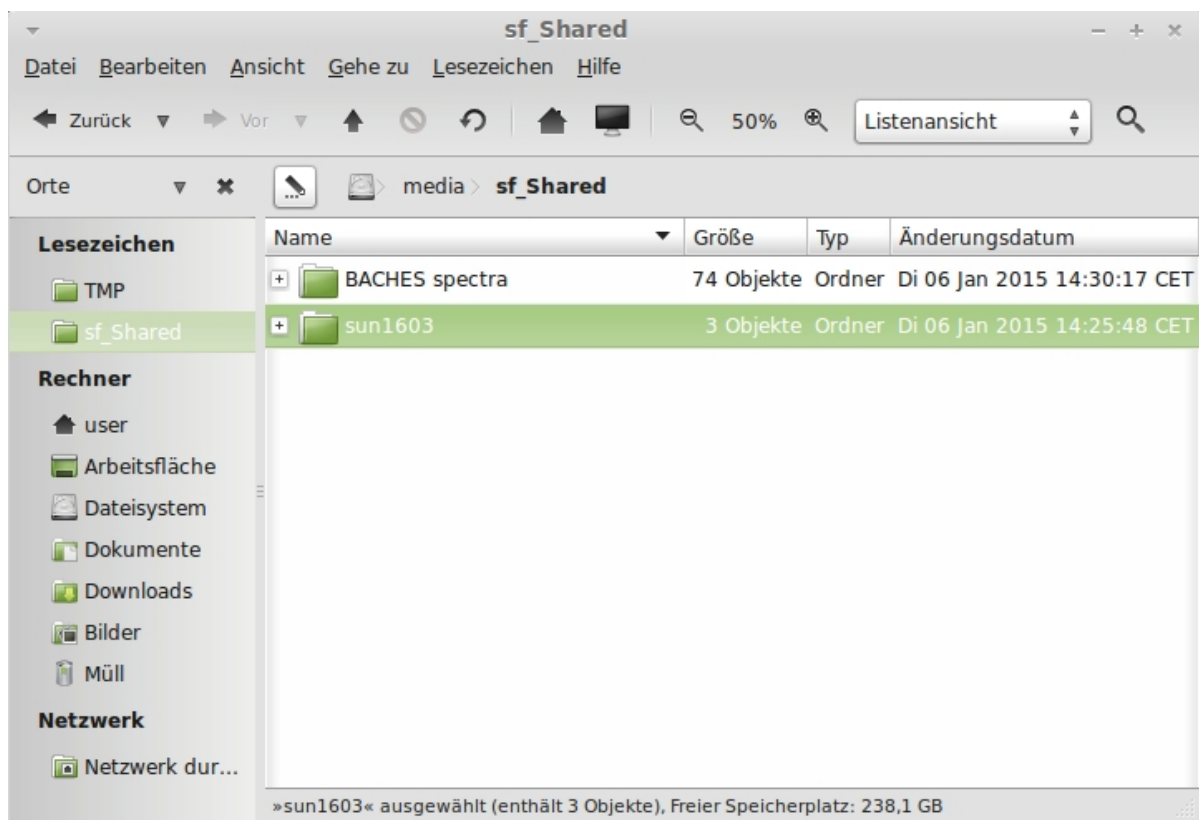


Abb. 15: Listenansicht des Ordners "sf_shared"

Man kann alle Bearbeitungen im Ordner **Shared** ausführen. Oder man legt, wie im Folgenden ausgeführt, das temporäre Verzeichnis **TMP** an und verwendet dies als das Arbeitsverzeichnis:

1. Kopieren des Ordners **sun1603**: Rechtsklick auf **sun1603** → „Copy“
2. Einfügen in den Ordner **TMP** → „Paste“

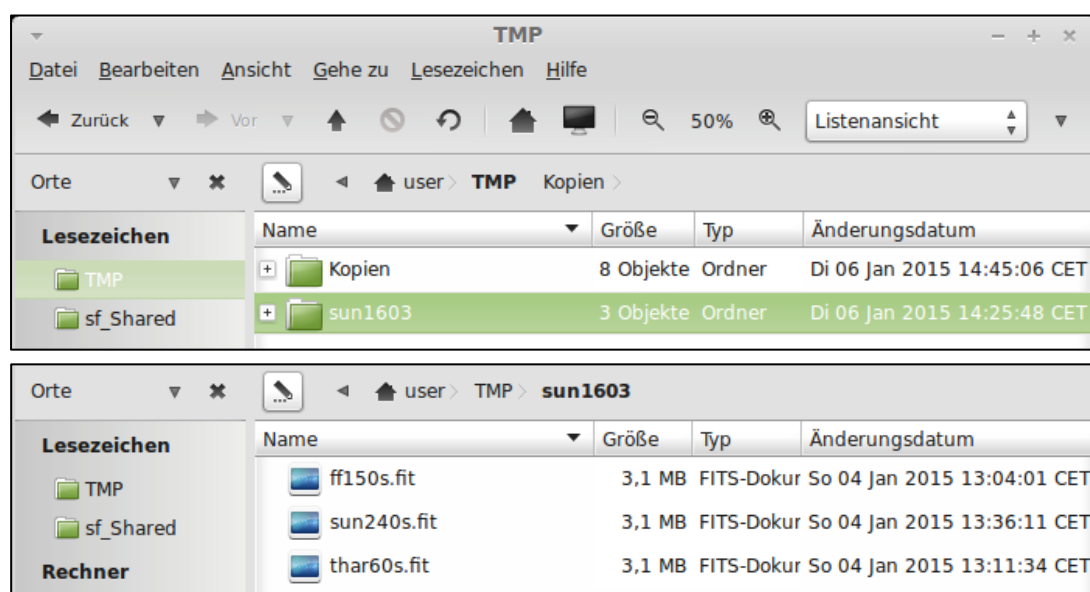


Abb. 16: Der Ordner "sun1603" enthält die drei zur Kalibrierung benötigten Dateien

3.2 Spektren prüfen

Im Ordner **/TMP/sun1603** liegen nun die Spektren. Ein Doppelklick auf das Bild **thar60s.fit** öffnet das ThAr-Referenzspektrum.

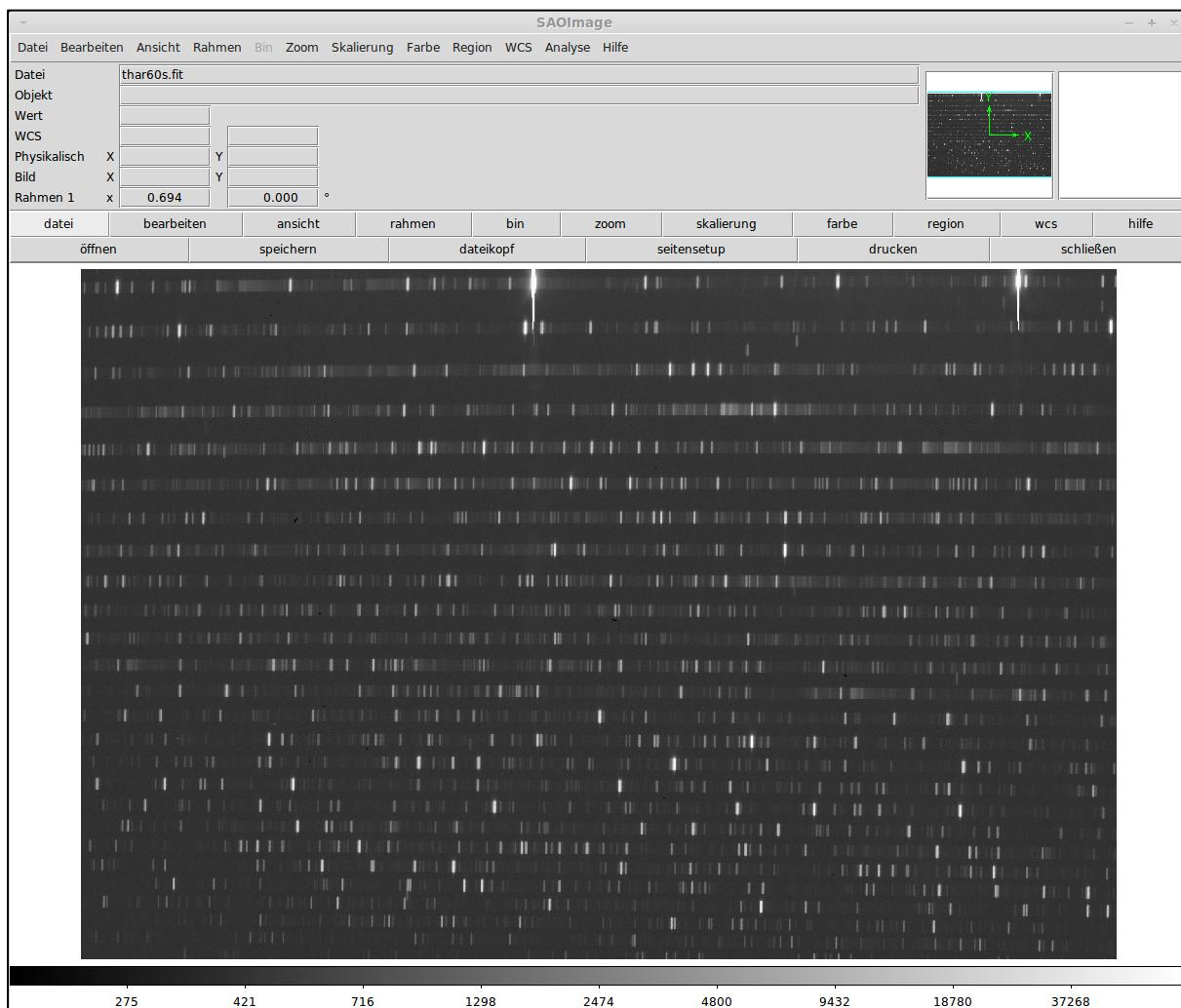


Abb. 17: Das Spektrum **thar.fit** wird vertikal gespiegelt dargestellt. Das ist korrekt!

Vergleicht man diese Ansicht mit der in Abb. 11, so stellt man fest, dass das Spektrum **VERTIKAL** gespiegelt ist. **Und das ist völlig korrekt.** Nur in dieser Orientierung wird MIDAS die Ordnungen und Spektrallinien erkennen! Sollte die Orientierung des ThAr-Spektrums jetzt anders sein, muss das Spektrum gespiegelt werden, bis es diese Orientierung aufweist.

Die Spektren-Orientierung sollte man ändern, bevor die Spektren in den Ordner **Shared** gelegt werden. Falls man es nachträglich machen möchte: Mit diesem MIDAS-Kommando erfolgt eine vertikale Spiegelung. Ohne das „y“ erfolgt nur eine horizontale Spiegelung.

```
Midas > flip/image <spektrum.fit> y
```

4 Munich Image Data Analysis System (MIDAS)

4.1 MIDAS im Linuxfenster starten

„Menu“ → „BACHES“ → „MIDAS“

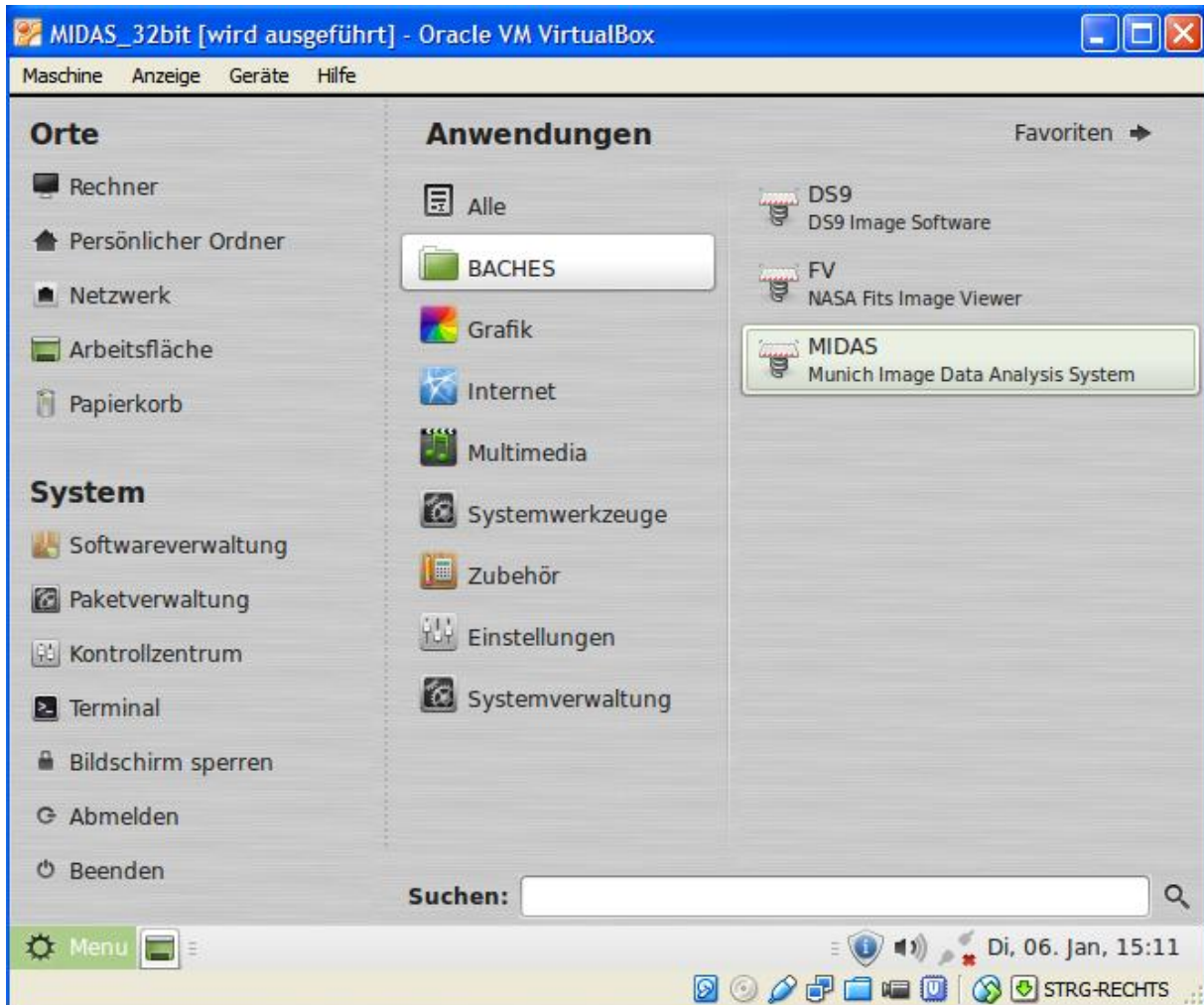


Abb. 18: Desktop der virtuellen Linux-Maschine: Start von MIDAS

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

MIDAS startet im Terminalfenster. MIDAS ist ein Kommandozeilen orientiertes System, im Terminalfenster (Abb. 19) ohne Mausfunktion.

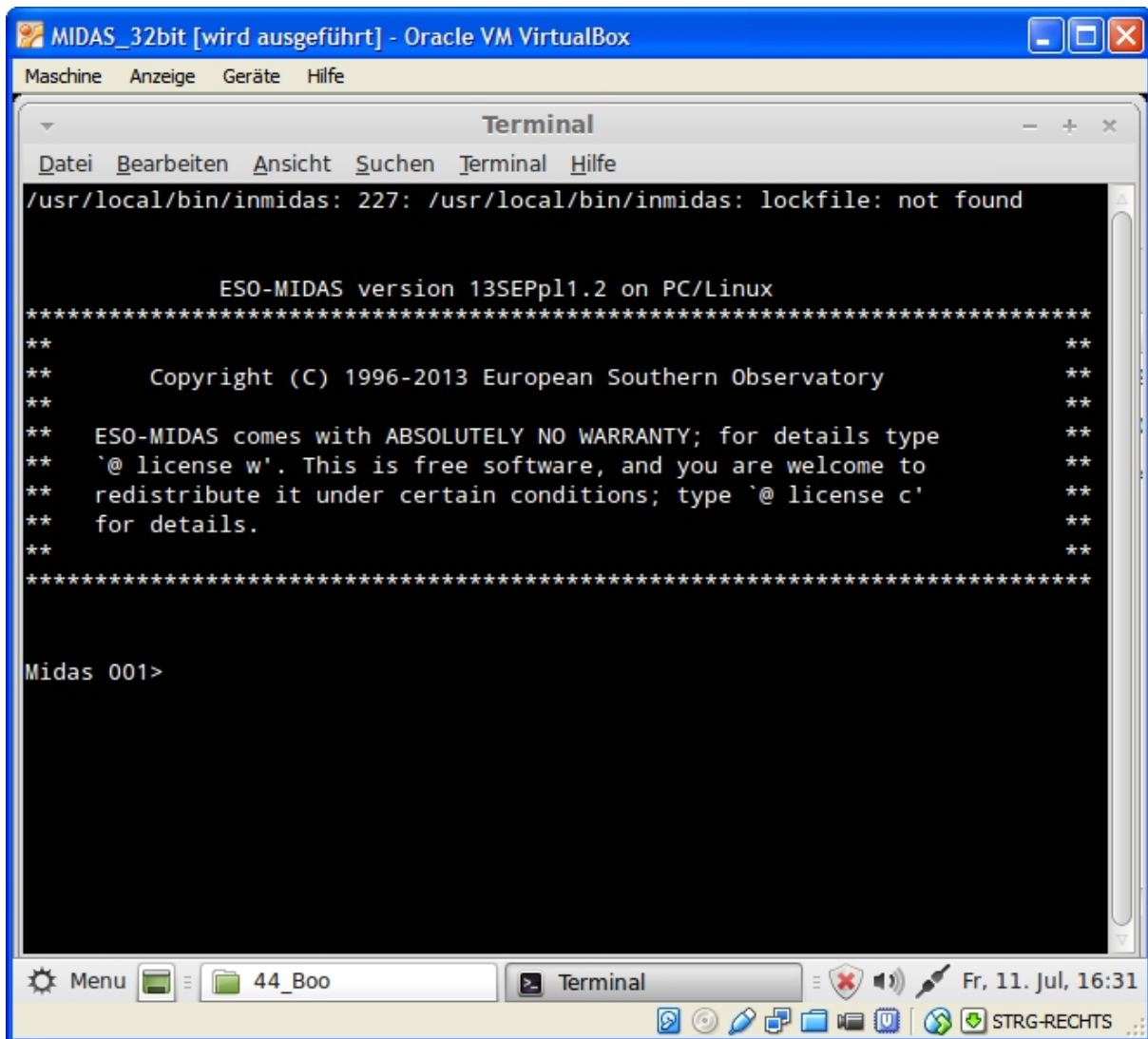


Abb. 19: Dies ist das MIDAS-Terminal, in dem alle Befehle eingetippt werden und die Ergebnisse erscheinen. Kopieren Sie den Inhalt als Protokoll in eine Textdatei zwecks späterer Prüfung. Eine automatische Speicherung findet nicht statt

Die MIDAS-Kommandos werden hinter dem Prompt **Midas 001>** eingetippt.

4.2 Wie findet man den Ordner „sun1603“ mit den Spektren?

Midas > ch

➔ Wechselt in den Ordner: **/home/user**

Midas > ch TMP

➔ Wechselt in den Unterordner TMP: **/home/user/TMP**

Midas > \$ls

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

➔ Erstellt ein Inhaltsverzeichnis des Ordners **TMP** -> **sun1603**

Midas > ch sun1603

➔ Wechselt in der Ordner: **/home/user/TMP/sun1603**

Midas > \$ls

➔ Erstellt ein Inhaltsverzeichnis des Ordners **sun1603**: **ff150s.fit, sun240s.fit, thar60s,fit**

```
Midas 001> ch
current dir. now: /home/user
Midas 002> ch TMP
current dir. now: /home/user/TMP
Midas 003> $ls
Kopien sun1603
Midas 004> ch sun1603
current dir. now: /home/user/TMP/sun1603
Midas 005> $ls
ff150s.fit sun240s.fit thar60s.fit
Midas 006> |
```

4.3 BACHES-Skripte laden

Midas > set/cont baches

Lädt die BACHES-Skripte (Endung: .prg).

```
Midas 006> set/cont baches
***** TEMPLATE application package version 1.0 enabled *****
commands available:

CALIBRATE/BACHES executes baches_calib.prg
PIPELINE/BACHES executes baches_pipeline.prg
RESOLV/BACHES executes baches_resolving_power.prg
RECAL/BACHES executes baches_recalib.prg
CLEAN/BACHES executes baches_clean.prg
COMPUTE/BACHES executes baches_compute_fits.prg
FILE/BACHES executes baches_file_ext.prg
Midas 007> |
```

Wichtiger Hinweis: Diese Skripte liegen im ASCII-Format vor und müssen den Gegebenheiten der Aufnahmeanordnung angepasst werden. Es empfiehlt sich, vor einer Veränderung eine Datensicherung dieser Skripte anzulegen. Abb. 20 gibt Auskunft über den Ort der Skripte. Hilfreich für das Verständnis des Ablaufs der Kalibrierung ist auch, einen Ausdruck der Skripte immer zur Hand zu haben. Zum Bearbeiten der Skripte werden Administratorrechte benötigt.

4.4 BACHES-Skripte lokalisieren und anpassen (editieren)

Die Skripte liegen im Verzeichnis **proc**, welches über den Pfad **Dateisystem → usr → local → midas → 13SEPpl1.2 → contrib → baches** zu erreichen ist.

Kopieren Sie den Ordner **proc** in die linke Spalte unter **Lesezeichen**. Sie werden häufiger auf die darin befindlichen Skripte zurückgreifen müssen.

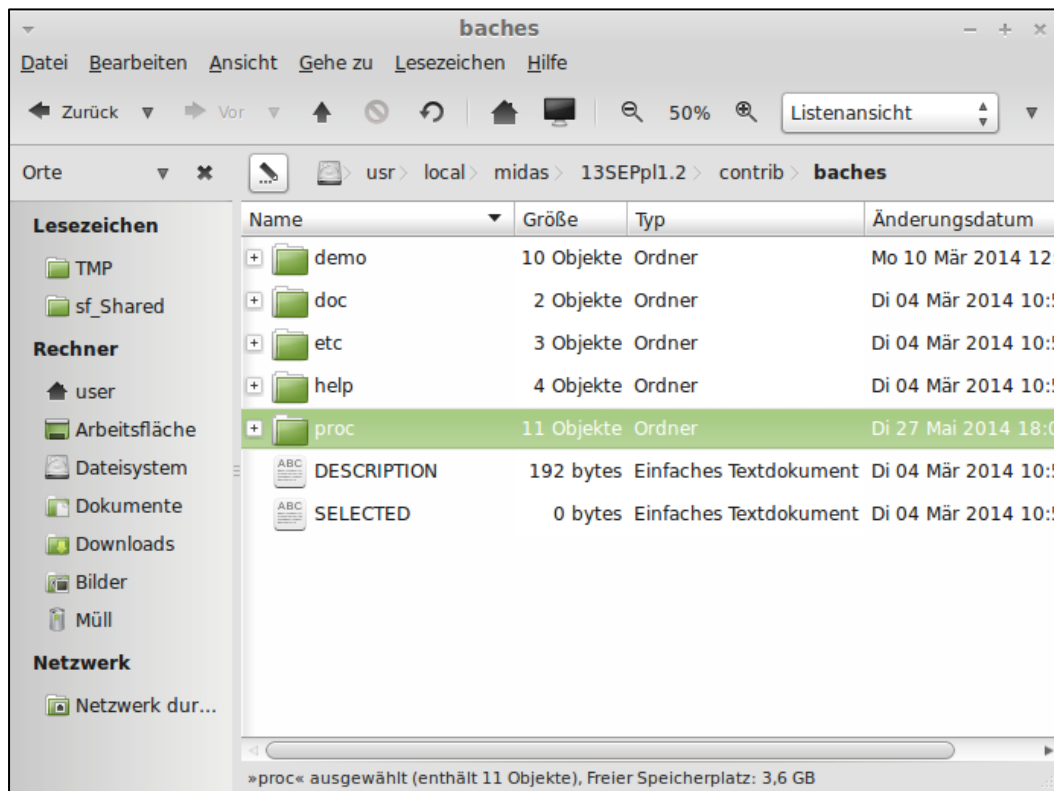


Abb. 20: Ort der BACHES-Skripte. Diese können mit einem Editor bearbeitet werden. Bitte erstellen Sie vorher eine Sicherungskopie der Skripte

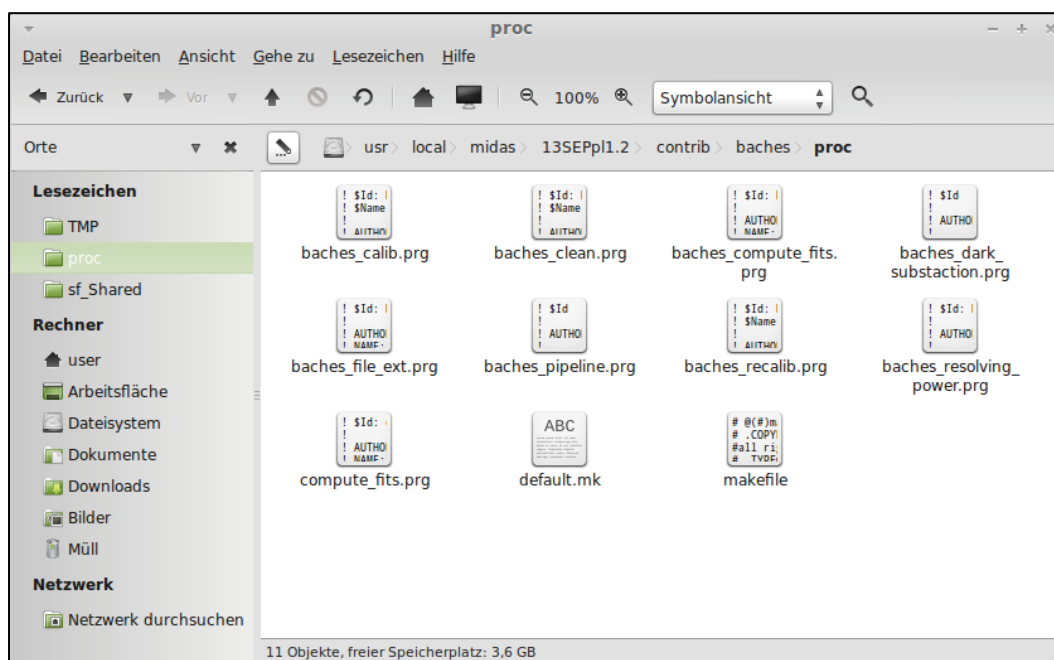


Abb. 21: Skripte, die innerhalb von MIDAS zur Kalibrierung von Sternspektren aufgerufen werden können

4.5 Anpassung des Skripts „baches_calib.prg“ an die CCD-Kamera

1. Mit rechter Maustaste klicken Sie auf „baches_calib.prg“
2. → „Öffne als Administrator“
3. Eingabe des Passworts: 1235813

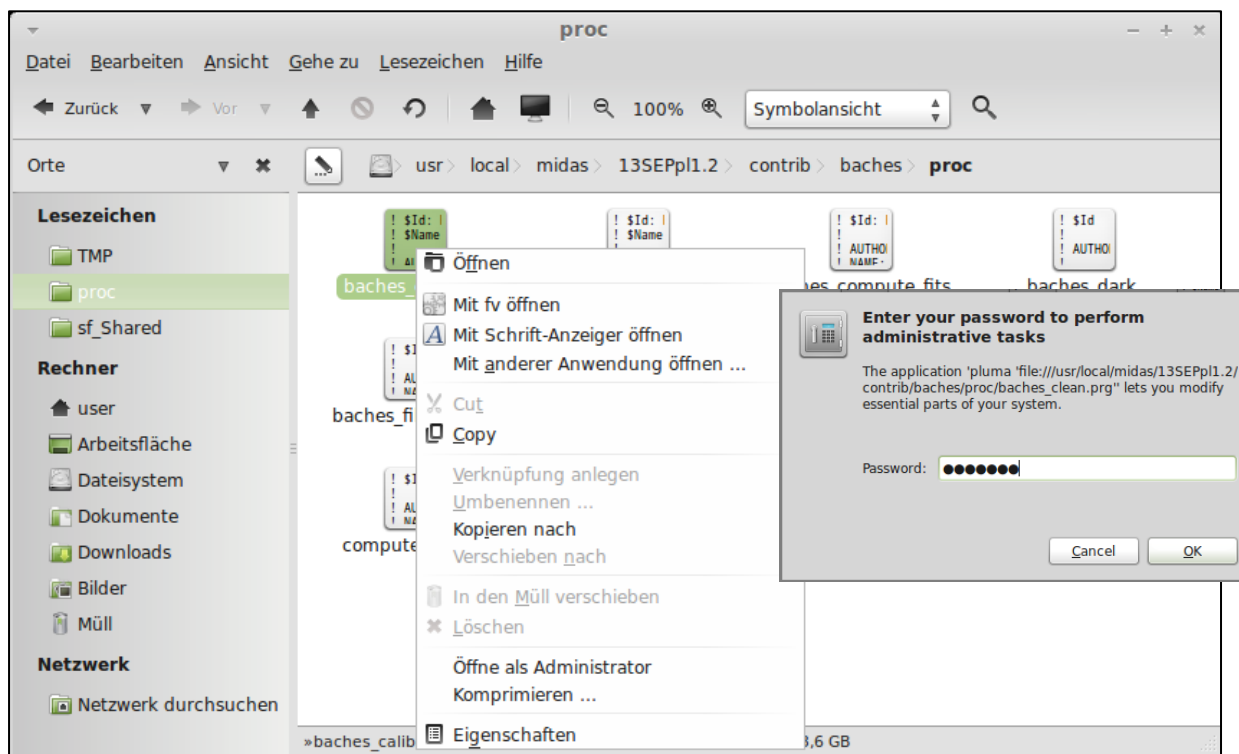


Abb. 22: Ein Skript kann nur mit Administratorrechten geöffnet und gespeichert werden. Das Passwort lautet: 1235813

Wichtiger Hinweis: Legen Sie auf jeden Fall eine Sicherung des Skriptes unter anderem Namen an, bevor Sie Änderungen vornehmen

Es öffnet sich ein Editor (Abb. 23), in dem das Skript bearbeitet und abgespeichert werden kann.

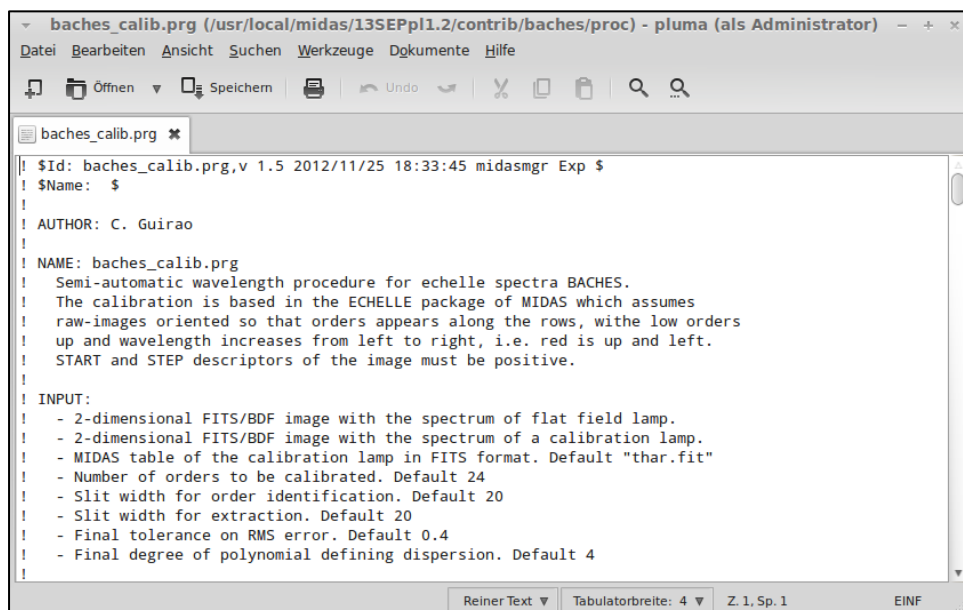


Abb. 23: Bearbeitung des Skripts „baches_calib.prg“ mit dem Editor

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

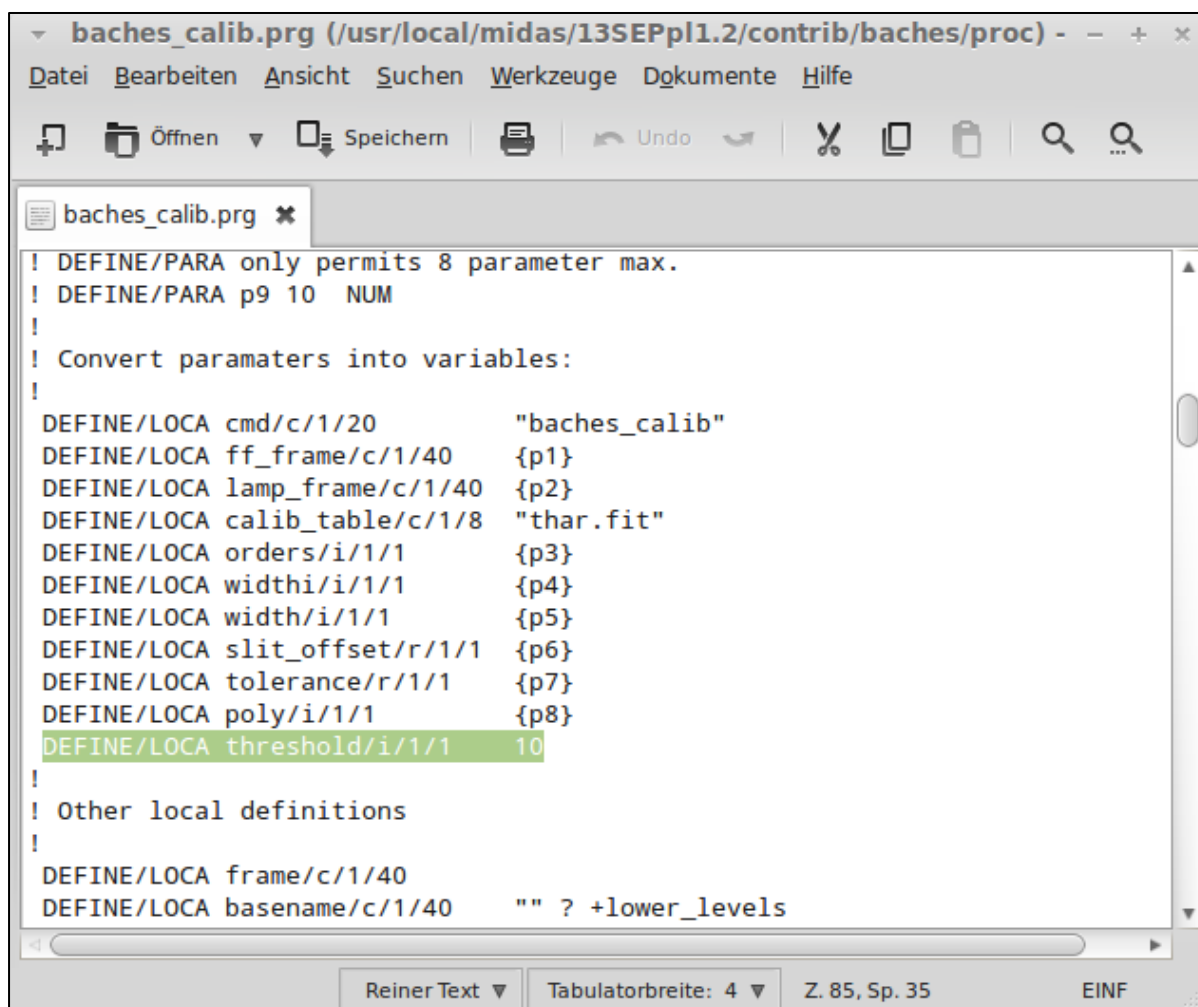
4.5.1 Threshold-Wert anpassen (Zeile 84)

Bislang liegen nur Erfahrungen mit zwei typischen, in der Astrofotografie weit verbreiteten Sensoren vor. Für diese muss der Parameter „**threshold**“ jeweils unterschiedlich gewählt werden. Der Threshold-Wert hat Einfluss auf die Erkennung von Referenzlinien im ThAr-Referenzspektrum. Werden im Kalibrierungsprozess zu wenige Referenzlinien verwendet (weniger als 50% aller erkannten), muss der Threshold-Wert herabgesetzt werden. Werden mehr als 60% verwendet, muss man hier nichts verändern. Dies sind die Erfahrungswerte:

ST-1603ME (KAF-1603ME): DEFINE/LOCA threshold/i/1/1 **10**

ST-8300M (KAF-8300): DEFINE/LOCA threshold/i/1/1 **2**

Es ist durchaus möglich, mit Veränderungen anderer Parameter Probleme bei der Kalibrierung zu lösen. Ein „!“ bezeichnet eine Kommentarzeile, so dass man eigene Änderungen immer sinnvoll kommentieren sollte, am besten vor der wirksamen Programmzeile. **Denken Sie daran, rechtzeitig vor der ersten Änderung eine Sicherheitskopie des Skripts anzulegen.**



```
! DEFINE/PARA only permits 8 parameter max.
! DEFINE/PARA p9 10 NUM
!
! Convert paramaters 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 widthi/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 poly/i/1/1      {p8}
DEFINE/LOCA threshold/i/1/1 10
!
! Other local definitions
!
DEFINE/LOCA frame/c/1/40
DEFINE/LOCA basename/c/1/40 "" ? +lower_levels
```

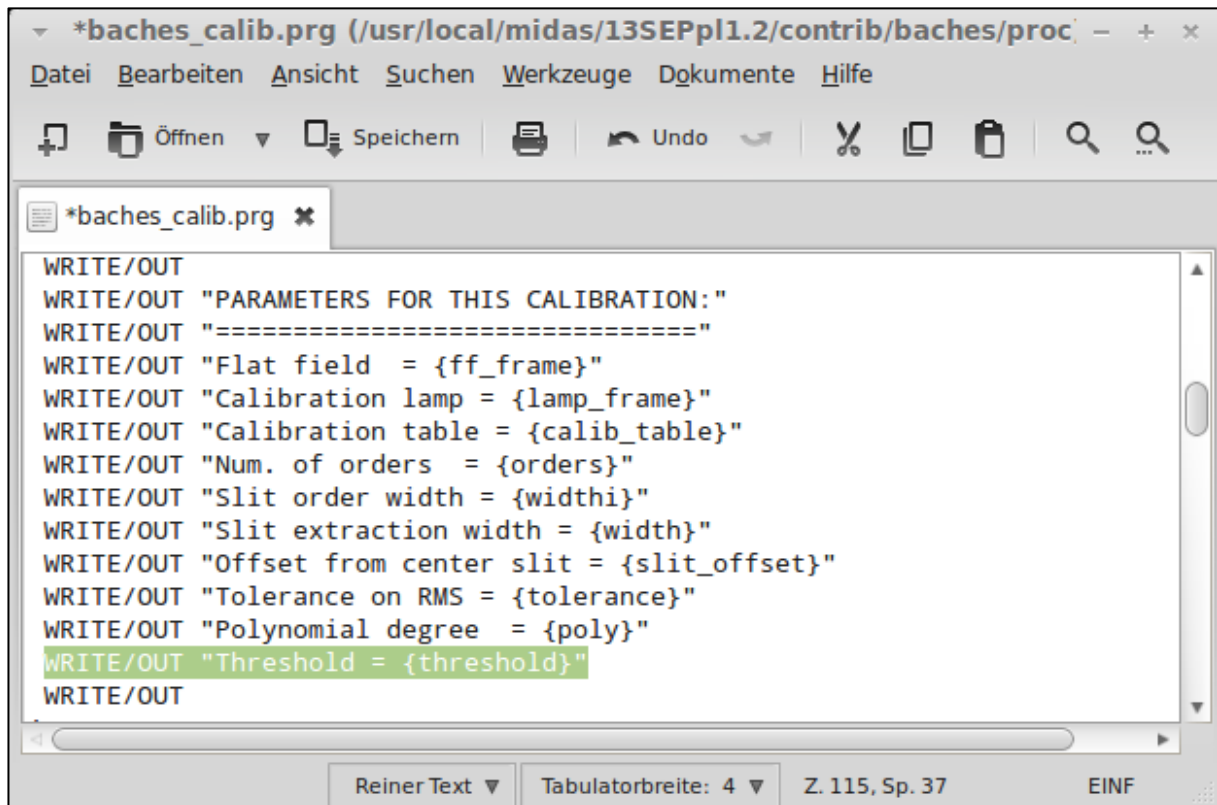
Abb. 24: Die Skripte sind von Ihrem Verfasser Carlos Guirao gut dokumentiert worden

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

4.5.2 Threshold-Wert ausgeben (Zeile 115)

Entfernen Sie das Ausrufezeichen „!“ vor Zeile 115, damit der voreingestellte Threshold-Wert, der zur Erkennung der Linien im ThAr-Spektrum benötigt wird, mit allen anderen Parametern ausgegeben wird.

WRITE/OUT "Threshold = {threshold}"



```
*baches_calib.prg (/usr/local/midas/13SEPpl1.2/contrib/baches/proc)
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Werkzeuge Dokumente Hilfe

Öffnen Speichern Undo

WRITE/OUT
WRITE/OUT "PARAMETERS FOR THIS CALIBRATION:"
WRITE/OUT "=====
WRITE/OUT "Flat field = {ff_frame}"
WRITE/OUT "Calibration lamp = {lamp_frame}"
WRITE/OUT "Calibration table = {calib_table}"
WRITE/OUT "Num. of orders = {orders}"
WRITE/OUT "Slit order width = {widthi}"
WRITE/OUT "Slit extraction width = {width}"
WRITE/OUT "Offset from center slit = {slit_offset}"
WRITE/OUT "Tolerance on RMS = {tolerance}"
WRITE/OUT "Polynomial degree = {poly}"
WRITE/OUT "Threshold = {threshold}"
WRITE/OUT
```

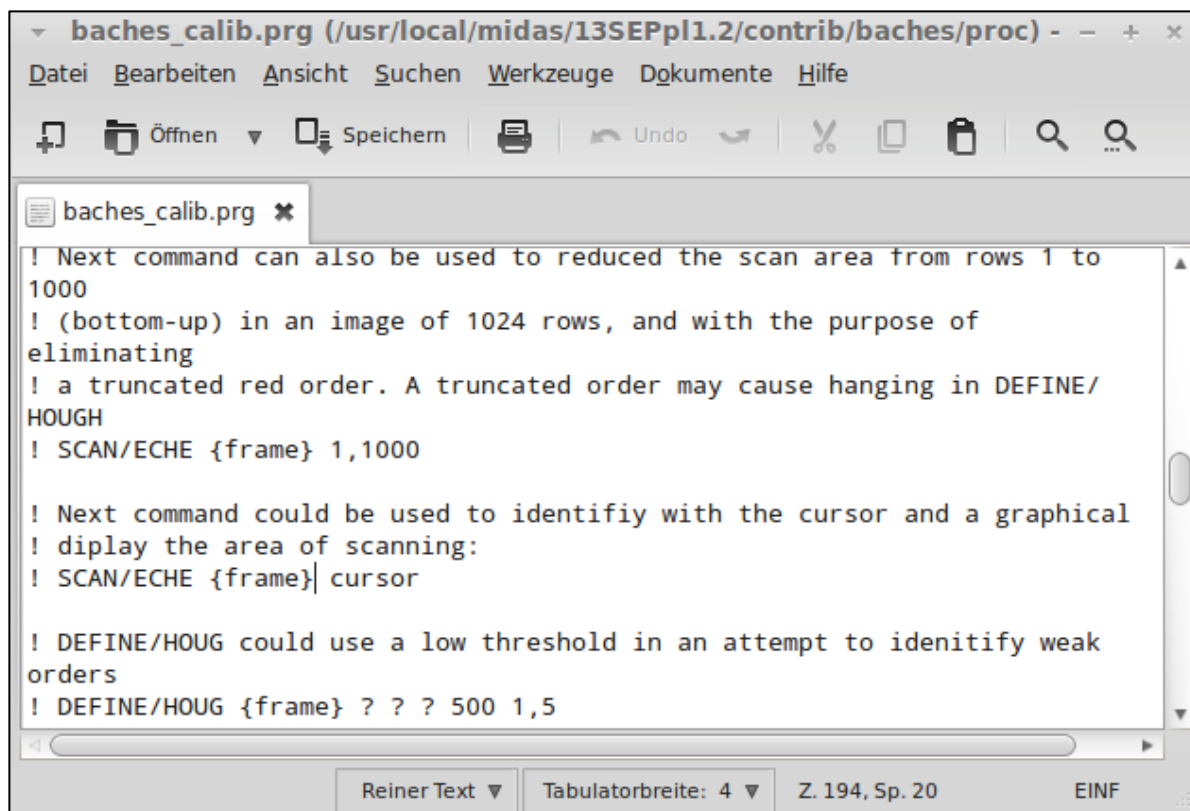
Abb. 25: Der Threshold-Wert sollte im Protokoll enthalten sein

Denken Sie daran, das Skript nach jeder Änderung zu speichern, damit die Änderungen aktiv sind.

4.5.3 Definition des Scan-Bereichs mit dem CURSOR aktivieren (Zeile 194)

Dies ist ein Punkt, der eine besondere Betrachtung verdient. MIDAS scannt das Flatfield-Spektrum und versucht, die aufeinanderfolgenden Ordnungen zu erkennen. Je nach verwendeter Kamera kann es sein, dass MIDAS zu wenige Ordnungen erkennt oder von sich im IR überlappenden höheren UV-Ordnungen gestört fühlt. Zu diesem Zweck kann man MIDAS zwingen, nur einen definierten Bereich auf Erkennung von Ordnungen hin zu scannen. Wenn man diesen Bereich genau kennt, kann man ihn vordefinieren. Dazu genügt die Aktivierung des Kommandos SCAN/ECHE {frame} in Zeile 190. Da man das Spektrum aber möglicherweise häufiger im Bildfeld justiert, sollte man stattdessen auf die Möglichkeit zurückgreifen, den Scanbereich per CURSOR zu definieren. Dies geschieht, indem man das „!“ in Zeile 194 löscht.

SCAN/ECHE {frame} cursor



The screenshot shows a text editor window titled 'baches_calib.prg (/usr/local/midas/13SEPpl1.2/contrib/baches/proc)'. The menu bar includes 'Datei', 'Bearbeiten', 'Ansicht', 'Suchen', 'Werkzeuge', 'Dokumente', and 'Hilfe'. The toolbar contains icons for opening, saving, printing, undo, redo, cut, copy, paste, and search. The text area contains the following comments and commands:

```
! Next command can also be used to reduced the scan area from rows 1 to
1000
! (bottom-up) in an image of 1024 rows, and with the purpose of
eliminating
! a truncated red order. A truncated order may cause hanging in DEFINE/
HOUGH
! SCAN/ECHE {frame} 1,1000

! Next command could be used to identifiy with the cursor and a graphical
! diplay the area of scanning:
! SCAN/ECHE {frame}| cursor

! DEFINE/HOUG could use a low threshold in an attempt to idenitify weak
orders
! DEFINE/HOUG {frame} ? ? ? 500 1,5
```

The status bar at the bottom shows 'Reiner Text', 'Tabulatorbreite: 4', 'Z. 194, Sp. 20', and 'EINF'.

Abb. 26: Definition des Scanbereichs im Flatfield mit Hilfe des Cursors

Im weiteren Verlauf werden wir bei der Kalibrierung darauf zurückgreifen. Diese Ausführungen dienten nur zur Voreinstellung der nötigen Kalibrierungsparameter.

4.6 Erkennung der Ordnungen und Wellenlängenkalibrierung des ThAr-Spektrums

Nun starten wir den Kalibrierungsprozess. Als erstes wird das **Flatfieldspektrum (ff150s.fit)** geladen. Das Ziel ist, eine festgelegte Anzahl von Ordnungen zu erkennen und jede Ordnung horizontal auszurichten. **Ohne Flatfield keine sichere Erkennung von Ordnungen.** Danach wird das **Referenzspektrum (thar60s.fit)** gescannt und die Wellenlängenkalibrierung vorgenommen. In diesem Beispiel soll MIDAS versuchen, 25 Ordnungen zu erkennen.

```
Midas > calib/baches ff150s.fit thar60s.fit 25
```

```
PARAMETERS FOR THIS CALIBRATION:
=====
Flat field   = ff150s.fit
Calibration lamp = thar60s.fit
Calibration table = thar.fit
Num. of orders = 0025
Slit order width = 0020
Slit extraction width = 0020
Offset from center slit = 0.00000E+00
Tolerance on RMS = 1.00000E+00
Polynomial degree = 0004
Threshold = 0010

baches_calib: Do you want to continue [yn] (y)? |
```

Abb. 27: Ein Polynom vierten Grades wird den Datenpunkten (Position, Wellenlänge) per Least-Squares-Fit angepasst

Hinweis: Falls in Ihren eigenen Spektren die Erkennung von 24 oder mehr Ordnungen fehlschlägt, bitte die Anzahl zunächst schrittweise bis auf 20 reduzieren. Die Ursachen können vielfältig sein, eine Patentlösung zur Erzielung eines maximalen Scanbereichs gibt es nicht. Bitte beachten Sie die Hinweise zur genauen Ausrichtung des Spektrums auf dem Sensor.

Weitere Hinweise zur Erkennung von bis zu 30 Ordnungen (bei Kameras mit größeren Sensoren) finden Sie in der README-Datei von Carlos Guirao „**baches_midas_data_reduction.README**“.

Hier ein Auszug:

<pre><flat_field>.fit</pre>	<pre>Spectrum of a continuum lamp used to identified the orders. You may need to combine several flats with differnt filters in order to cover all the orders. The spectrum of a direct halogen lamp is enough to cover 23 orders. The spectrum of a halogen lamp with a blue filter (bg23) is enough to cover upto 26 orders. To cover more orders (28-30) you will need a composite of flats with different filters and from UV lamps.</pre>
-----------------------------------	--

Nach Bestätigung mit „y“ scannt MIDAS das Flatfieldspektrum **ff150s.fit** (Abb. 28) und stellt daneben einen vertikalen Intensitätsscan (Abb. 29) quer durch alle 25 Ordnungen dar. Mehr als 25 Ordnungen passen nicht auf den KAF-1603ME-Sensor!

Die beiden nun erschienen Abbildungen zeigen kommentiert, wie die Ordnungen verteilt sind:

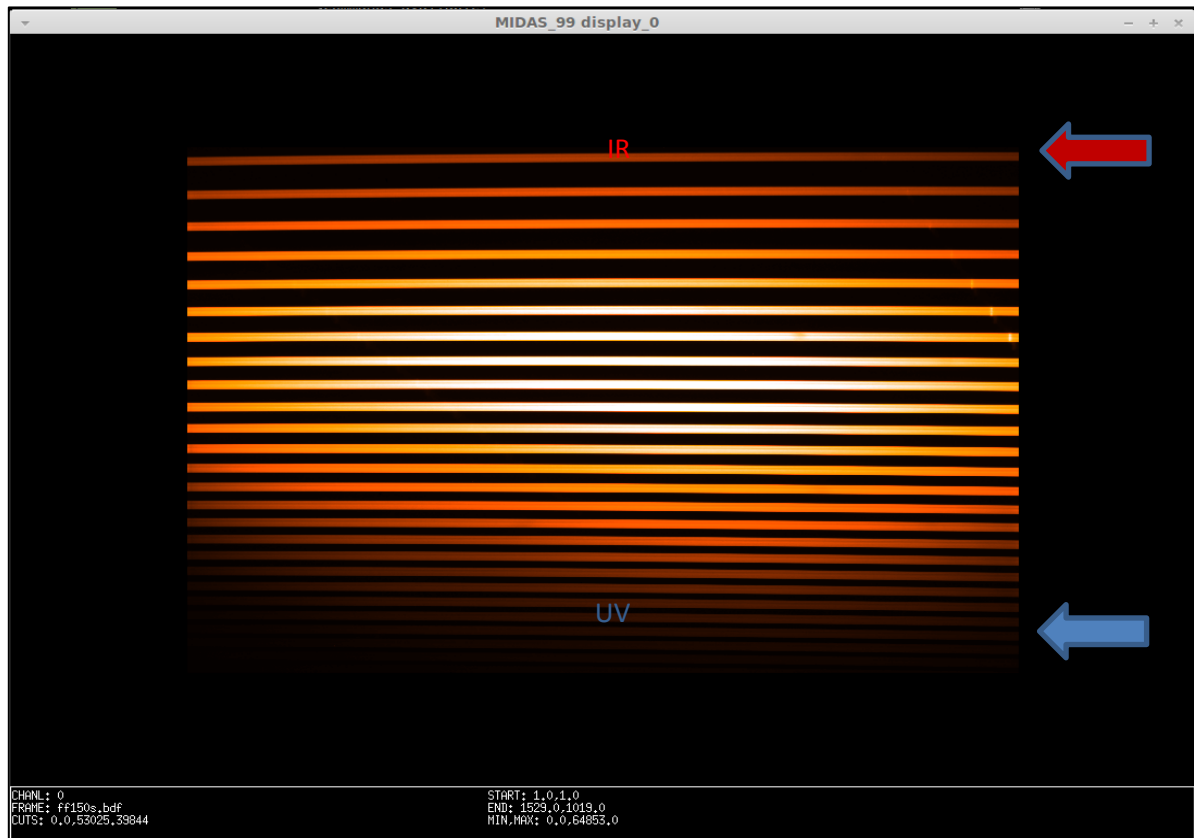


Abb. 28: Scan des Flatfield-Spektrums ff150s.fit. Unten UV, oben: IR

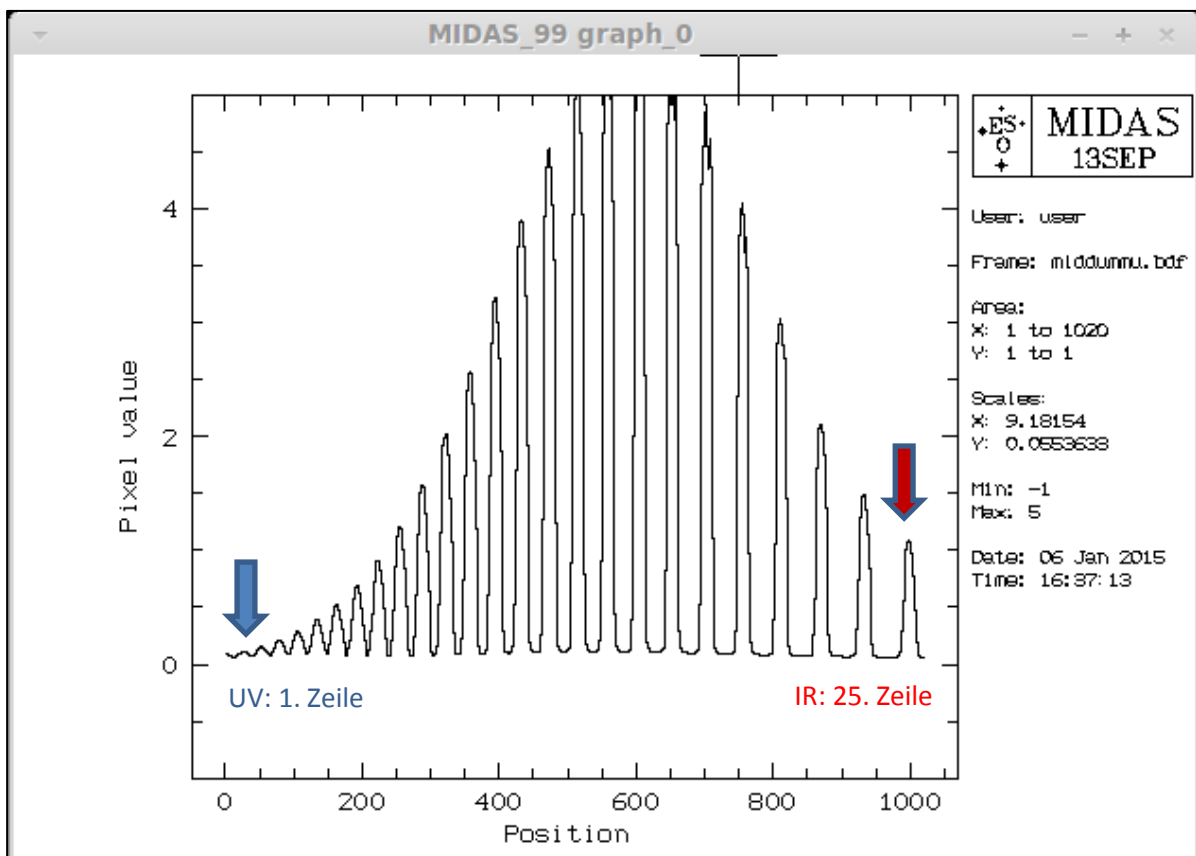


Abb. 29: Vertikaler Scan, auf dem man 25 Ordnungen erkennt

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Setzen Sie nun das **erste Kreuzchen** links neben die erste vollständig sichtbare Ordnung (Abb.30). Das definiert den unteren Rand des Scanbereichs im UV. Danach setzen Sie das **zweite Kreuzchen** rechts an das Ende der Ordnung im IR. Jeweils bitte innerhalb des Sensorfeldes, sonst gibt es eine Fehlermeldung.

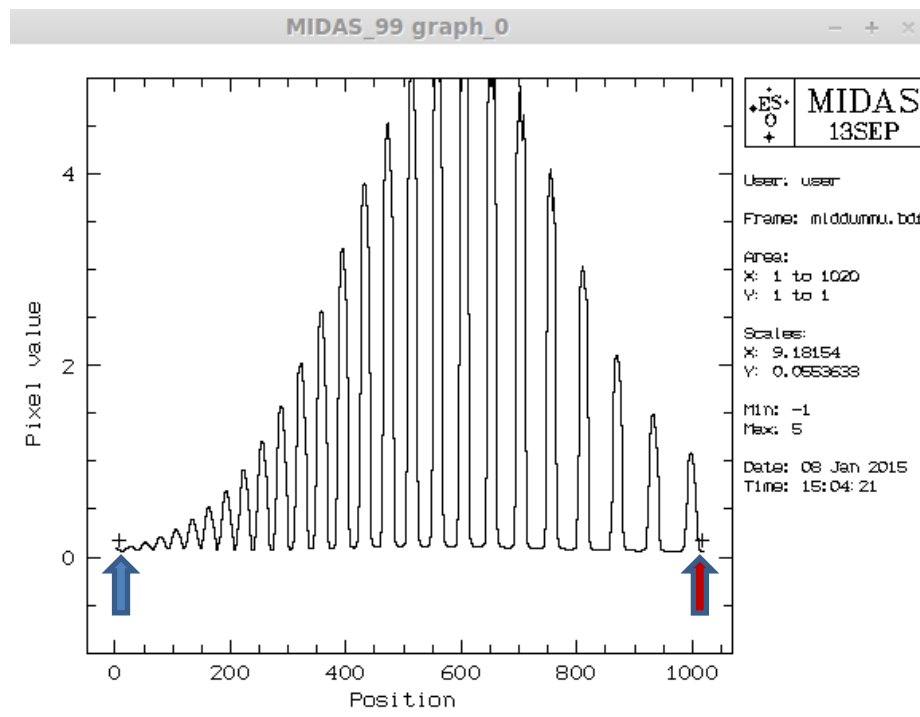


Abb. 30: Das erste Kreuzchen muss direkt links neben die erste vollständige Ordnung im UV gesetzt werden. Das zweite Kreuzchen rechts muss die letzte IR-Ordnung enthalten. Aber Achtung: Klicken Sie niemals außerhalb des Sensorfeldes, das führt zu einer Fehlermeldung

Danach scannt MIDAS den per Mausklick definierten Bereich auf dem Bild und versucht, die geforderten 25 Ordnungen zu erkennen (Abb. 31).

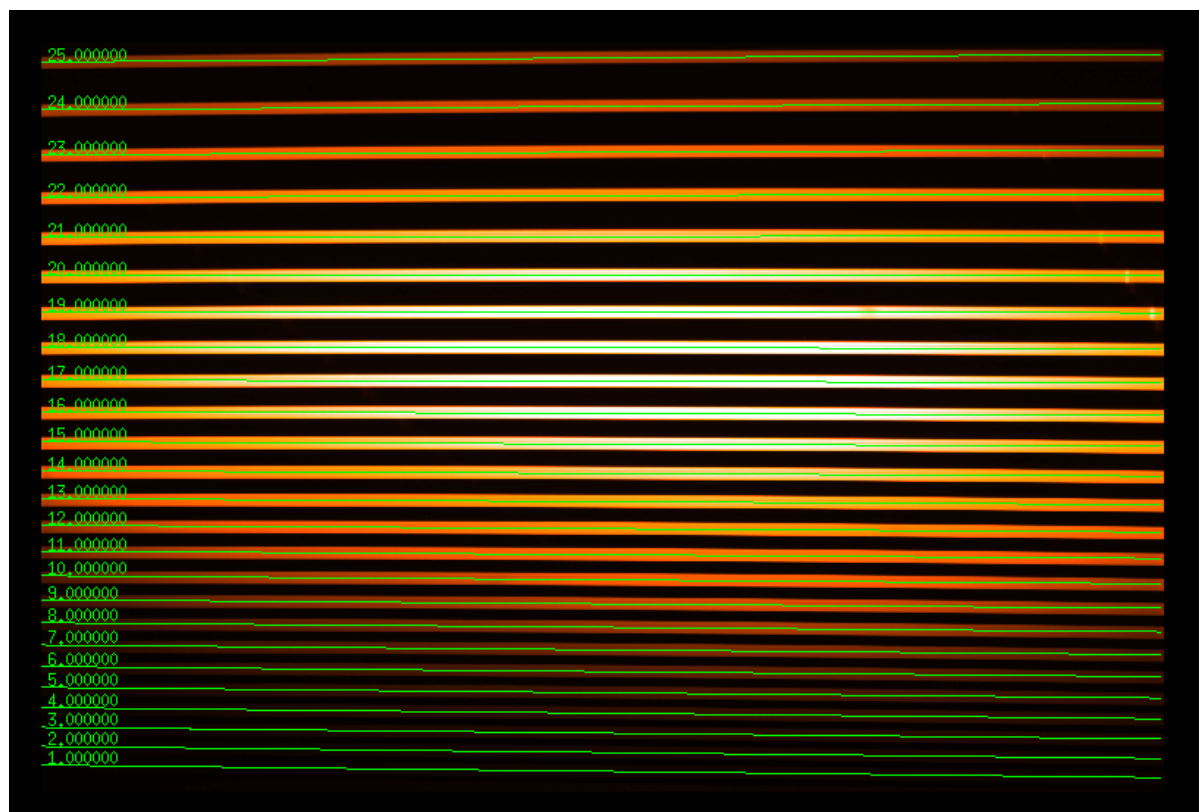


Abb. 31: Erfolgreiche Erkennung von 25 Ordnungen mit der ST-1603ME-Kamera

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Liegen die grünen Linien schräg zu einzelnen Ordnungen oder zwischen ihnen, ist die Erkennung fehlerhaft. Starten Sie die Erkennung sukzessive mit weniger als 25 Ordnungen oder grenzen Sie den Scanbereich enger ein. Hier ist ein wenig Fingerspitzengefühl gefragt. Falls Sie später immer wieder in derselben Anordnung Spektren aufnehmen, können Sie den Scanbereich auch durch Angabe der vertikalen Positionen des unteren bzw. oberen Randes im Skript fest definieren.

Das ThAr-Referenzspektrum wird mit diesen Informationen aus dem Flatfield-Spektrum nun gescannt. In diesem Beispiel werden 25 Ordnungen erkannt.

```
--- (W) Wavelength Calibration ---
  Search Method (GRAVITY, GAUSSIAN) : SEAMTD = GAUSSIAN
  Analysis window width              : WIDTH2  = 10.0
  Threshold above the background     : THRES2   = 0.0
  Wavelength calibr. meth.           : WLCMTD  = PAIR
" (Possible methods: PAIR, ANGLE, GUESS, LINEAR, ORDER, RESTART)
  Wavelength calibr. option (1D/2D) : WLCOPT   = 1D
  Regress. method (Standard,Robust) : WLCREG  = STANDARD
  Visualisation flag (Yes,No)       : WLCVISU  = YES
  Arc frame                          : WLC       = +++
  Line Catalog                       : LINCAT    = MID_ARC:thar.tbl
  Polynomial Degree                  : DC        = 4
  Tolerance                          : TOL       = 0.2
NB: Parameter CCDBIN is also involved
  Mini, Maxi number of iterations   : WLCNITER = 3,20
  Iteration Loop parameters:
" WLCITER(1-3) = 1.0, 0.3, 20.0
  WLCITER(4-5) = 5.0, 4.0

baches_calib: Order identification finished
baches_calib: Do you want to continue [yn] (y)?
```

Bestätigen Sie den Fortgang der Wellenlängenkalibrierung mit „y“.

In den 25 erkannten Ordnungen (Abb. 32) werden 1946 Spektrallinien mit Gauss'schem Intensitätsprofil detektiert, innerhalb eines Suchfensters von 10 Pixeln. Je mehr Linien, desto genauer die Wellenlängenkalibrierung.



Als nächstes erfolgt die Zuordnung der erkannten Spektrallinien zu **bekannten Referenzlinien** im ThAr-Spektrum. Jede der 25 Ordnungen repräsentiert ein enges spektrales Intervall. Welches, wird später im Terminalfenster ausgegeben.

Nach Bestätigen mit „y“ öffnen sich zwei Fenster: Das Fenster **thar_ref.bdf** (Abb. 33) enthält vorgegebene Referenzlinien, die im eigenen ThAr-Spektrum erkannt und zugeordnet werden müssen.

In benachbarten, sich überlappenden Ordnungen müssen zwei Spektrallinien jeweils zweimal mit der linken Maustaste angeklickt werden: Zwei Spektrallinien, vier Klicks. Abb. 34:

6662.268Å in Ordnung 33 (1. Klick oben links, 2. Klick oben rechts)

4609.600Å in Ordnung 48 (3. Klick unten links, 4. Klick und rechts)

Hinweis: Bei zu kleinem Sensor, kleiner als der KAF-1603, kann es sein, dass eine Linie nur einmal vorkommt. Dann wähle man andere Wellenlängenpaare gemäß dem ThAr-Atlas.

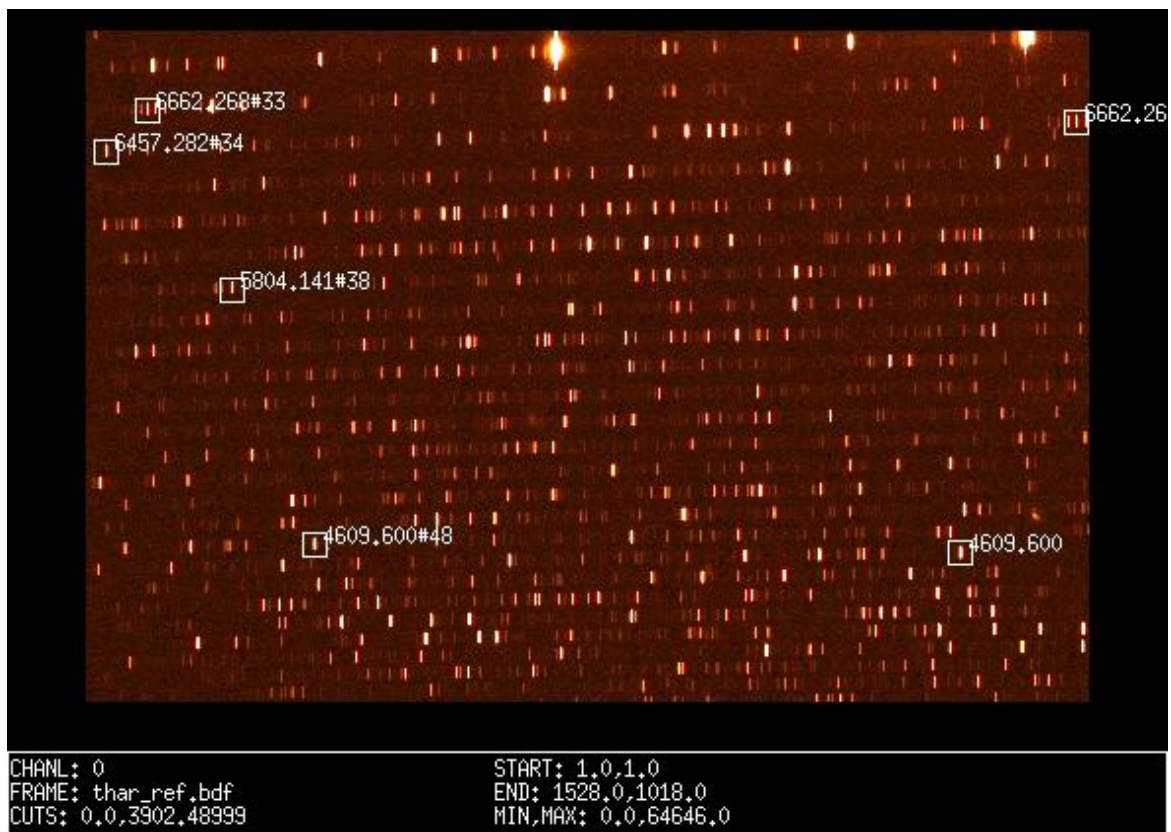


Abb. 33: thar_ref.bdf. Zwei Paare gleicher Wellenlänge müssen je zweimal angeklickt werden

Auf diese beiden Wellenlängenpaare (Paar 1,2) und (Paar 3,4) kommt es im weiteren Verlauf an. Diese müssen im eigenen Spektrum thar60s.fit (Abb. 34, 35) nacheinander angeklickt werden.

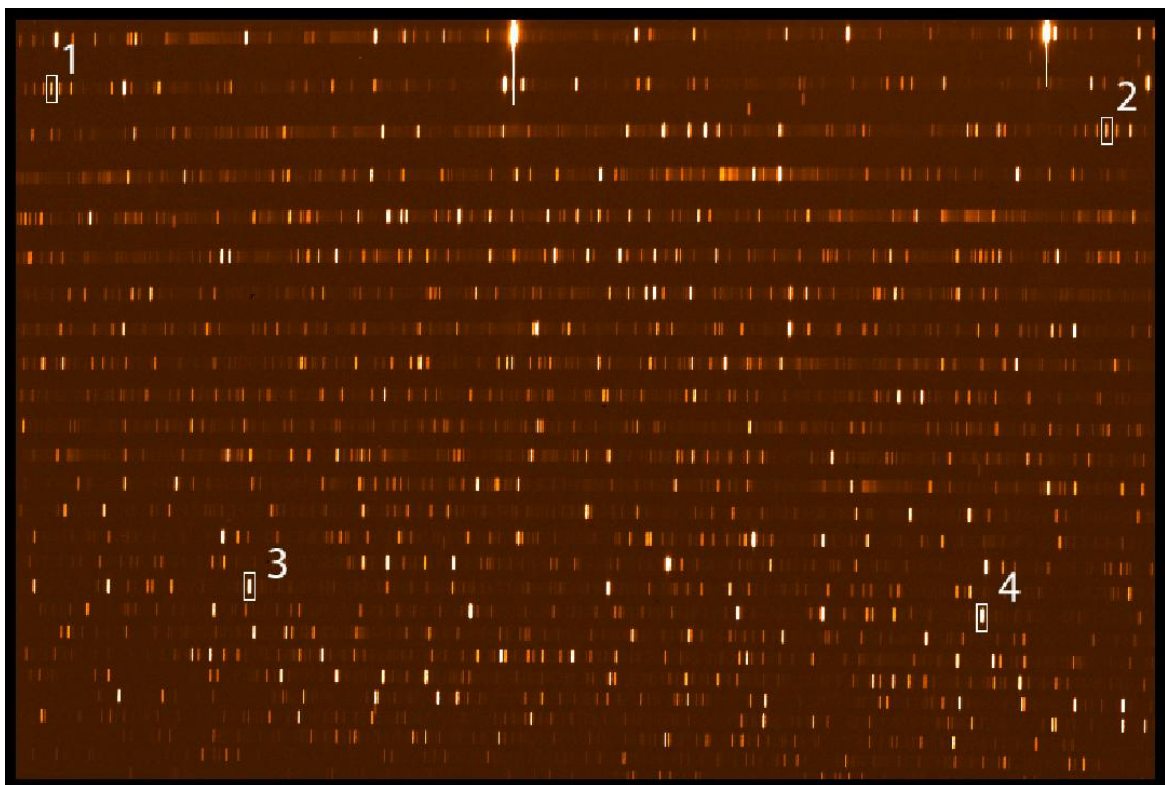
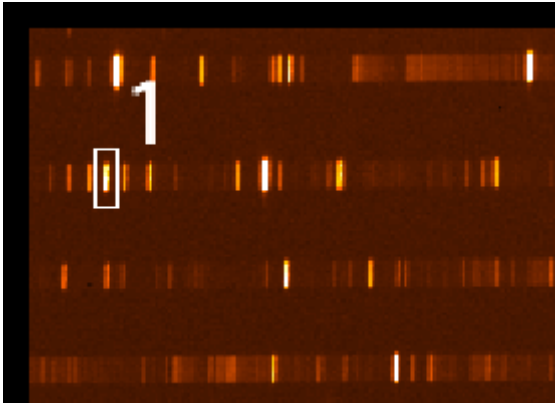


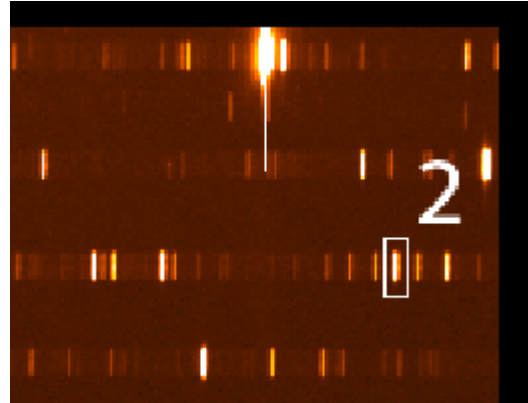
Abb. 34: Nacheinander werden die Linien Nummer 1 bis 4 angeklickt

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

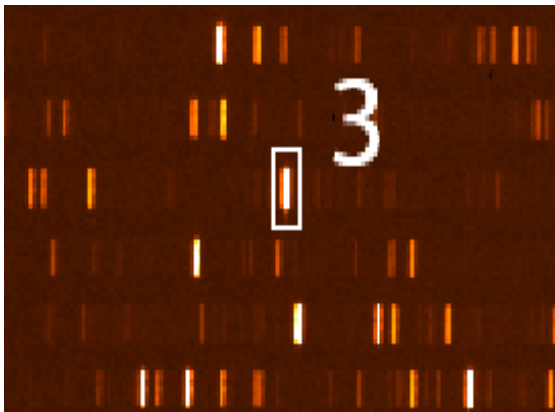
Das Fenster (Abb. 35) ist interaktiv, hier muss viermal exakt in dieser Reihenfolge geklickt werden. Im Terminal werden die Koordinaten aufgezeichnet.



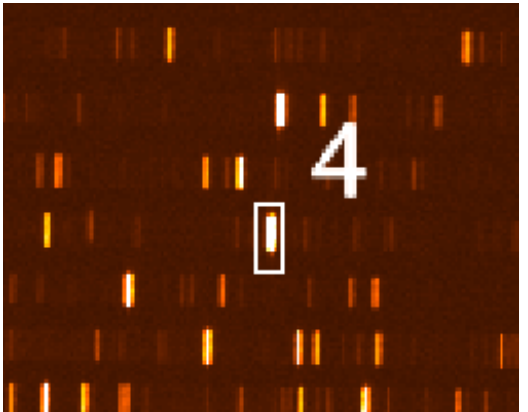
Schritt 1: Cursor auf linke Spektrallinie 6662.268Å positionieren und linke Maustaste drücken



Schritt 2: Cursor auf rechte Spektrallinie 6662.268Å positionieren und linke Maustaste drücken



Schritt 3: Cursor auf linke Spektrallinie 4609.600Å positionieren und linke Maustaste drücken



Schritt 4: Cursor auf rechte Spektrallinie 4609.600Å positionieren und linke Maustaste drücken

Schritt 5: Ein Rechtsklick mit der Maus beendet diese Eingabe. Es erscheint dieses Fenster:

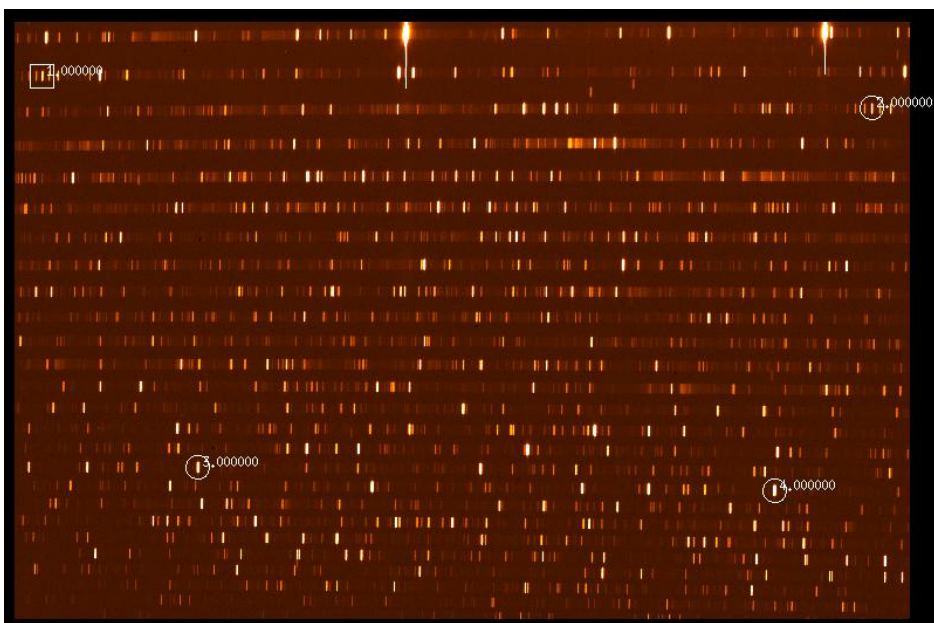


Abb. 35: MIDAS bestätigt die Klicks nach Schritt 5 in dieser Form

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Parallel zu den Eingaben werden die Koordinaten der vier Identifikationen aufgezeichnet:

```
Info: You must identify lines which are repeated in
      overlapped regions of two adjacent orders. You
      will do it two times.

With the cursor, select two lines that appear in two
different orders each. Click them in the following order :
  - First line: left-hand side, then right-side
  - Second line: left-hand-side, then right-side
For each line (for help, see CENTER/MOMENT with option CURSOR):
  - select approximate position with cursor
  - if necessary, optimize size of cursor rectangle
  - enter position by pressing Enter on keyboard
Exit by pressing Exit button
```

xcenter	ycenter	xerr	yerr	icent	ident
		xfwhm	yfwhm		
frame: thar60s.bdf (data = uI2)					
plane_no 1 loaded					
47.910851	927.66968	0.85791E-01	0.48867		
		1.9377	11.037	9493.0	ID0001
1465.3567	871.70807	0.83085E-01	0.44585		
		2.0706	11.111	10974.	ID0002
313.80560	258.89569	0.94369E-01	0.46089		
		2.3094	11.279	41382.	ID0003
1298.8450	219.50665	0.89062E-01	0.42078		
		2.3912	11.298	50464.	ID0004

```
Enter absolute order number of first pointed line (square mark) : |
```

Schritt 6: Nun werden die zugehörigen Wellenlängen und absoluten Ordnungen eingegeben:

Enter absolute order number of first pointed line (square mark: → 33

Sequence no. 0001, Order no. 0033. Enter wavelength: → 6662.268

Sequence no. 0003, Order no. 0048. Enter wavelength: → 4609.6

Anhand dieser Eingaben werden nun ca. 1946 Spektrallinien der Ordnungen 32 bis 57 identifiziert und in einem iterativen Prozess die Wellenlängen automatisch zugeordnet (Abb. 36).



Abb. 36: ca. 1946 Linien werden zunächst erkannt. MIDAS muss für eine genaue Kalibrierung möglichst viele davon verwenden, gefordert sind mindestens 50%, optimaler Weise 80%

```

COMPUTE DISPERSION COEFFICIENTS
-----
INPUT TABLE : line.tbl
POLYNOMIAL DEGREE : 4

```

SEQ.NO	SPECTRAL ORDER	NO.LINES	WL START	WL END	STD. DEV. ANGSTROEM
1	56	42	3923.68	4051.72	0.01140 *FROM 2D SOLUTION*
2	55	50	3994.92	4125.36	0.01186 *FROM 2D SOLUTION*
3	54	42	4068.81	4201.72	0.01224 *FROM 2D SOLUTION*
4	53	47	4145.48	4280.95	0.01583 *FROM 2D SOLUTION*
5	52	51	4225.10	4363.23	0.01570 *FROM 2D SOLUTION*
6	51	52	4307.85	4448.72	0.01642 *FROM 2D SOLUTION*
7	50	49	4393.92	4537.63	0.01331 *FROM 2D SOLUTION*
8	49	47	4483.50	4630.17	0.01794 *FROM 2D SOLUTION*
9	48	52	4576.81	4726.55	0.01682 *FROM 2D SOLUTION*
10	47	53	4674.09	4827.03	0.01549 *FROM 2D SOLUTION*
11	46	58	4775.61	4931.87	0.01307 *FROM 2D SOLUTION*
12	45	48	4881.64	5041.37	0.01753 *FROM 2D SOLUTION*
13	44	36	4992.50	5155.84	0.01674 *FROM 2D SOLUTION*
14	43	48	5108.51	5275.63	0.01471 *FROM 2D SOLUTION*
15	42	49	5230.04	5401.11	0.01587 *FROM 2D SOLUTION*
16	41	54	5357.50	5532.71	0.01764 *FROM 2D SOLUTION*
17	40	50	5491.33	5670.89	0.01551 *FROM 2D SOLUTION*
18	39	41	5632.02	5816.14	0.01543 *FROM 2D SOLUTION*
19	38	49	5780.10	5969.04	0.01159 *FROM 2D SOLUTION*
20	37	56	5936.19	6130.19	0.01417 *FROM 2D SOLUTION*
21	36	44	6100.94	6300.29	0.01044 *FROM 2D SOLUTION*
22	35	41	6275.09	6480.10	0.01780 *FROM 2D SOLUTION*
23	34	42	6459.48	6670.48	0.01488 *FROM 2D SOLUTION*
24	33	40	6655.02	6872.39	0.02126 *FROM 2D SOLUTION*
25	32	30	6862.76	7086.91	0.01021 *FROM 2D SOLUTION*

```

-----
MEAN RMS: 0.01495
** TOTAL NUMBER OF LINES : 1171 **
***** 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 : 61 %
   This percentage must be as high as possible (above 50%). Low values
   indicate an uncertain calibration.

```

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

1171 von 1946 Linien konnten verwendet werden, dies entspricht einer guten Quote von 61%. Für jede Ordnung von 32 (Zeile 1) bis 57 (Zeile 25) werden die Start- und Endwellenlängen berechnet. Von 3923Å bis 7086Å beträgt die Kalibrierengenauigkeit $\text{RMS}=0.01495\text{\AA}$.

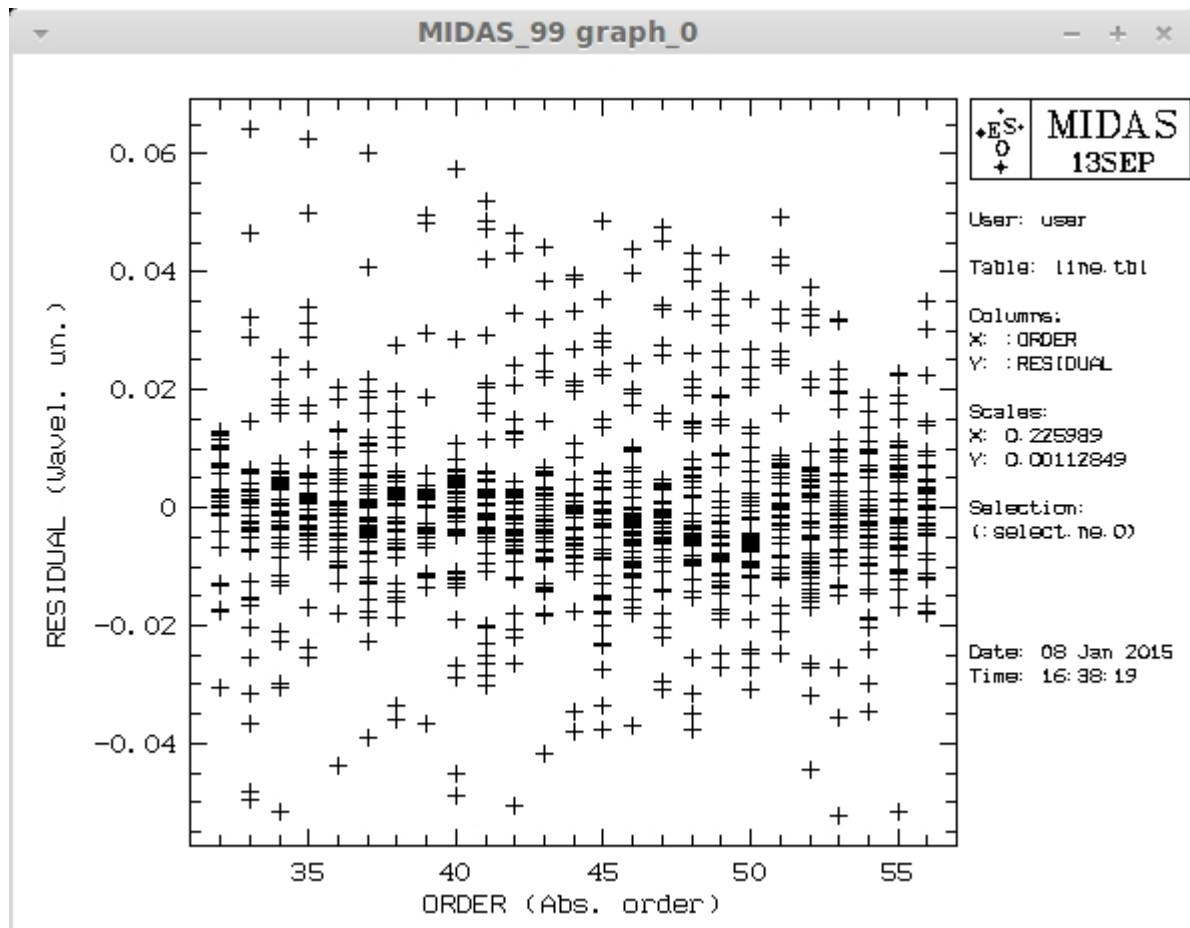


Abb. 37: Restfehler der Wellenlängenkalibrierung

Man kann sich nun dafür entscheiden, die temporären Files zu löschen oder zu behalten:

```
baches_calib: Do you want to clean temporary files [yn] (y)?
```

Geben Sie „y“ ein. .

```
baches_calib: Do you want to clean temporary files [yn] (y)?
clean: cleaning temporary files
use CREATE/DISPLAY or CREATE/GRAPHICS to recreate your windows...
baches_calib: Do you want to calculate R for thar60s.fit [yn] (y)?
```

Nun kann man sich das **spektrale Auflösungsvermögen R** in den verschiedenen Ordnungen sowie das **durchschnittliche spektrale Auflösungsvermögen R** des ThAr-Referenzspektrums berechnen lassen. Zudem wird im Terminal für die meisten verwendeten Fehler die Genauigkeit der Erkennung aufgelistet.

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Das erzielte durchschnittliche spektrale Auflösungsvermögen beträgt $R=21955 \pm 1867$. Dies ist ein sehr hoher Wert. Damit ist die Wellenlängenkalibrierung des ThAr-Referenzspektrums abgeschlossen.

```
Resolving power computed in MIDAS table: thar60s_wrmR.fit  
Postscript file generated in thar60s_wrmR.ps  
Average (kappa-sigma-cleaned) resolution power: 2.19548E+04 +/- 1.86743E+03  
Midas 007>
```

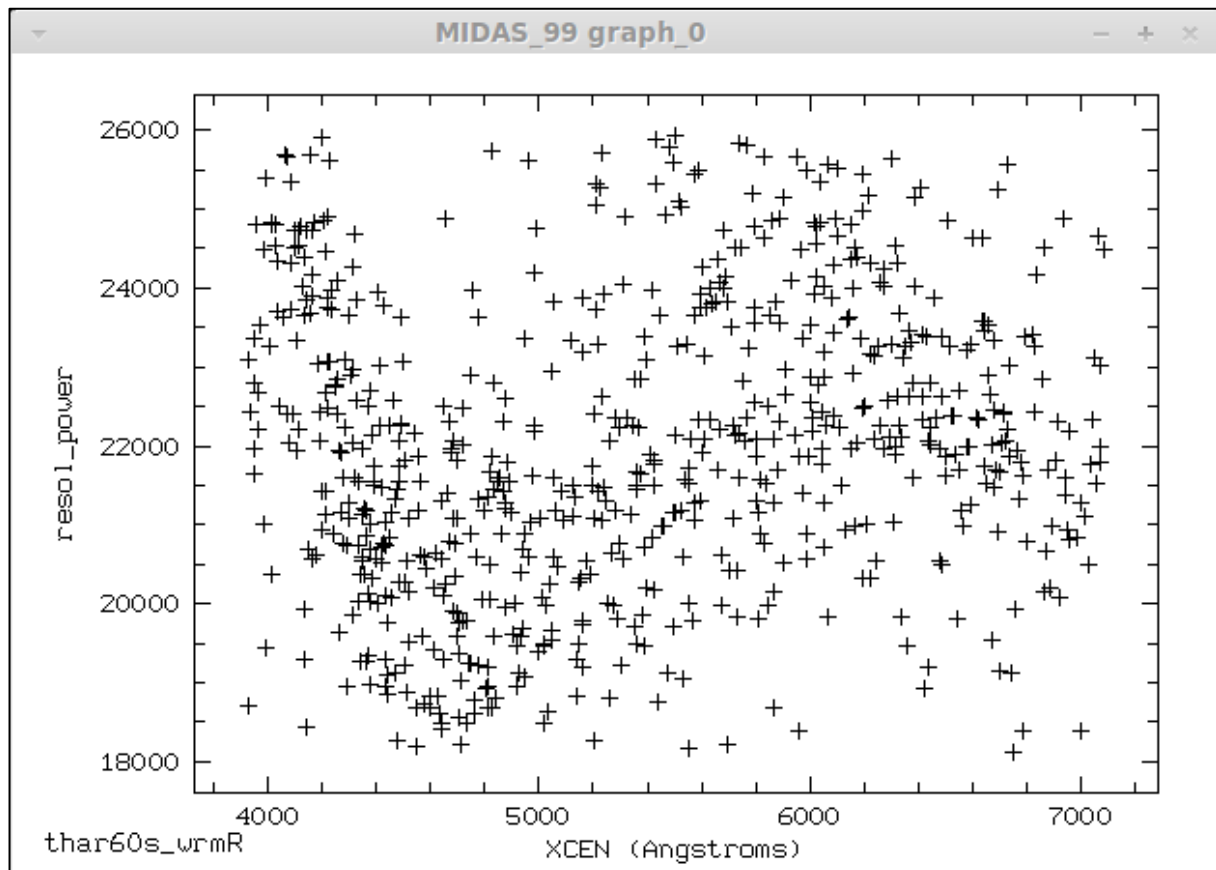


Abb. 38: Das spektrale Auflösungsvermögen R (Datei: thar60s_wrmR.fit)

4.7 Visualisierung des kalibrierten Thorium-Argon-Spektrums

```
Midas > crea/grap
```

```
Midas > plot/axes 3900,7100 0,65535 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
```

```
Midas > overplot thar60s_wrm.fit
```

```
Midas 008> plot/axes 3900,7100, 0,65535 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 009> overplot thar60s_wrm.fit
```

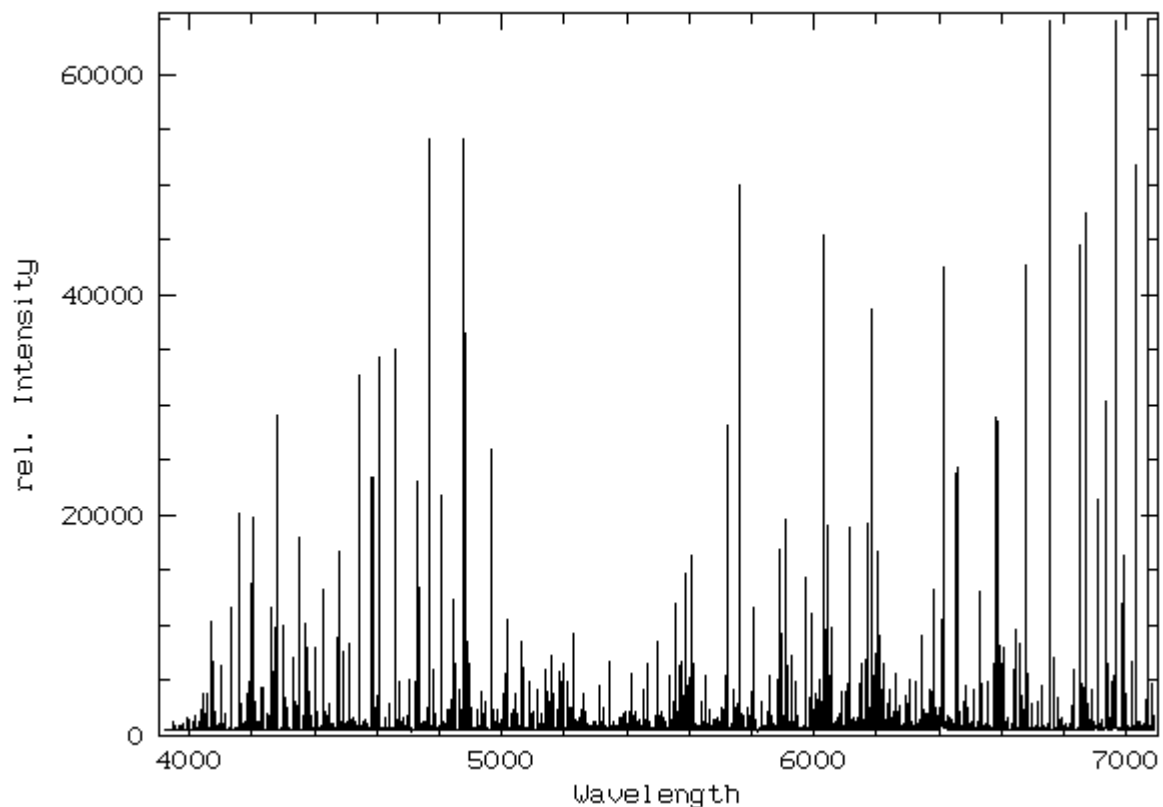


Abb. 39: Das kalibrierte ThAr-Spektrum (Datei: thar60s_wrm.fit)

4.8 Kalibrierung von Sternspektren

Im nächsten Schritt wird die Kalibrierung des Sonnenspektrums **sun240s.fit** mit Hilfe des kalibrierten ThAr-Referenzspektrums vorgenommen. Die Kalibrierung der Referenzlampe wird nun auf das Sternspektrum übertragen. Voraussetzung dafür ist, dass sich in der Zeit zwischen der Aufnahme des Referenzspektrums und der Aufnahme des Sternspektrums keinerlei Verschiebungen größer als $9\mu\text{m}$ zwischen den Spektren ergeben haben. Der BACHES Echelle-Spektrograf wurde in Hinsicht auf optimale thermische Konstanz und höchste mechanische Steifigkeit konstruiert, so dass dies gewährleistet sein sollte, sofern die CCD-Kamera entsprechend fest angeschlossen ist. Überprüfen Sie am BACHES ggf. den Anschluss der CCD-Kamera. Trotzdem ist der Benutzer angehalten, im Laufe einer Nacht häufiger ein ThAr-Referenzspektrum aufzunehmen, um auch minimale Driften, die über lange Zeiträume grundsätzlich nicht auszuschließen sind, zu erfassen und in die Kalibrierung durch Bildung eines Mittelwerts einzubringen.

4.8.1 Erzeugung eines Masterflats

Es wird empfohlen, die Dunkelbildkorrektur mit Hilfe der Kameraaufnahmesoftware vorzunehmen, bevor die Files in diesen Kalibrierungsprozess übernommen werden. Da im vorliegenden Beispiel des Bildes **sun240s.fit** bereits ein **Darkframe** bereits von der Aufnahme subtrahiert wurde, sollte an dieser Stelle noch eine **Flatfield-Korrektur** mit Hilfe des Flats **ff150s.fit** durchgeführt werden. Damit werden Intensitätsunterschiede, verursacht durch abgelagerten Staub oder Vignettierung weitgehend ausgeglichen. Allerdings muss aus dem Flatfield **ff150s.fit** als erstes ein **MASTERFLAT** generiert werden. Dies geschieht mittels des Kommandos

```
Midas > indisk/fits ff150s.fit master_flat.bdf
```

wobei das Masterflat genau so bezeichnet werden muss, weil es später vom Skript **baches_pipeline.prg** unter diesem Dateinamen gesucht wird!

```
Midas 010> indisk/fits ff150s.fit master_flat.bdf
no CDELTi nor CDi_j matrix found... STEPi set to 1.0
FITS file: ff150s.fit converted to: master_flat.bdf
Midas 011> |
```

Es haben sich im Laufe der Kalibration etliche, teils temporäre Dateien angesammelt. Inhaltsverzeichnis des Ordners **sun1603**:

```
Midas > $ls
```

```
bachesIORDE.fit  graph_wnd099.plt  outnames.cat      thar60s_wr.fit
bachesLINE.fit   i__i.cat          progress.out       thar60s_wrm.bdf
bachesLINE.tbl   line.tbl          r__r.cat          thar60s_wrm.fit
bachesORDE.fit   master_flat.bdf   sun240s.fit        thar60s_wrmR.fit
bachesORDE.tbl   middumma.tbl      thar_1000lines.tbl thar60s_wrmR.ps
back.tbl         middummt.tbl      thar60s_.bdf      thar60s_wrmR.tbl
compute_fits.prg nectab.tbl        thar60s.fit        thar60s_w.bdf
ff150s.fit       NULL              thar60s_w.bdf      thar60s_wr.bdf
FORGRdrs.KEY     order.tbl         thar60s_wr.bdf
Midas 012>
```

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

4.8.2 Kalibrierung des Sternspektrums mit dem Masterflat

Midas > pipeline/baches sun240s.fit

Das Skript konvertiert die Datei in das MIDAS-Format „.bdf“ und vollzieht die Flatfield-Korrektur „p“ automatisch mit Hilfe der Datei **master_flat.bdf**, nimmt dann die Wellenlängenkalibrierung „w“ vor, transformiert die erkannten Ordnungen auf denselben Maßstab „r“ und fügt diese zu einem Spektralprofil „m“ (merged) zusammen.

Die Datei **sun240s_pwrm.fit** ist das Spektralprofil, wobei folgende Kommandos ausgeführt wurden:

p: Flatfield-Korrektur
w: Wellenlängenkalibrierung
r: Re-Binning
m: Alle erkannten Ordnungen aneinanderfügen

```
Midas 012> pipeline/baches sun240s.fit
pipeline: Version: baches_pipeline
pipeline: Bias=master_bias.bdf
pipeline: Dark table=master_dark.tbl
pipeline: Flat=master_flat.bdf
pipeline: Echelle session=baches
pipeline: Flux=master_flux.bdf

compute_fits.prg: sun240s.fit converted to sun240s_.bdf
pipeline: creating sun240s_p with master_flat.bdf divided
Background table back.tbl not stored. Created...
Creating table back.tbl...
pipeline: sun240s_pw calibrated in wavelength
Sampling step = 0.1071
pipeline: sun240s_pwr rebined
pipeline: converting sun240s_pwr.bdf to sun240s_pwr.fit
pipeline: sun240s_pwrm merged
pipeline: converting sun240s_pwrm.bdf to sun240s_pwrm.fit
Midas 013>
```

Das kalibrierte Spektralprofil wird wie folgt visualisiert:

Midas > crea/grap

Midas > plot/axes 3900,7100 0,5 0 "Wavelength" "Relative Intensity"

Midas > overplot/row sun240s_pwrm.fit

```
Midas 016> plot/axes 3900,7100, 0,5 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
Midas 017> overplot sun240s_pwrm.fit
```

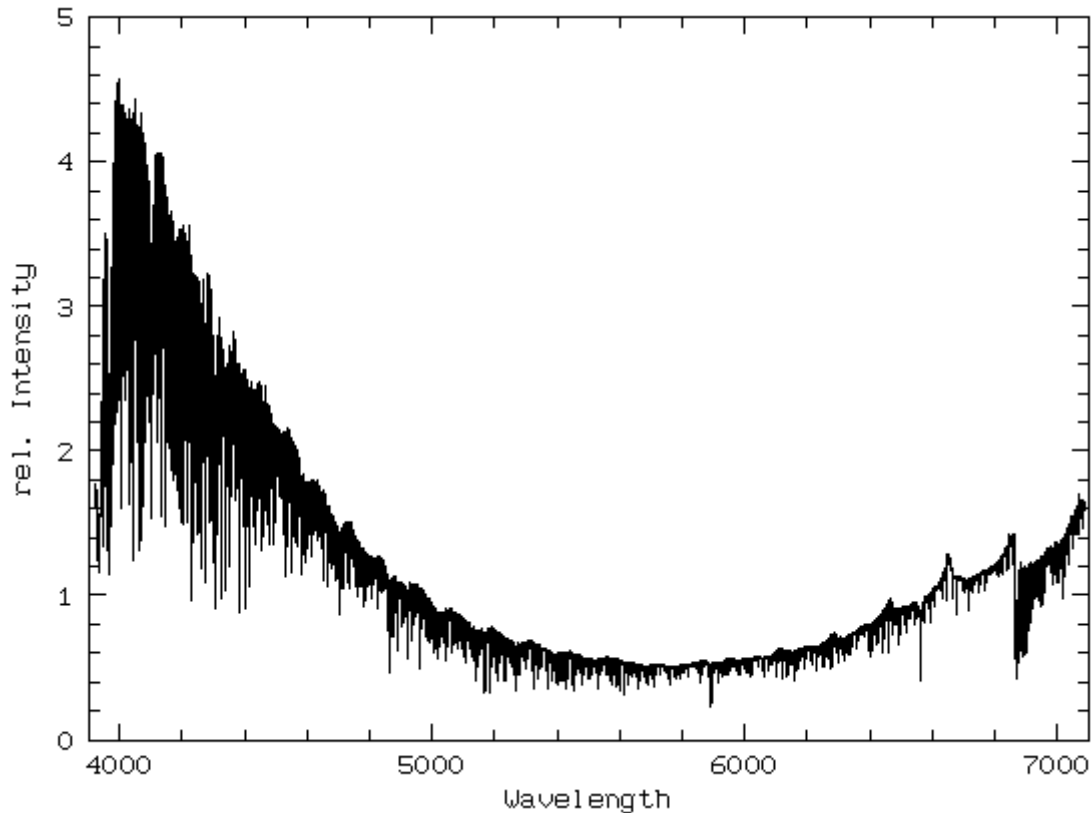


Abb. 40: Wellenlängenkalibriertes Spektralprofil des Sonnenspektrums `sun240s_pwrm.fit` nach Flatfielding mit dem Masterflat von ca. 3923Å bis ca. 7086Å.

Folgende Schlüsse lassen sich aus dem Spektralprofil ziehen:

1. Das Spektrum stellt NICHT den wahren Intensitätsverlauf im Spektrum dar. Das Spektrum muss, um den wahren Kontinuumsverlauf (Flux) zu zeigen, mit Hilfe eines geeichten Referenzspektrums (Stern selben Spektraltyps) korrigiert werden. Die absolute Flusskalibrierung wird hier nicht behandelt. Dies kann mit auch mit anderer Software als MIDAS, wie bsp. VisualSpec⁷ oder ISIS⁸ durchgeführt werden.
2. Die 25 aneinander gesetzten Ordnungen sind immer noch als kleine „Bögen“ erkennbar. Das Flatfielding mit der Halogenlampe hat diese nicht vollständig kompensieren können.

⁷ <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/>

⁸ http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis_en.htm

4.8.3 Normierung des Sternspektrums

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass man die Normierung eines Sternspektrums und alle sich anschließenden Auswertungen, wie beispielsweise die Messung von Wellenlängenverschiebungen aufgrund des Dopplereffekts, sowie Flussmessungen in Spektrallinien auch mit anderen Programmen erledigen kann. Das Spektrum liegt im standardisierten FITS-Format vor und kann von anderen Programmen importiert werden. Der Autor dieser Zeilen schätzt für diese Zwecke das Programm VisualSpec, welches diese Aufgaben bravourös meistert.

Nur der Vollständigkeit halber soll die Normierung des Sternspektrums in MIDAS noch behandelt werden.

Was versteht man unter dem Begriff „Normierung“? Nur wenn man den absoluten Strahlungsfluss messen möchte oder aber den wahren Kontinuumsverlauf bsp. für die Ermittlung des Strahlungsmaximums benötigt (Anpassung einer Planck'schen Strahlungskurve), wird man auf die Eichung mit Hilfe eines Referenzsternspektrums gleichen Spektraltyps zurückgreifen. Für die meisten Zwecke ist es legitim, den Kontinuumsverlauf, über den sich die Emissionslinien erheben bzw. unter dem sich die Absorptionslinien absenken, auf eine horizontale „Einheitslinie“ zu korrigieren. Dieses Verfahren, das Kontinuum auf die Intensität „1“ zu setzen, nennt man Normierung⁹.

Für die Normierung wird aus dem Spektralprofil des Sterns (Abb. 40) das sogenannte „Pseudokontinuum“ extrahiert und durch dieses dividiert. Es ist durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie der unterschiedlichen wellenlängenselektiven Quanteneffizienz des Sensors, der Absorption der Erdatmosphäre, der Vignettierung der Aufnahmeeinheit usw. Alle diese Faktoren verfälschen in Form einer sogenannten **Instrumentenfunktion** das Spektrum. Diese wird im englischen Sprachgebrauch auch **Response** genannt.

An dieser Stelle erfolgt eine Erweiterung der verfügbaren Kommandos für Echelle-Spektrografen (falls noch nicht geladen):

```
Midas > set/cont echelle
```

Erstellung der Instrumentenfunktion **response.bdf**

```
Midas > normalize/spec sun240s_pwrn.fit response.bdf
```

Mit Hilfe der Maus werden entlang des Kontinuums in Abb. 41 am oberen Rand durch Klicken Stützstellen (Kreuze) generiert, deren Koordinaten im Terminalfenster aufgelistet werden. Beendet wird der Vorgang, indem man mit der rechten Maustaste in das Bild klickt.

Und dies sind die ersten Stützstellen für das Polynom

```
Midas 015> normalize/spec sun240s_pwrn.bdf response
>>> Use graphics cursor to enter data <<<
*** INFO: Creating new table file
Frame: sun240s_pwrn.bdf


| X-axis  | Y-axis  | Pixel | Line | X-position | Y-position | Pixel_value |
|---------|---------|-------|------|------------|------------|-------------|
| 3928.8  | 1.75548 | 48    | 1    | 3928.7593  | 0          | 1.51292     |
| 3946.38 | 2.37711 | 213   | 1    | 3946.4265  | 0          | 2.86068     |
| 3946.38 | 3.20595 | 213   | 1    | 3946.4265  | 0          | 2.86068     |
| 3990.32 | 3.79995 | 623   | 1    | 3990.3267  | 0          | 3.11184     |
| 3999.1  | 4.29726 | 705   | 1    | 3999.1069  | 0          | 4.00798     |
| 4007.89 | 4.51828 | 787   | 1    | 4007.887   | 0          | 3.40766     |


```

⁹ <http://www.ursusmajor.ch/downloads/beitrag-zur-spektroskopie--9.1.pdf> (Seite 22ff)

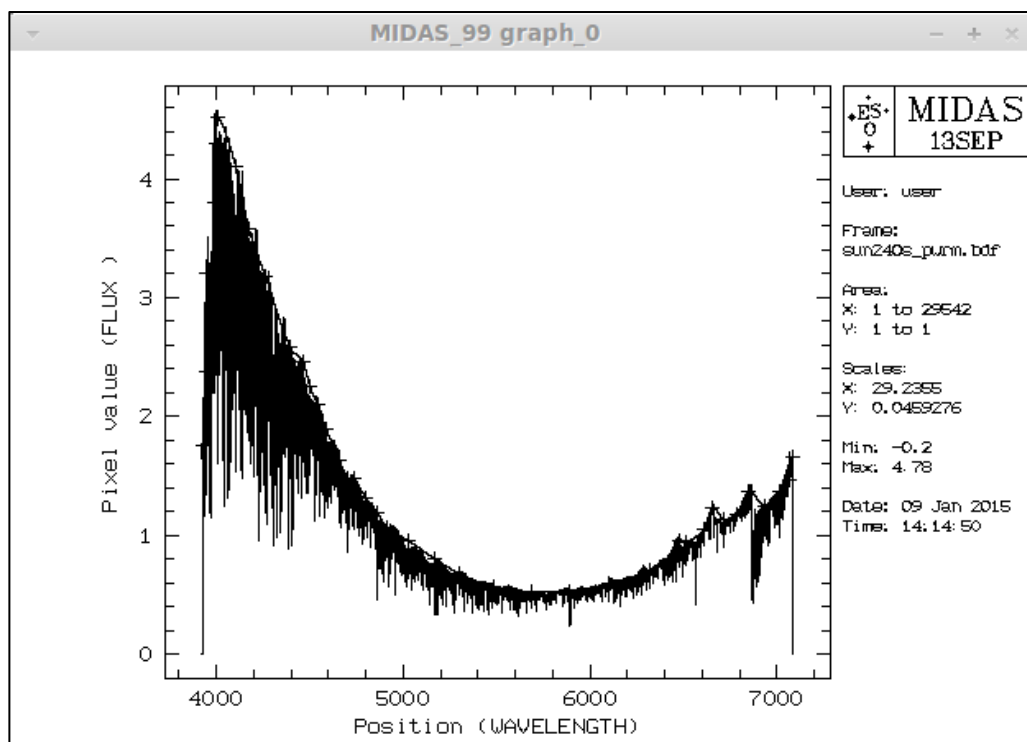


Abb. 41: Stützstellen (+) per Mausklick entlang des Kontinuums einfügen. Beenden mit Klick auf rechter Maustaste. Die Kontinuumskurve `response.bdf` wurde berechnet und eingefügt. Bemerkung: Bei diesem Maßstab ist das Verfahren relativ ungenau durchzuführen. Man sollte das Arbeitsfenster `crea/gra` vorher vergrößern, bsp. auf 1200 px x 800px: `Midas > crea/gra 1200,800,0,0`

Die Instrumentenfunktion `response.bdf` liegt im Ordner `sun1603`. Sie wird nun visualisiert

```
Midas > plot/axes 3900,7100 0,5 0 "Wavelength" "Relative Intensity"
```

```
Midas > overplot response.bdf
```

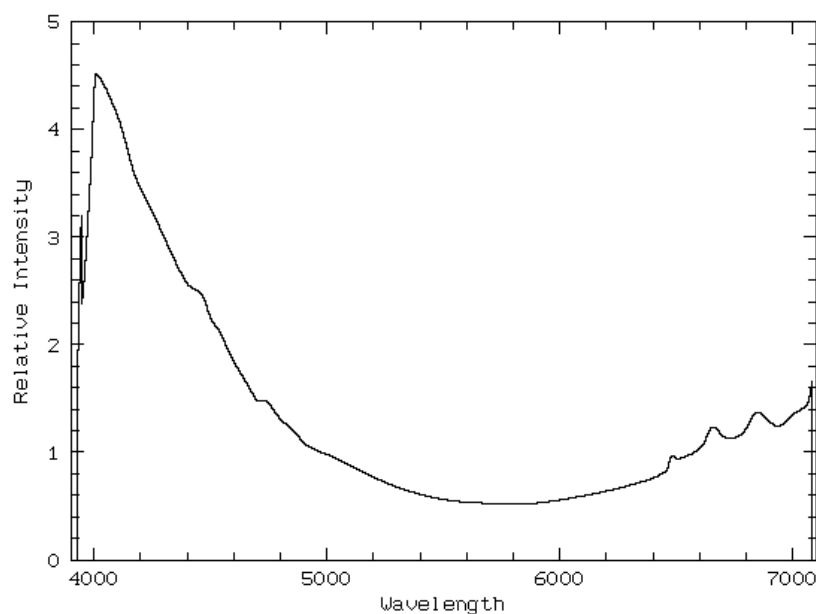


Abb. 42: Die Instrumentenfunktion `response.bdf`

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Im nächsten Schritt wird das Sternspektrum durch die Instrumentenfunktion dividiert. Der manuell hinzuzufügende Buchstabe "n" weist auf die Normierung hin:

```
Midas > compute/image sun240s_npwrn.bdf = sun240s_pwrn.fit/response.bdf
```

```
Midas > plot/axes 3900,7100 0,1.5 0 "Wavelength" "Relative Intensity"
```

```
Midas > overplot sun240s_npwrn.bdf
```

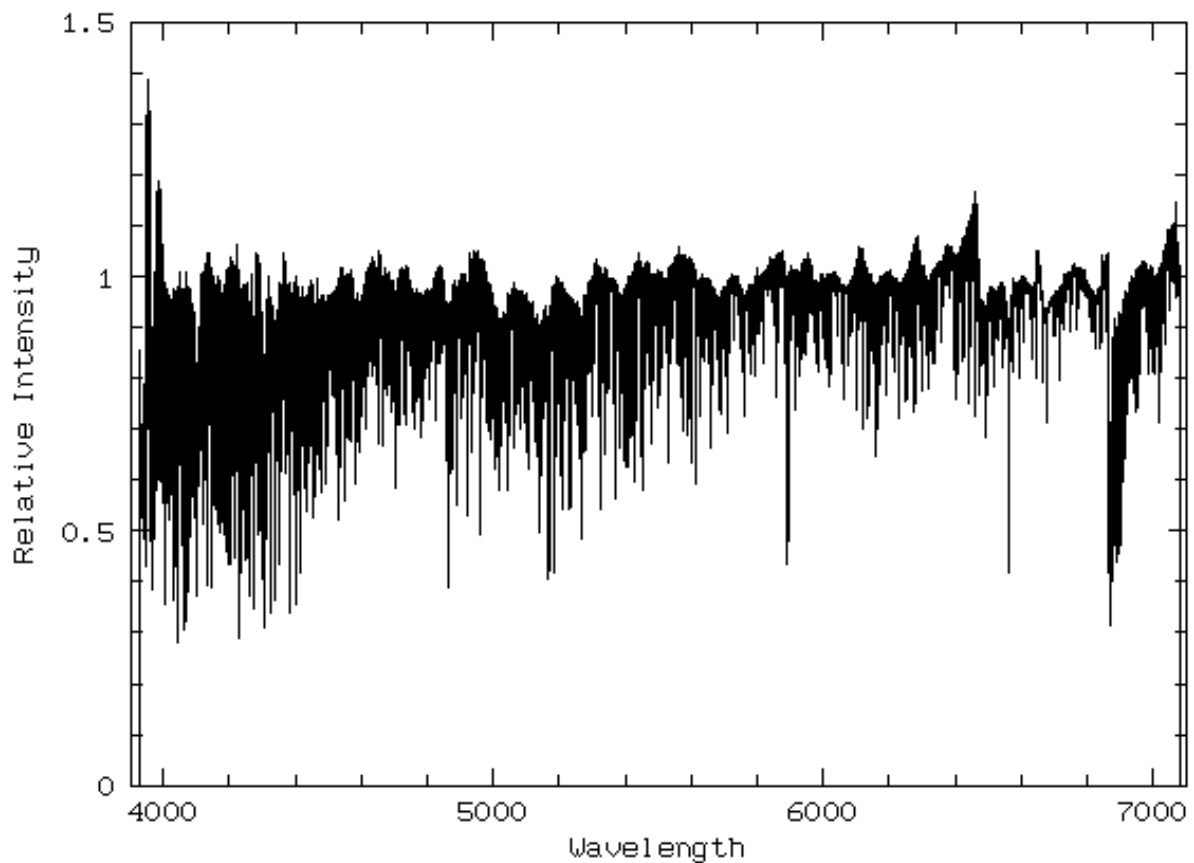


Abb. 43: Ein grob auf "1" normiertes Sternspektrum sun240s_npwrn.bdf

Das Ergebnis **sun240s_npwrn.bdf** wird nun in das Fits-Format konvertiert, um das Spektralprofil auch anderen Programmen zugänglich zu machen.

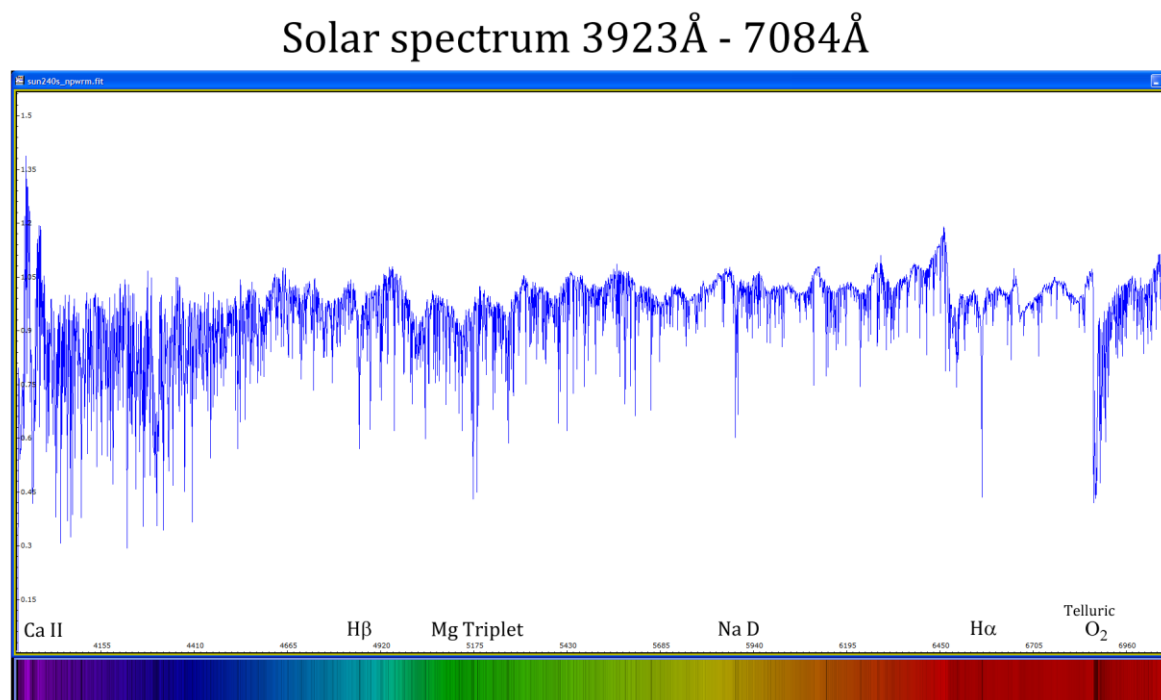
```
Midas > outdisk/fits sun240s_npwrn.bdf sun240s_npwrn.fit
```

4.8.4 Visualisierung des Gesamtspektrums

Die Normierung auf "1" muss für wissenschaftliche Zwecke sehr viel genauer erfolgen, als hier durchgeführt. Normalerweise normiert man das Spektrum immer nur auf relativ kurzen Abschnitten im Bereich zu vermessender Spektrallinien.

Für die Erzeugung eines synthetischen Spektrums, schwarzweiß oder farbig, greifen wir hier auf die Software VisualSpec zurück.

Dargestellt ist das normierte Spektrum **sun240s_npwrn.fit**



Daylight spectrum taken on December 21, 2014 with BACHES Echelle Spectrograph and SBIG ST-1603ME Camera. Calibration spectra obtained with Remote Calibration Unit (RCU). Spectrum calibrated with ThAr-Reference lamp and Halogen Flatfield lamp. Spectrum calibration with ESO MIDAS software. Wavelength calibration mean RMS=0.015Å. Bernd Koch, Baader Planetarium GmbH, Mammendorf/Germany -- www.baader-planetarium.de

Abb. 44: Darstellung des normierten Sonnenspektrums **sun240s_npwrn.fit** (gemäß Abb. 40) mit VisualSpec Software

Im Folgenden wird das normierte Sonnenspektrum **sun240s_npwrn.fit** hinsichtlich der erreichten Kalibrierungsgenauigkeit abschnittsweise untersucht.

4.8.5 Kalzium-Linien Ca II K (3933.66Å) und H (3968.47Å) im UV

```
Midas 022> plot/axes 3929,4000 0,1.5 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 023> overplot sun240s_npwrn.fit
```

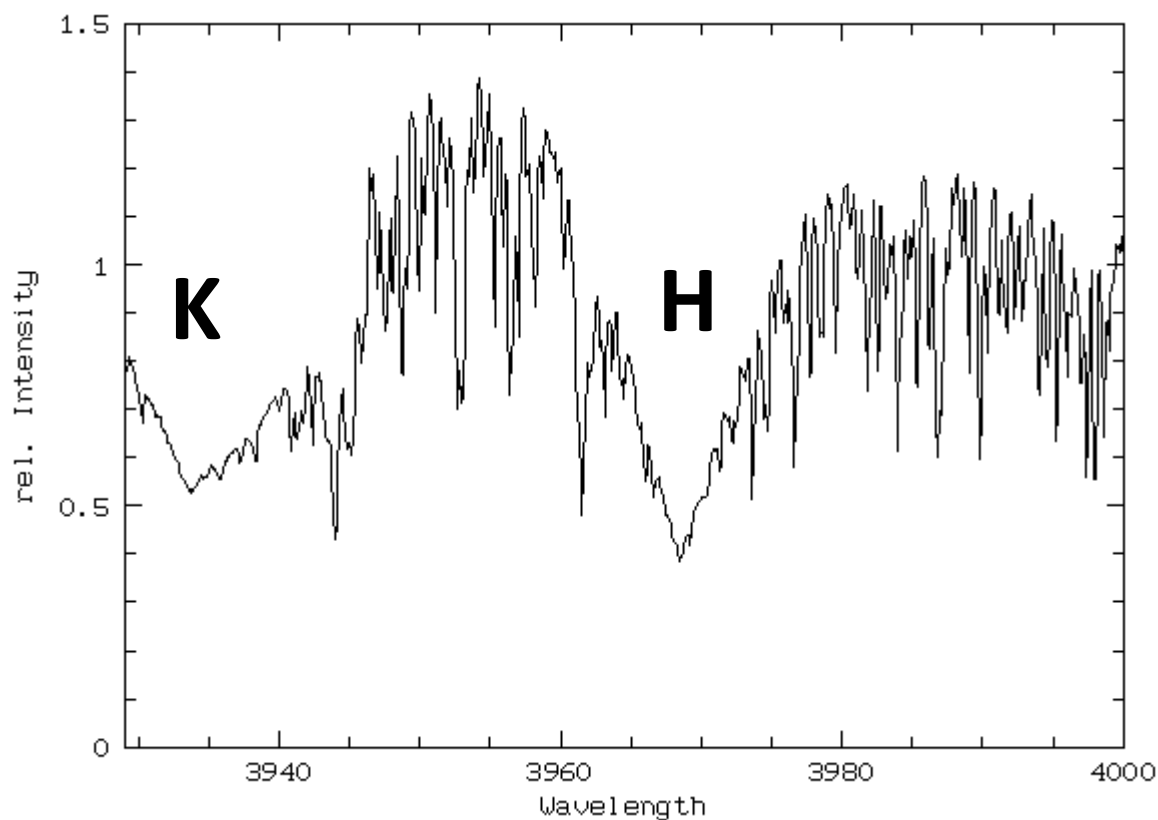
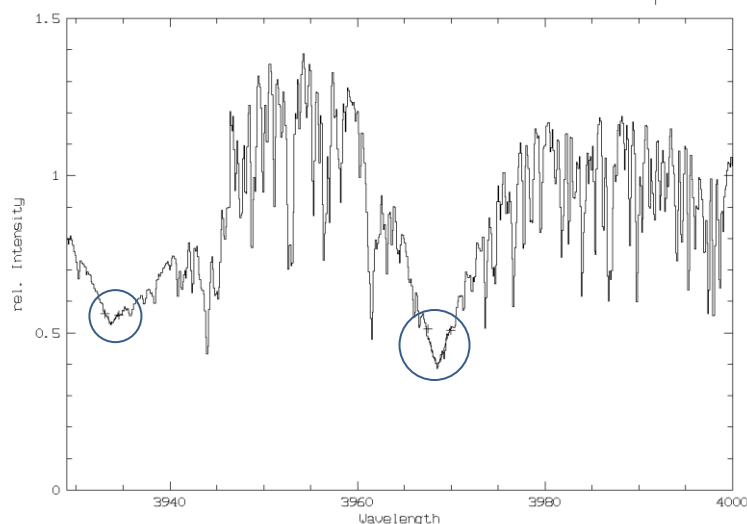


Abb. 45: Die Kalzium-Linien im Sonnenspektrum. Die UV-Grenze bei ca. 3923Å ergibt sich aus der Begrenzung des Sensors KAF-1603. Ein breiterer Sensor wie der KAF-8300 geht geringfügig weiter ins UV bis ca. 3900Å, ist dort jedoch wesentlich unempfindlicher

```
Midas 013> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
3933.074	3934.555	3933.771	0.52652	0.74940
3967.502	3969.946	3968.560	0.38664	1.6875



Hinweis: Die Flügel der Ca II-Linien weichen vom gefitteten Gaußprofil ab, so dass die Linienminima eng eingegrenzt wurden bei dieser Messung.

Abb. 46: Mittenwellenlängen und Abweichungen gegenüber den Ruhewellenlängen:

$$\Delta\lambda = 3933.771\text{Å} - 3933.66\text{Å} = 0.11\text{Å}$$

$$\Delta\lambda = 3968.560\text{Å} - 3968.47\text{Å} = 0.09\text{Å}$$

4.8.6 Das Magnesium-Triplett (5167.33Å / 5172.68Å / 5183.61Å)

```
Midas 017> plot/axes 5160,5190 0.4,1 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 018> overplot sun240s_npwrn.fit
```

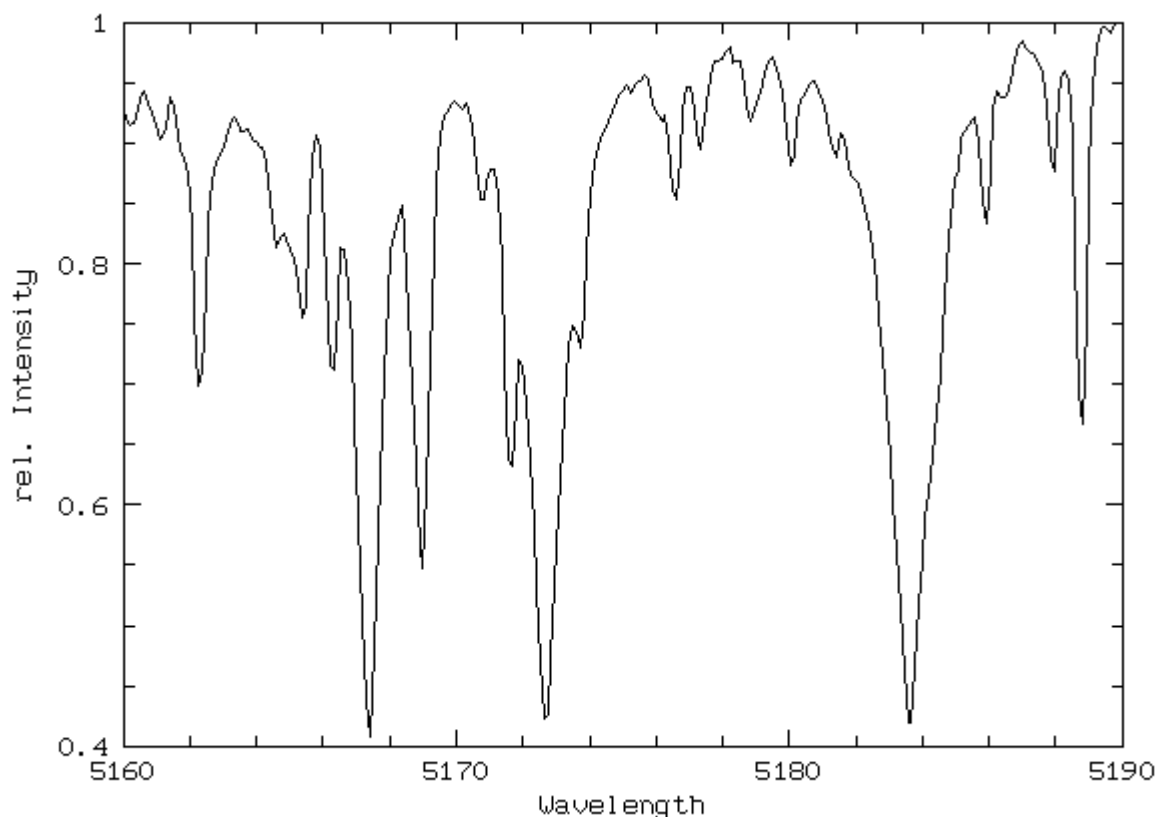


Abb. 47: Das Magnesium-Triplett 5167,33Å, 5172,68Å, 5183,61Å

```
Midas 019> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
5166.572	5168.255	5167.370	0.40800	0.68790
5172.042	5173.305	5172.682	0.42332	0.72136
5180.699	5185.507	5183.640	0.41854	1.5486

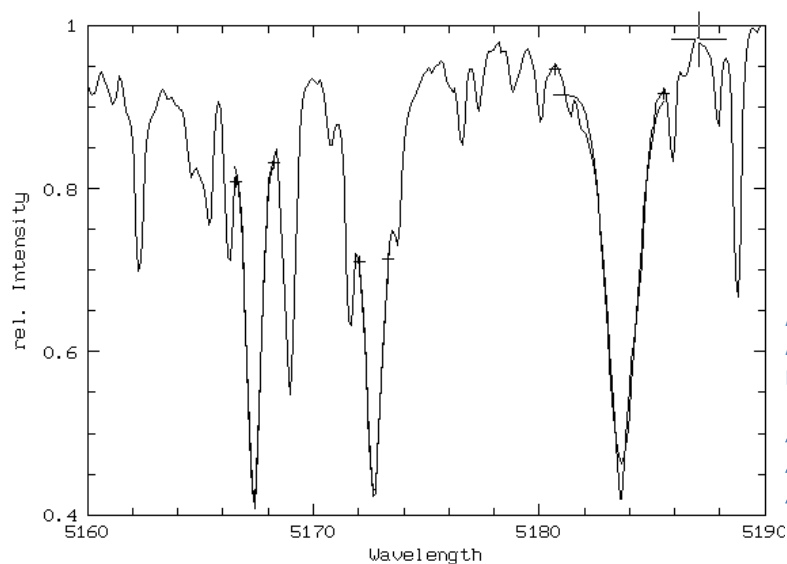


Abb. 48: Mittenwellenlängen und Abweichungen gegenüber den Ruhewellenlängen:

$$\Delta\lambda=5167.370\text{\AA}-5167.33\text{\AA}=+0.04\text{\AA}$$

$$\Delta\lambda=5172.68\text{\AA}-5172.682\text{\AA}=-0.02\text{\AA}$$

$$\Delta\lambda=5183.64\text{\AA}-5183.61\text{\AA}=+0.03\text{\AA}$$

4.8.7 Natrium-Dublett (D2: 5889.950Å, D1: 5895.924Å)

```
Midas 012> plot/axes 5885,5900 0.4,1.1 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 013> overplot sun240s_npwrn.fit
```

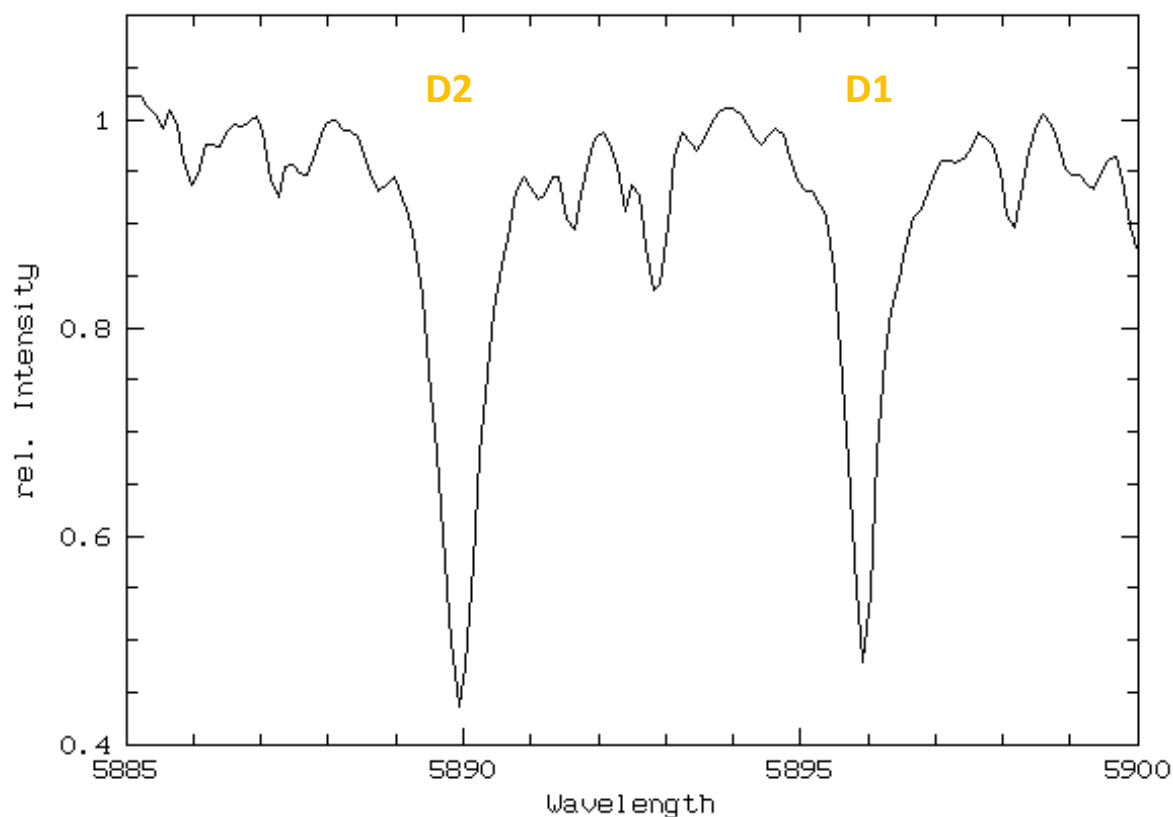


Abb. 49: Die Natrium D-Linien D2: 5889,950Å und D1: 5895,924Å

```
Midas 014> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
5887.956	5892.013	5889.936	0.43685	0.75348
5894.598	5897.724	5895.933	0.47956	0.61300

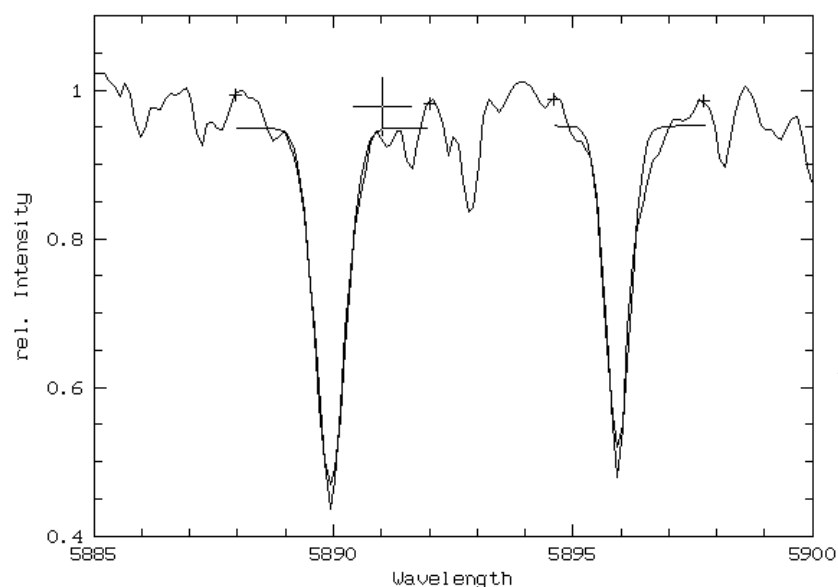


Abb. 50: Mittenwellenlängen und Abweichungen gegenüber den Ruhewellenlängen:

D2: $\Delta\lambda = -0.01\text{Å}$
D1: $\Delta\lambda = -0.009\text{Å}$

4.8.8 H α -Linie (6562.852Å)

```
Midas 008> plot/axes 6550,6580 0.4,1 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 009> overplot sun240s_npwrn.fit
```

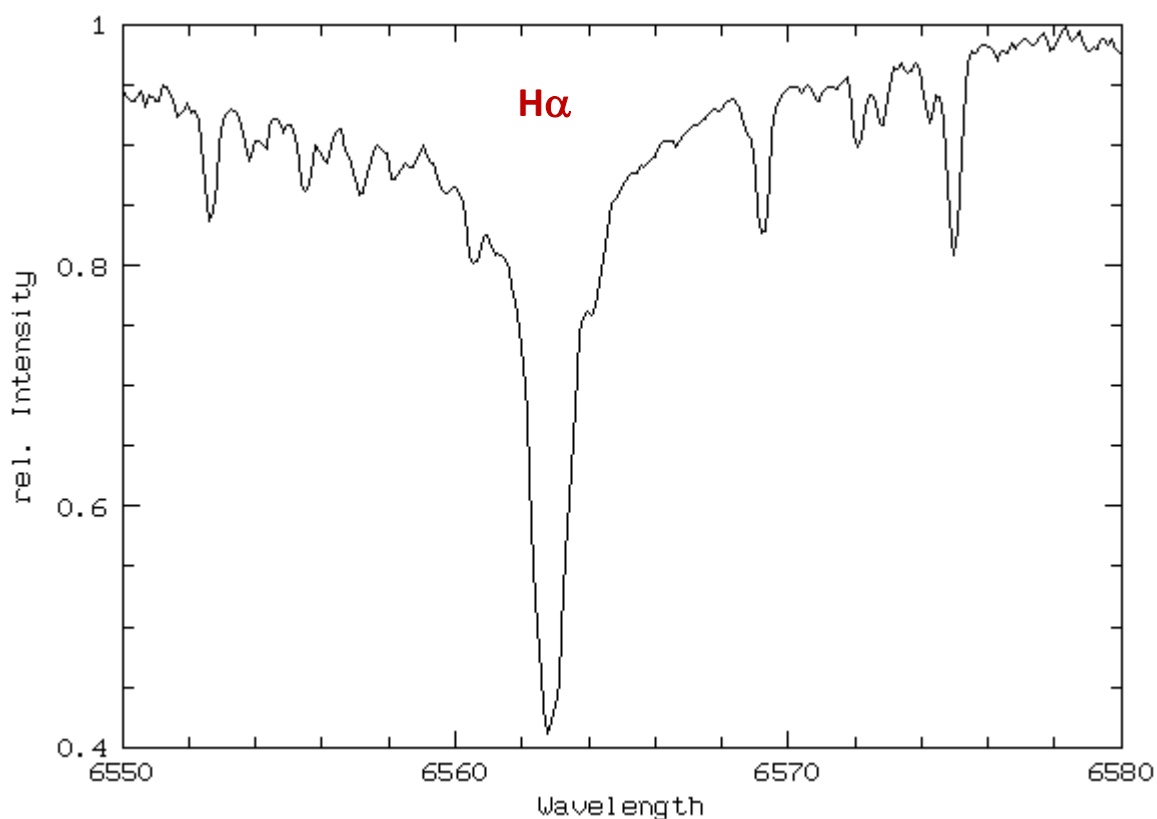


Abb. 51: : H α -Linie mit benachbarten Wasserdampflinien

```
Midas 006> overplot sun240s_npwrn.fit  
Midas 007> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
6550.682	6579.535	6562.854	0.41775	1.8781

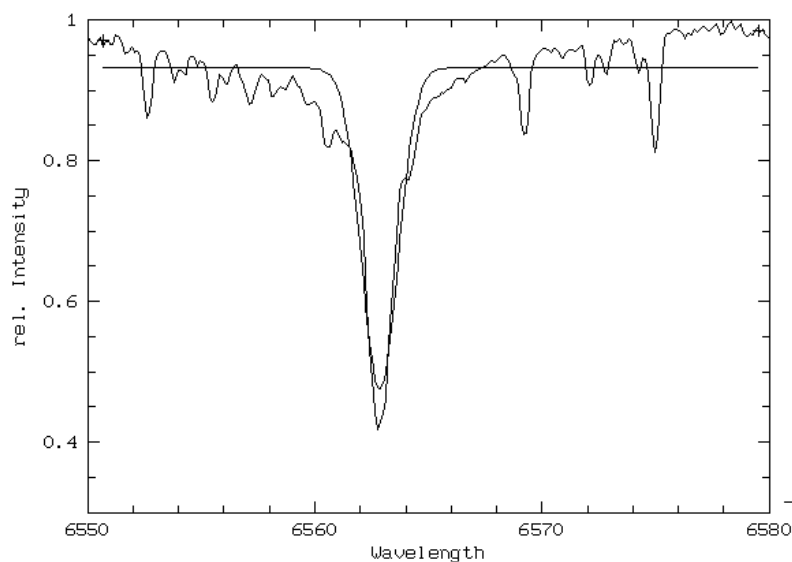


Abb. 52: Mittenwellenlänge:
6562.854Å. Abweichung gegenüber
der Ruhewellenlänge: +0.002Å.
-FWHM: 1.8781Å

4.8.9 Fraunhofer B: Sauerstoffbanden der Erdatmosphäre

```
Midas 053> plot/axes 6860,6930 0,2 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 054> overplot sun240s_pwrn.fit
```

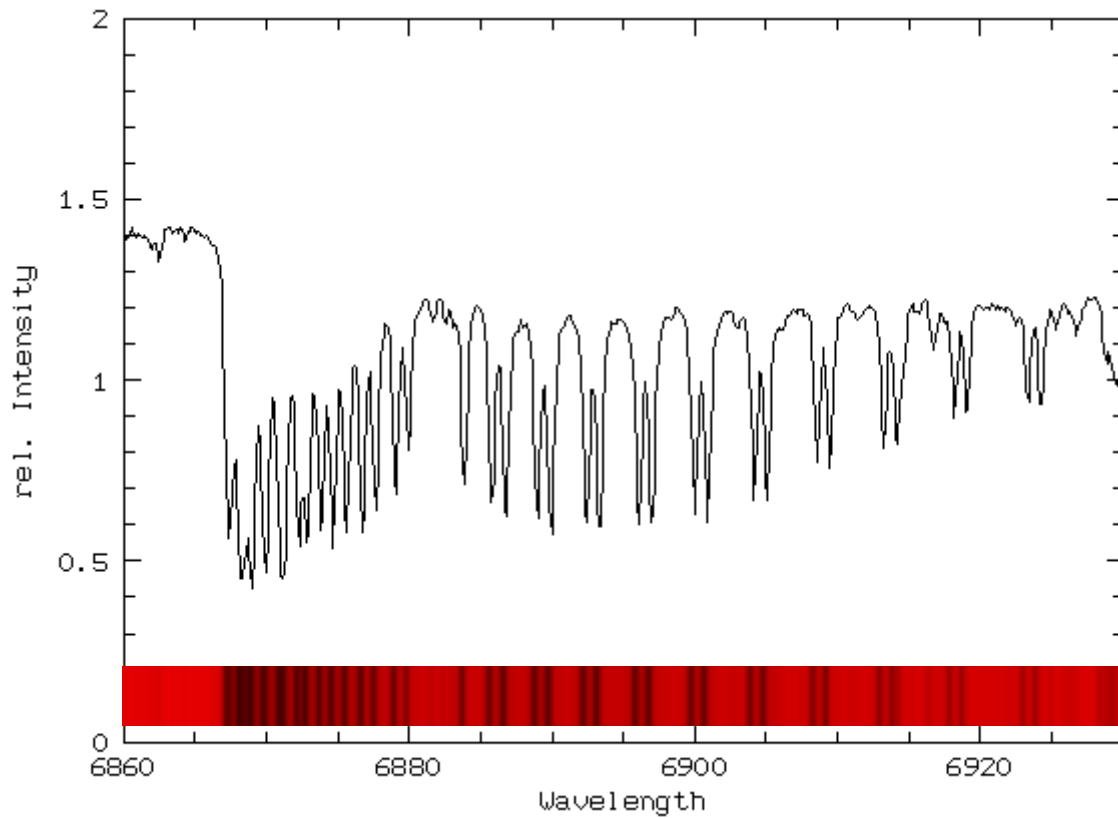


Abb. 53: Fraunhofer-Bande B des Sauerstoff-Moleküls. Oben: Darstellung in MIDAS. Unten: Synthetisches Spektrum, erzeugt mit VisualSpec Software

4.9 Rebinning

Beim Rebinning wird das ursprüngliche Spektrum mit geänderter Samplingrate interpoliert. Dies erhöht zwar nicht die reale Auflösung, kann aber die Darstellung des Spektrums verbessern.

Änderung des Samplings am Beispiel der Datei **sun240s_npwrw.fit**

```
Midas > rebin/linear sun240s_npwrw.fit sun240s_rnpwrw.fit 0.01
```

```
Midas > plot/axes 6555,6570 0.3,1 0 "Wavelength" "Relative Intensity"
```

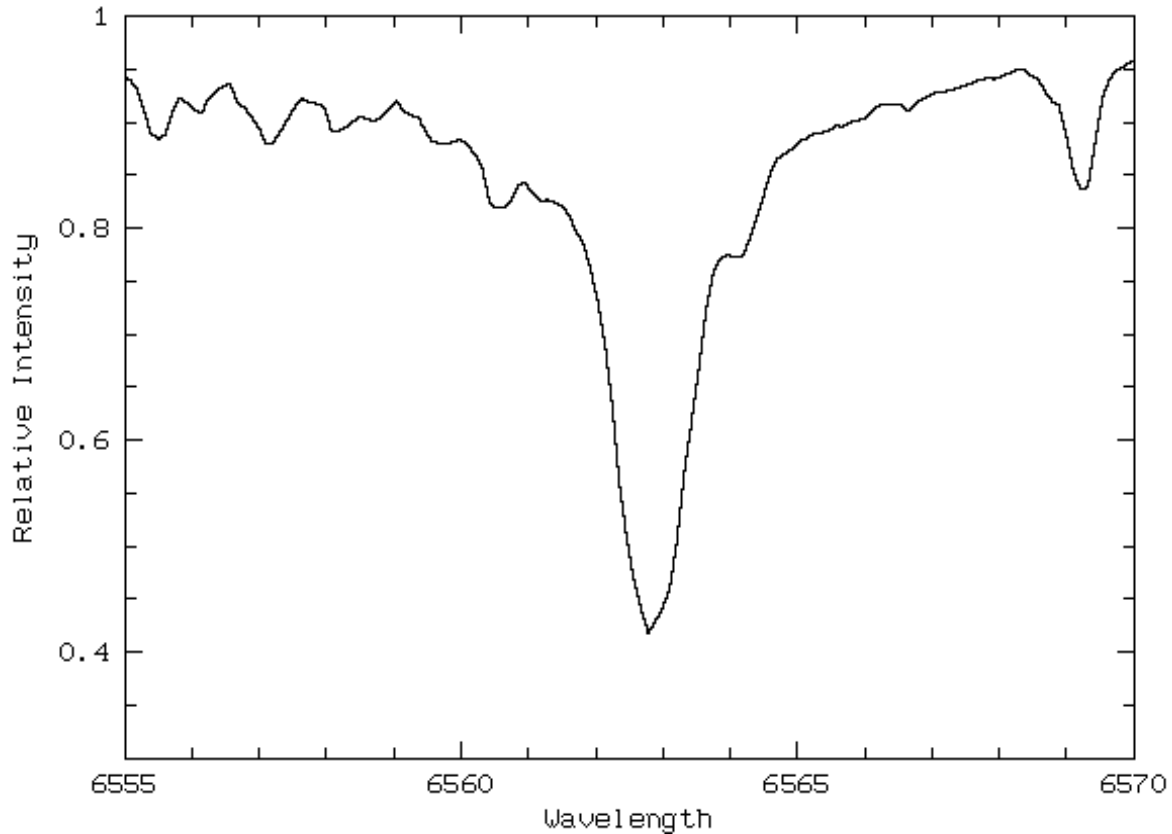


Abb. 54: : H α -Linie im Sonnenspektrum sun240s_rnpwrw.fit (Rebinning mit 0.01Å/px)

4.10 Signal-Rausch-Verhältnis

„In einem normierten Spektrum ist das Rauschen einfach die Standardabweichung des Sternsignals. Der Quotient aus der Stärke des Kontinuums und der Standardabweichung ist das Signal-Rausch-Verhältnis S/N ¹⁰.“

Für das normierte Sternspektrum **sun240s_rnpwrm.fit** wird im Bereich des bei ca. 6500Å das Signal-Rausch-Verhältnis ermittelt.

```
Midas > statis/imag sun240s_rnpwrm.fit [6500:6510]
```

```
Midas > comp 0.9602605 / 0.01601359
```

```
Midas 033> statis/imag sun240s_rnpwrm.fit [6500:6510]
frame: sun240s_rnpwrm.fit (data = R4, format = FITS)
area [6500:6510] of frame
minimum, maximum:          9.156953e-01    9.793665e-01
at pixel (24101),(24154)
mean, standard_deviation:   9.602605e-01    1.601359e-02
3rd + 4th moment:          -1.10113        3.60938
total intensity:            90.2645
exact median, 1. mode, mode: 9.638411e-01    9.158202e-01    9.585173e-01
total no. of bins, binsize: 256            2.496911e-04
# of pixels used = 94 from 24062 to 24155 (in pixels)
Midas 034> comp 0.9602605 / 0.01601359
59.96535
```

Das Signal beträgt 0.9602605 (nicht exakt 1, da nur grob normiert), die Standardabweichung 0.01601359. Somit berechnet sich das S/N zu $S/N=59.96535 \approx 60$

4.11 Export der fertigen Spektren und Tabellen öffnen

4.11.1 Export im Fits-Format

Dateien, die im Zuge der Kalibrierung nur im MIDAS-internen BDF-Format vorliegen, können nicht von anderen Programmen geöffnet werden. Sie müssen in das FITS-Format konvertiert werden:

```
Midas > outdisk/fits <datei.bdf> <datei.fits>
```

4.11.2 Export im Postscript-Format

Ein Grafikfenster kann im PostScript Format gespeichert werden mittels des Befehls

```
Midas > copy/graph postscript
```

Der Befehl muss exakt in dieser Weise eingetippt werden, die abgespeicherte Datei ist **postscript.ps** und muss manuell umbenannt werden.

4.11.3 Tabellen öffnen

Es empfiehlt sich, die Tabellen zu studieren, die die Skripte in MIDAS anlegen.

```
Midas > read/table <datei.tbl>
```

¹⁰ Günther Gebhard, Erste Schritte in ESO-MIDAS, February 14, 2013 auf www.spektros.de

5 Kalibrierung eines Tageslichtspektrums der ST-8300M CCD-Kamera

Bitte führen Sie zuerst die Kalibrierung des Musterdatensatzes der ST-1603ME durch, weil diese ausführlichst beschrieben wurde. Danach sind Sie in der Lage, den Datensatz der ST-8300M zu kalibrieren, wobei wir nur auf die Unterschiede ausführlich eingehen wollen.

5.1 Technische Daten der ST-8300M

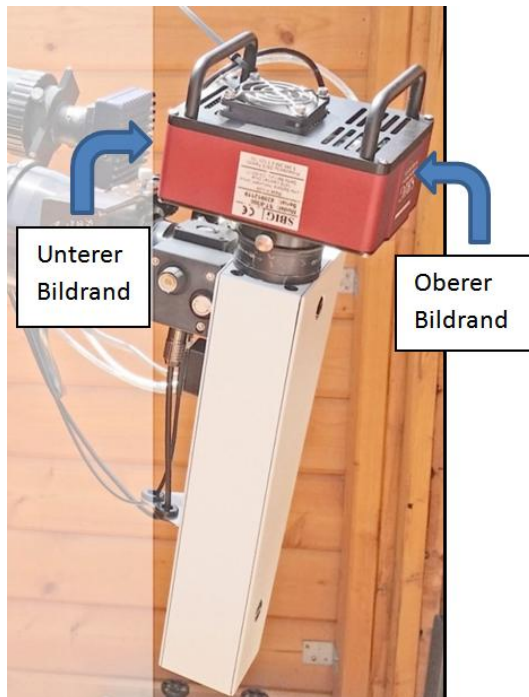


Abb. 55: Die ST-8300M muss in dieser Weise in Bezug auf den BACHES orientiert sein

Der BACHES Echelle-Spektrograf ist für eine CCD-Pixelgröße von $9\mu\text{m}$ optimiert worden. Die ST-8300M in diesem Beispiel oversampled mit $5.4\mu\text{m}$ Pixelgröße und ist andererseits im 2×2 -Binning mit $10.8\mu\text{m}$ Pixelgröße nicht ganz optimal angepasst. Man erreicht eine höhere spektrale Auflösung im 1×1 -Binning, allerdings auf Kosten einer deutlich längeren Belichtungszeit. Je nach Anwendungszweck wird man zwischen diesen beiden Binnings wählen, falls man keine $9\mu\text{m}$ -Kamera wie bsp. die ST-1603ME zur Hand hat. Für Flussmessungen (Äquivalentbreite EW^{11}) wählt man das 2×2 -Binning, für die Messung kleinster präziser Wellenlängenverschiebungen bei sehr hellen Sternen eher das 1×1 -Binning. Das Nachfolgemodell der SBIG ST-8300M mit gleichem Sensor ist die STF-8300M¹²

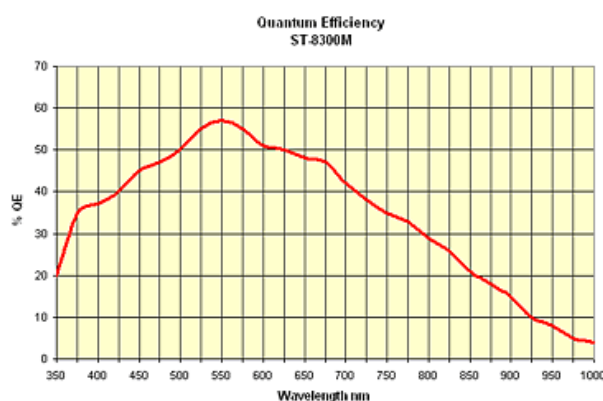


Abb. 56: Technische Daten und Quanteneffizienz der ST-8300M. Das Nachfolgemodell mit dem gleichen Sensor ist die STF-8300M

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

¹¹ EW bedeutet „Equivalent Width“. Die Äquivalentbreite EW ist ein Maß für den Strahlungsfluss in einer Linie

¹² <http://www.sbig.de/stf-8300/stf-8300.htm>

5.2 Der Tageslicht-Datensatz der ST-8300M

Der wesentliche Unterschied zum Übungsdatensatz der ST-1603ME-Kamera besteht in der deutlich längeren Gesamtbelichtungszeit der Kalibrierspektren bei der ST-8300M. Eine Folge der geringeren Quanteneffizienz. Die geringere QE im UV macht längere Belichtungszeiten erforderlich. Eine ausreichend gute Gesamtbelichtung wurde durch Mittelwertbildung erreicht, wobei jede Einzelaufnahmen deutlich unter der Sättigungsgrenze liegen muss, in diesem Fall unter 50.000ADU. Ein Vorteil ist, dass der KAF-8300M-Ordner größer ist und somit mehr Ordnungen erfassen kann.

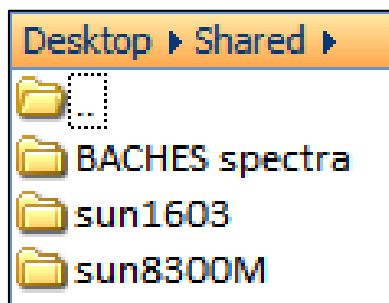
Die Aufnahmen wurden alle im 2x2-Binning aufgenommen mit einer effektiven Pixelgröße von 10.8µm.

Die gezippte Datei sun8300M.zip enthält im Ordner sun8300M die folgenden Dateien:

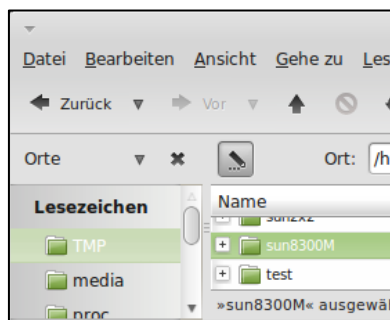
ff20sav.fit: Flatfieldspektrum der RCU-Halogenlampe. Die Datei ist ein Mittelwert (Average) aus 50 Aufnahmen zu je 20s Belichtungszeit.

thar80sav.fit: Thorium-Argon-Referenzspektrum der ThAr-Lampe der RCU. Die Datei ist ein Mittelwert (Average) aus 10 Aufnahmen zu je 80s Belichtungszeit.

sun360s.fit: Tageslichtspektrum mit 360s Belichtungszeit.



Zunächst kopieren Sie bitte den entpackten Ordner **sun8300M** in das Verzeichnis **Shared**.



Von der LINUX-Oberfläche aus kopieren Sie den Ordner in das Verzeichnis **TMP**. Das Verzeichnis **sun8300M** enthält die Dateien **ff20sav.fit**, **thar80s.sav.fit** und **sun360s.fit**

Das Arbeitsverzeichnis lautet:

```
MIDAS > ch TMP/sun8300M
```

```
MIDAS > $ls
```

listet den Inhalt auf

5.2.1 Das Flatfieldspektrum der Halogenlampe

Das Flatfieldspektrum (**ff20sav.fit**), welches mit der Halogenlampe aufgenommen wurde, leistet zweierlei: Erstens korrigiert es Einflüsse von Staub und Vignettierung. Zweitens ist es zwingend erforderlich für eine halbautomatische Wellenlängenkalibrierung mit MIDAS. MIDAS erkennt am Flatfieldspektrum die Lage der Ordnungen und überträgt die Lageinformation auf das ThAr-Referenzspektrum.

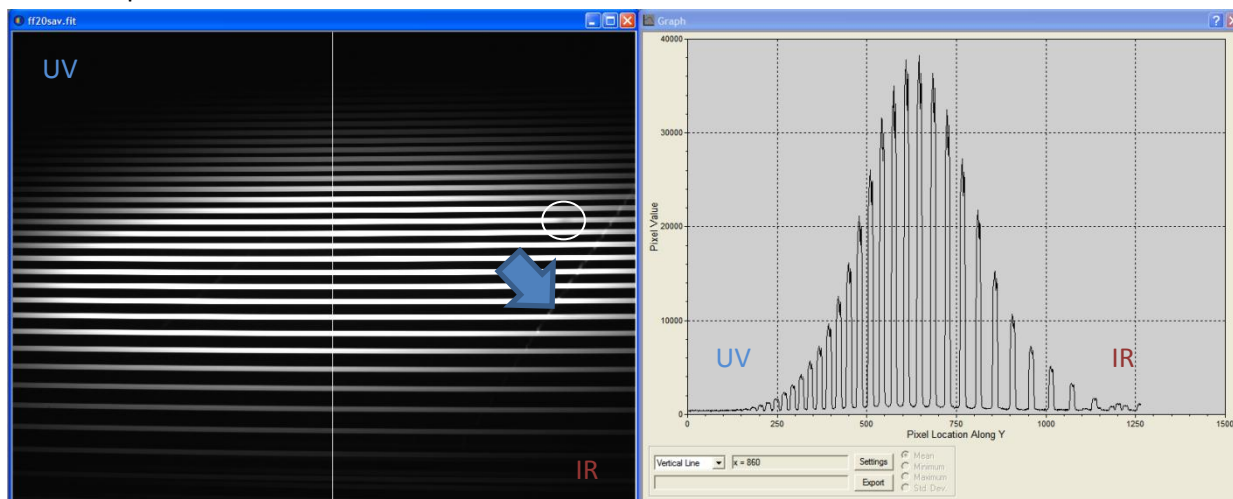


Abb. 57: Flatfield mit der Halogenlampe der RCU, ein Mittelwert aus 50x20s, belichtet mit ST-8300M. Rechts: Vertikaler Intensitätsscan in der Bildmitte. Die Belichtung liegt deutlich unterhalb der Sättigungsgrenze von 65535ADU. 30 Ordnungen sind abgebildet, von denen im folgenden 27 verwendet werden. Darstellung mit MaxIm DL

5.2.2 Das ThAr-Referenzspektrum

Aufgrund des sehr viel größeren Sensors, bildet der KAF-8300M deutlich mehr Ordnungen ab als der KAF-1603ME. Im UV (Abb. 58, oben) ist – nach deutlich längerer Belichtung als beim KAF-1603ME – die Grenze fast identisch. Die im IR eine Überlappung mit höheren Ordnungen vorkommt, können die IR-Ordnungen mit MIDAS zwar erkannt, aber nicht mit hoher Genauigkeit verwertet werden. Man kann diese nutzen, wenn man sie zeilenweise ausliest und kalibriert. Doch dies ist nicht das Ziel dieses Abschnitts, in welchem erreicht werden soll, so viele Ordnungen wie möglich mit hoher Kalibriergenauigkeit zu erkennen.

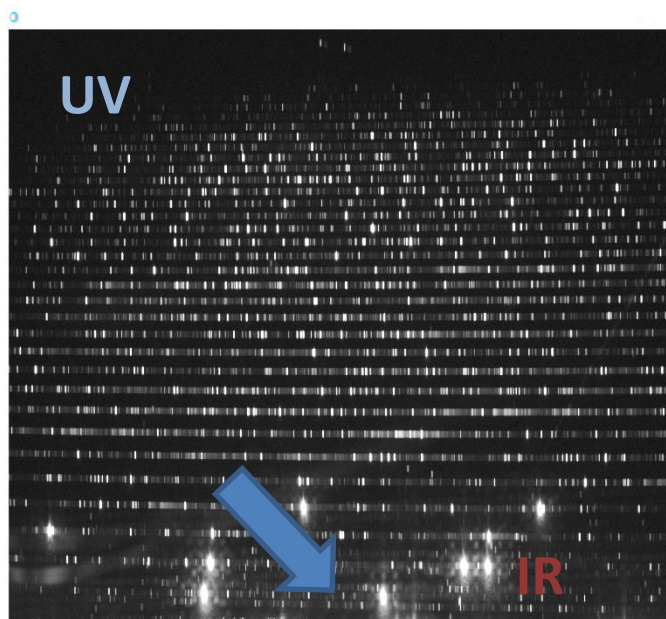


Abb. 58: ThAr-Spektrum, Mittelwert aus 10x80s, belichtet mit der ST-8300M. Die sich überlappenden Ordnungen im Infraroten (blauer Pfeil, unten) begrenzen dort die halbautomatische Erkennung mit MIDAS, die zwischen ca. 3900Å und 7600Å funktioniert

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.3 Das Tageslichtspektrum

Richten Sie den BACHES einfach gegen den Himmel und schalten Sie jegliche Zimmerbeleuchtung aus, welches das Tageslichtspektrum verfälschen könnte. Es spielt keine Rolle, ob es ein blauer Tageshimmel oder ein trüber, wolkenverhangener Tag ist.

Abb. 59 zeigt ein Spektrum der Sonne (**sun360s.fit**), dem die atmosphärischen Wasserdampf- und Sauerstoffabsorptionslinien (um und unter $H\alpha$) überlagert sind. $H\alpha$, das Natriumdublett Na D und das Magnesiumtriplett sind gut zu erkennen. Das Linienspektrum ist charakteristisch für einen G2V-Stern wie unsere Sonne. Das Spektrum beginnt im UV deutlich vor der Ca II K-Linie bei ca. 3900Å und endet im IR unten rechts bei knapp 7600Å. Die Belichtungszeit des Spektrums wurde so gewählt, dass die Counts im Kontinuum des grünen Spektralbereichs bei maximal ca. 50000ADU liegen.

Überbelichtung (Sättigung) muss immer vermieden werden, um später eine korrekte radiometrische Korrektur vornehmen zu können. Da alle Sensoren im UV mehr oder weniger empfindlich sind, kann es sein, dass dort die Linien nicht oder nur sehr schwach abgebildet sind. Berücksichtigen Sie dies bei der Gesamtbelichtung des Spektrums, welches aus mehreren addierten Teilbelichtungen bestehen kann.

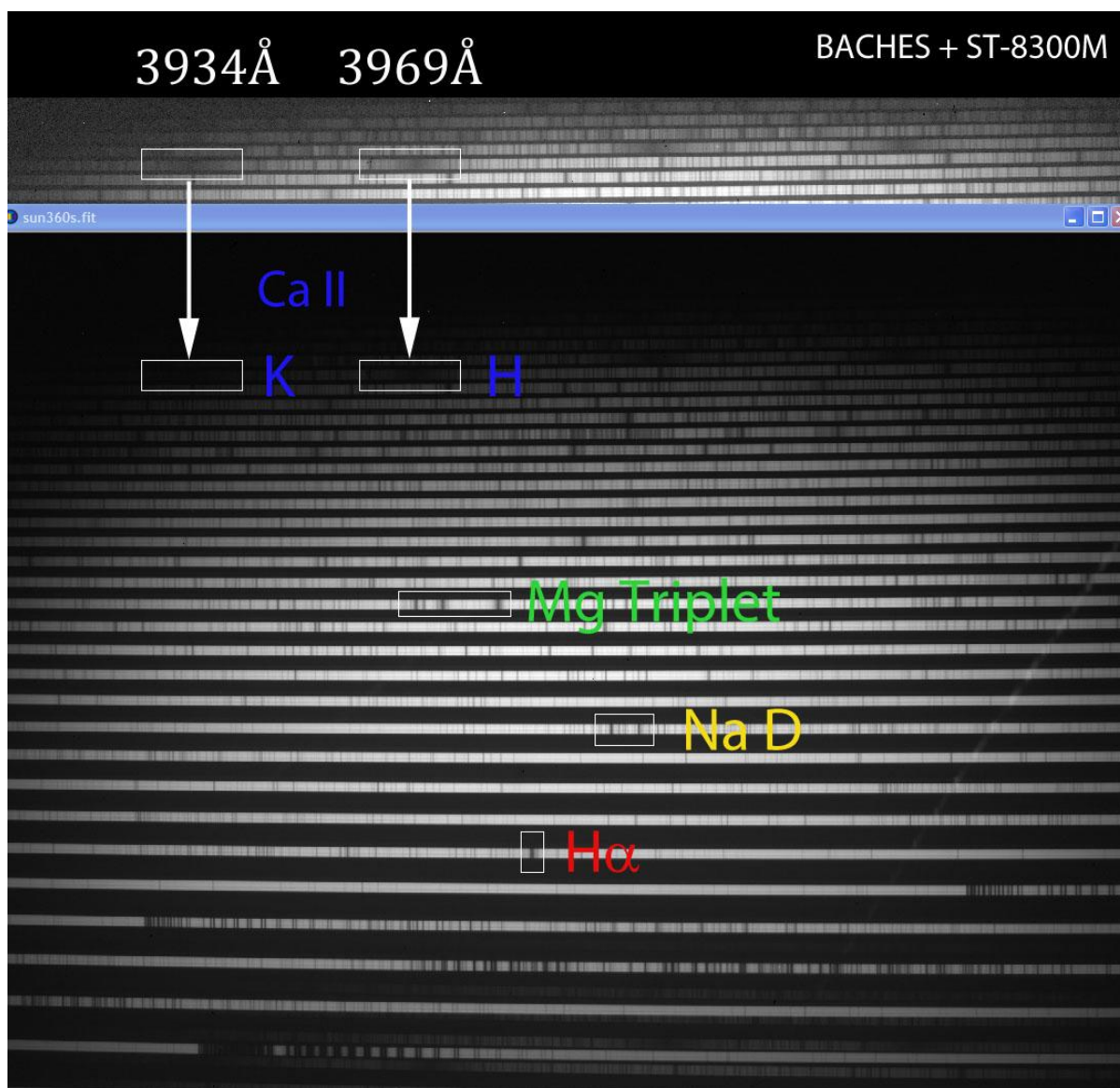


Abb. 59 : Tageslichtspektrum sun3600s.fit, belichtet mit ST-8300M. Spektraltyp G2V, Blau → Rot entspricht der Reihenfolge oben links → unten rechts. Die wichtigen Ca II-Linien H und K sind enthalten. Das Spektrum reicht von ca. 3900Å bis ca. 7600Å. Darstellung des Spektrums mit MaxIm DL

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.4 Threshold-Wert

Bitte schauen Sie unter Abschnitt 4.5.1 nach, wie Sie unter LINUX den Zugriff auf den Threshold-Wert erlangen.

Erste Erfahrungen legen bei der ST-8300M den Wert „2“ nahe, wenngleich es nötig sein kann, diesen Wert für eine gegebene Kamera - auch gleichen Modelltyps - durch Ausprobieren zu ermitteln.

ST-8300M (KAF-8300): DEFINE/LOCA threshold/i/1/1 2

5.2.5 Erkennung der Ordnungen und Wellenlängenkalibrierung des ThAr-Spektrums

Nun starten Sie den Kalibrierungsprozess. Als erstes wird das **Flatfieldspektrum (ff20sav.fit)** geladen. Das Ziel ist, eine festgelegte Anzahl von Ordnungen zu erkennen und jede Ordnung horizontal auszurichten. **Ohne Flatfield keine sichere Erkennung von Ordnungen.** Danach wird das **Referenzspektrum (thar80sav.fit)** gescannt und die Wellenlängenkalibrierung vorgenommen.

In diesem Beispiel soll MIDAS versuchen, 27 Ordnungen zu erkennen.

Midas > calib/baches ff20sav.fit thar80sav.fit 27

```
PARAMETERS FOR THIS CALIBRATION:
=====
Flat field   = ff20sav.fit
Calibration lamp = thar80sav.fit
Calibration table = thar.fit
Num. of orders = 0027
Slit order width = 0020
Slit extraction width = 0020
Offset from center slit = 0.00000E+00
Tolerance on RMS = 1.00000E+00
Polynomial degree = 0004
Threshold = 0002

baches_calib: Do you want to continue [yn] (y)?
```

Bestätigen Sie den Start mit „y“.

MIDAS scannt nun das Flatfieldspektrum. Definieren Sie gemäß Abb. 60 die linke und rechte Scangrenze (+). Sollten nicht alle 27 Ordnungen erkannt werden, müssen Sie abbrechen und diese neu definieren. Danach müssen die grünen Linien mit den hellen Ordnungen zusammenfallen (Abb. 61).

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

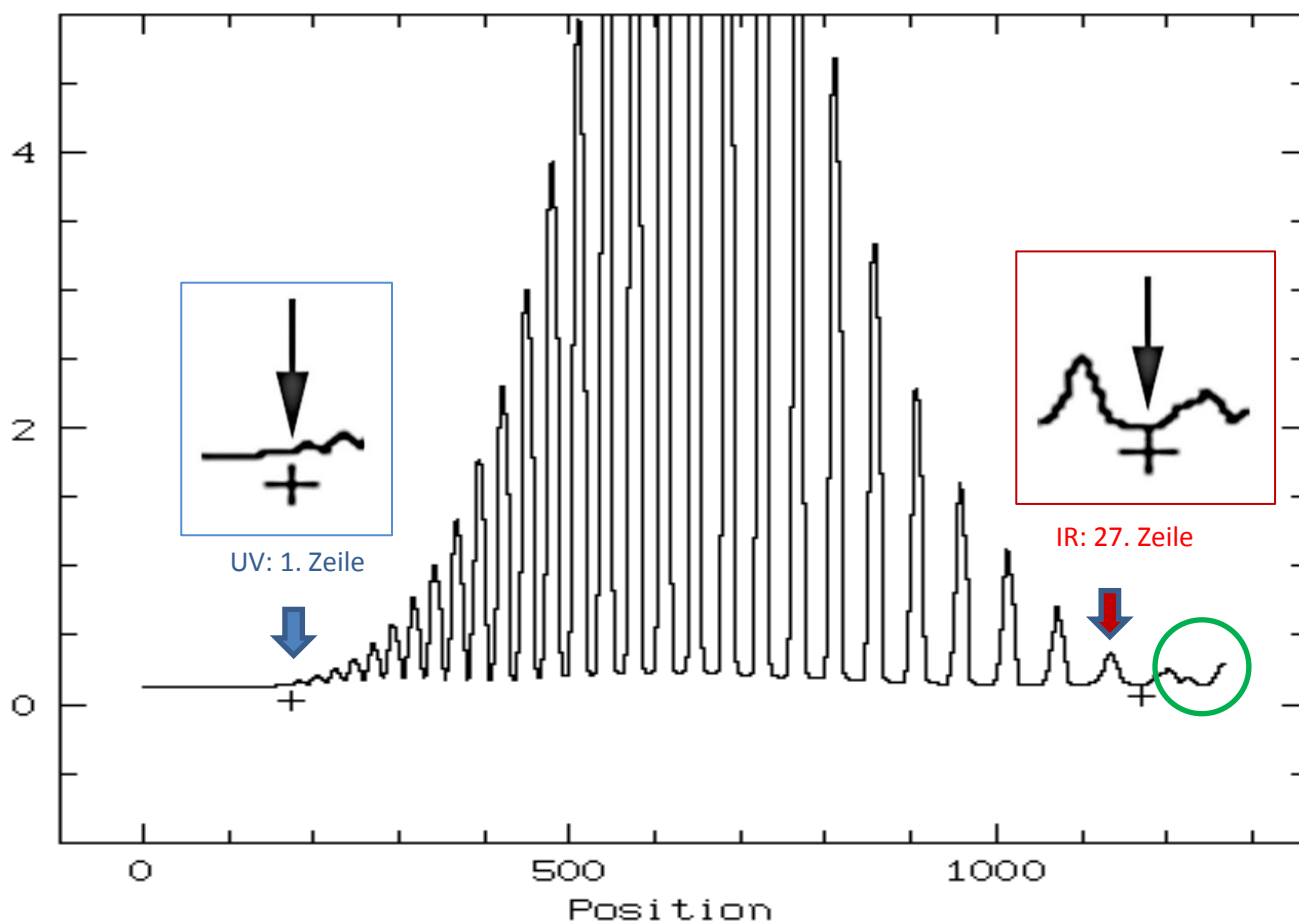


Abb. 60: Klicken Sie links neben die erste und rechts neben die letzte vollständige erkannte Zeile. Grüner Kreis: Überlappung von Ordnungen. Diese können von MIDAS nicht erkannt, aber bsp. mit VSpec einzeln eingescannt werden

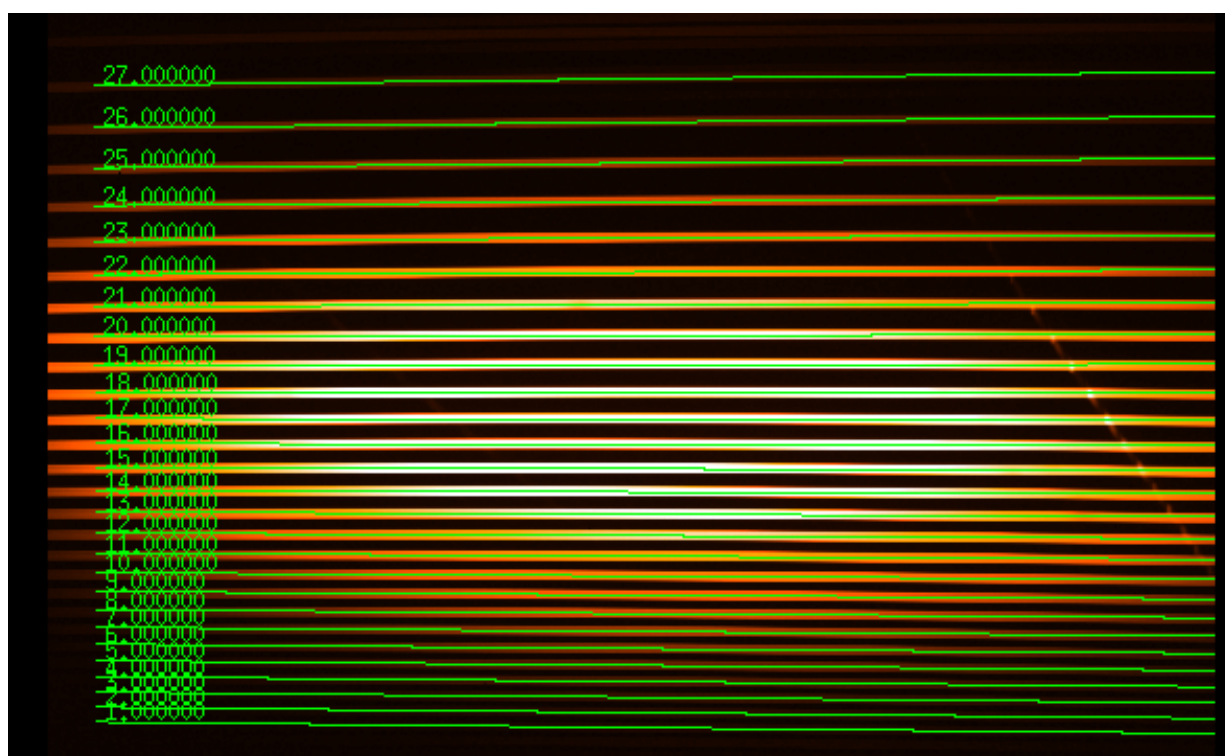


Abb. 61: Die Kalibrierung funktioniert nur, wenn alle geforderten 27 Ordnungen genau in dieser Weise erkannt werden. Notfalls den Scanbereich neu markieren, bzw. mit weniger geforderten Ordnungen starten

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Im Terminalfenster werden alle Einträge protokolliert:

```
Order:  1 Threshold: 566.743994 Numb. of values: 123
Order:  2 Threshold: 673.768002 Numb. of values: 122
Order:  3 Threshold: 809.327991 Numb. of values: 127
Order:  4 Threshold: 1025.370016 Numb. of values: 126
Order:  5 Threshold: 1271.829962 Numb. of values: 129
Order:  6 Threshold: 1625.679944 Numb. of values: 131
Order:  7 Threshold: 1997.306055 Numb. of values: 134
Order:  8 Threshold: 2507.056036 Numb. of values: 138
Order:  9 Threshold: 3245.210114 Numb. of values: 138
Order: 10 Threshold: 4126.802087 Numb. of values: 139
Order: 11 Threshold: 5246.679852 Numb. of values: 142
Order: 12 Threshold: 6706.459802 Numb. of values: 140
Order: 13 Threshold: 8299.739819 Numb. of values: 144
Order: 14 Threshold: 9903.080017 Numb. of values: 146
Order: 15 Threshold: 11673.207587 Numb. of values: 151
Order: 16 Threshold: 12866.501569 Numb. of values: 151
Order: 17 Threshold: 12629.267949 Numb. of values: 156
Order: 18 Threshold: 12152.803079 Numb. of values: 157
Order: 19 Threshold: 10756.399178 Numb. of values: 162
Order: 20 Threshold: 9088.611781 Numb. of values: 165
Order: 21 Threshold: 7439.622569 Numb. of values: 165
Order: 22 Threshold: 5236.170721 Numb. of values: 166
Order: 23 Threshold: 4832.180804 Numb. of values: 151
Order: 24 Threshold: 3393.008908 Numb. of values: 158
Order: 25 Threshold: 2403.683926 Numb. of values: 159
Order: 26 Threshold: 1608.701971 Numb. of values: 156
Order: 27 Threshold: 940.487970 Numb. of values: 152
```

Alle Zeilen/Ordnungen liefern sinnvolle Werte. Damit wird die Kalibrierung funktionieren.

```
baches_calib: Order identification finished
baches_calib: Do you want to continue [yn] (y)?
```

Bestätigen Sie den weiteren Fortgang mit „y“

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Zur Durchführung der halbautomatischen Kalibrierung erfolgt nun die Zuordnung zweier Linienpaare gemäß dem Vorschlag in Abb. 62.

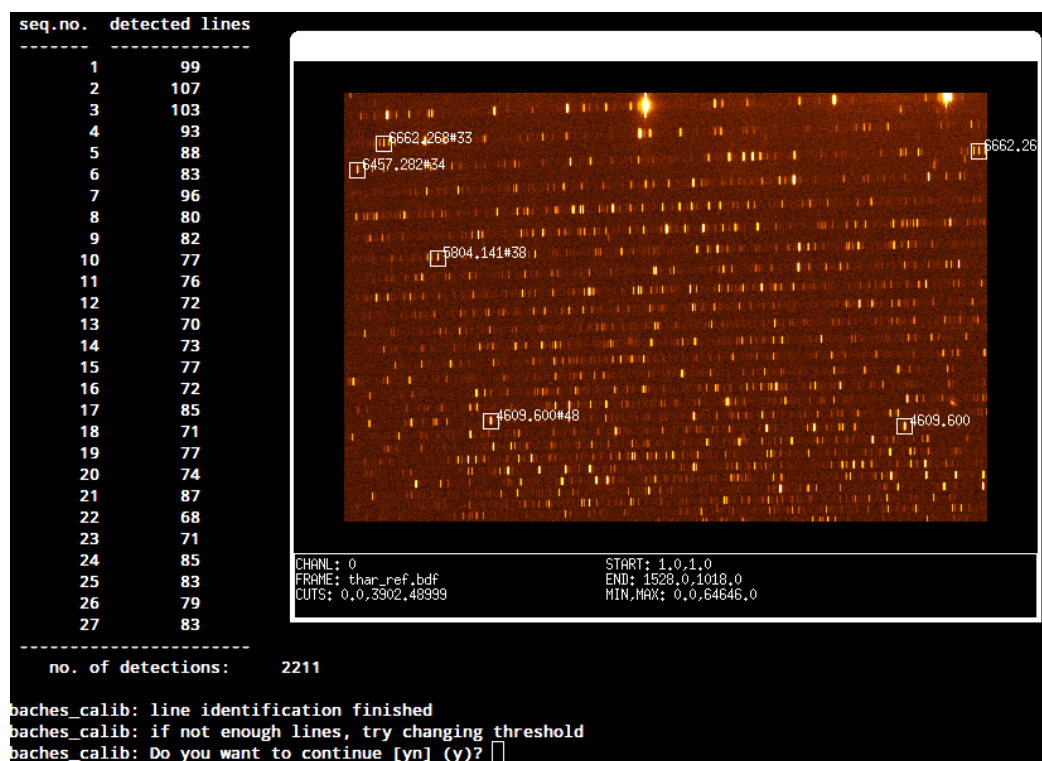


Abb. 62: Innerhalb von 27 Ordnungen wurden im ThAr-Spektrum insgesamt 2211 Linien erkannt

Klicken Sie nun nacheinander die Linien der beiden Linienpaare an
6662.268Å in Ordnung 33 (1. Klick oben links, 2. Klick oben rechts)
4609.600Å in Ordnung 48 (3. Klick unten links, 4. Klick unten rechts)

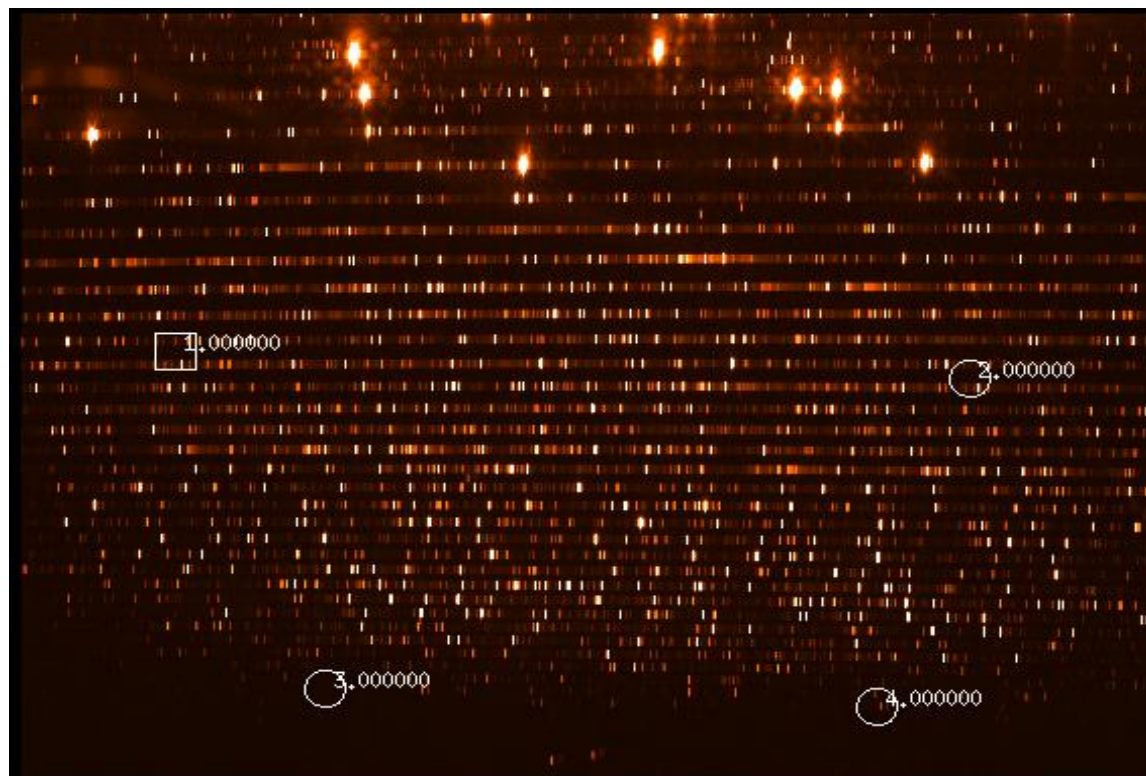


Abb. 63: Bestätigung von MIDAS nach Anklicken der Linienpaare

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Da der KAF-8300M-Sensor eine relative große Fläche hat, ist die seitliche Überlappung der Ordnungen eventuell größer, als man für die Kalibrierung benötigt. Ein noch größerer Sensor macht keinen Sinn. In Abb. 64 sind die Linien markiert, die MIDAS im ThAr-Atlas identifiziert hat. In Abb. 65 ist der Restfehler aller absoluten Ordnungen 30 bis 56 dargestellt. Die Kalibrierung ist über diesen weiten Bereich von 27 Ordnungen sehr präzise!



Abb. 64: Für die Kalibrierung verwendete ThAr-Linien

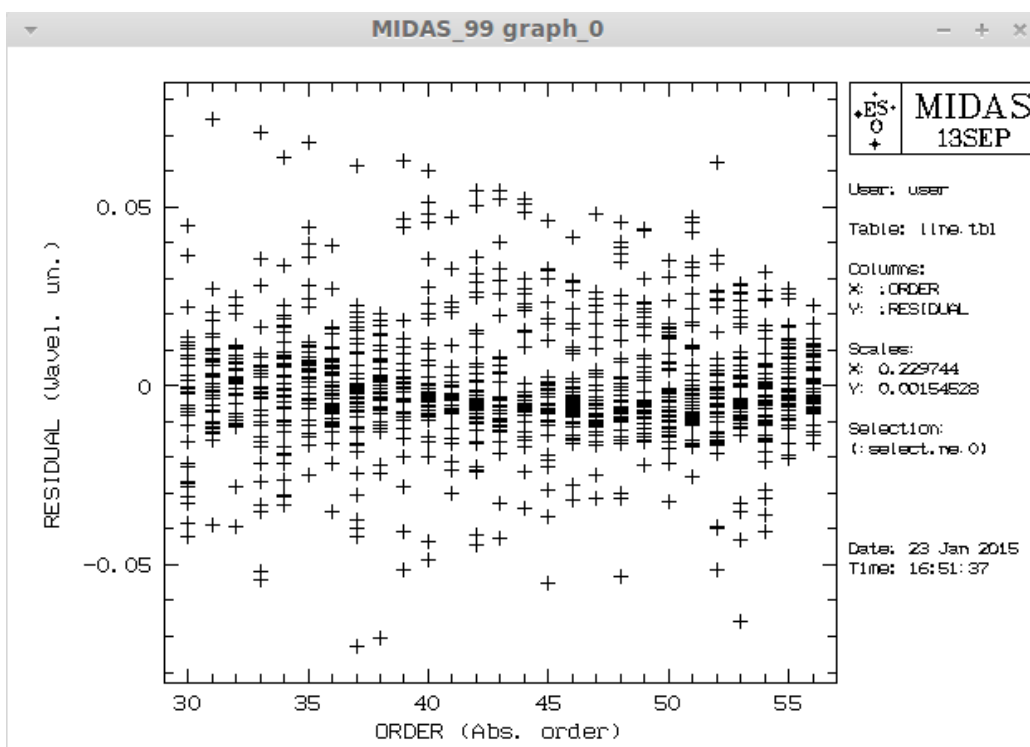


Abb. 65: Restfehler der Kalibrierung in Abhängigkeit von der absoluten Ordnung 30 bis 56. Ein sehr gutes Ergebnis

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Im Terminalfenster werden parallel dazu die Daten der Kalibrierung aufgelistet. Es empfiehlt sich, den Inhalt in einer separaten Protokolldatei (Copy & Paste) zu speichern. 27 Ordnungen von ca. 3900Å bis 7600Å, Genauigkeit: Mean RMS = 0.01682Å. Dies ist ein sehr gutes Ergebnis.

SEQ.NO	SPECTRAL ORDER	NO.LINES	WL START	WL END	STD. DEV. ANGSTROEM	
1	56	50	3902.71	4070.94	0.00819	*FROM 2D SOLUTION*
2	55	52	3973.58	4144.95	0.01131	*FROM 2D SOLUTION*
3	54	53	4047.09	4221.69	0.01450	*FROM 2D SOLUTION*
4	53	48	4123.36	4301.31	0.01789	*FROM 2D SOLUTION*
5	52	45	4202.57	4383.99	0.02023	*FROM 2D SOLUTION*
6	51	46	4284.89	4469.90	0.01812	*FROM 2D SOLUTION*
7	50	48	4370.50	4559.25	0.01396	*FROM 2D SOLUTION*
8	49	43	4459.60	4652.23	0.01578	*FROM 2D SOLUTION*
9	48	48	4552.43	4749.08	0.01937	*FROM 2D SOLUTION*
10	47	47	4649.20	4850.04	0.01414	*FROM 2D SOLUTION*
11	46	52	4750.18	4955.39	0.01408	*FROM 2D SOLUTION*
12	45	43	4855.66	5065.42	0.01862	*FROM 2D SOLUTION*
13	44	38	4965.92	5180.44	0.02010	*FROM 2D SOLUTION*
14	43	43	5081.32	5300.81	0.01906	*FROM 2D SOLUTION*
15	42	50	5202.22	5426.90	0.01880	*FROM 2D SOLUTION*
16	41	37	5329.01	5559.14	0.01468	*FROM 2D SOLUTION*
17	40	51	5462.14	5697.99	0.01997	*FROM 2D SOLUTION*
18	39	37	5602.09	5843.95	0.02041	*FROM 2D SOLUTION*
19	38	49	5749.41	5997.59	0.01429	*FROM 2D SOLUTION*
20	37	51	5904.69	6159.53	0.01987	*FROM 2D SOLUTION*
21	36	51	6068.58	6330.45	0.01196	*FROM 2D SOLUTION*
22	35	40	6241.83	6511.14	0.01893	*FROM 2D SOLUTION*
23	34	42	6425.27	6702.45	0.01813	*FROM 2D SOLUTION*
24	33	38	6619.80	6905.35	0.02190	*FROM 2D SOLUTION*
25	32	34	6826.48	7120.91	0.01267	*FROM 2D SOLUTION*
26	31	39	7046.48	7350.38	0.01688	*FROM 2D SOLUTION*
27	30	36	7281.12	7595.13	0.02029	*FROM 2D SOLUTION*
MEAN RMS:					0.01682	
** TOTAL NUMBER OF LINES : 1211 **						
***** 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 : 81 %						
This percentage must be as high as possible (above 50%). Low values						
indicate an uncertain calibration.						
Set parameters SAMPLE=0.1316690445 and RIPK=122378.65625						
Process tables are saved						
baches_calib: Identification completed after 0010 iterations.						
FITS file bachesORDE.fit will have 1 extensions						
bachesORDE.tbl written to FITS file bachesORDE.fit						
FITS file bachesLINE.fit will have 1 extensions						
bachesLINE.tbl written to FITS file bachesLINE.fit						
baches_calib: Do you want to clean temporary files [yn] (y)? ☐						

Bestätigen Sie die Löschung temporärer Files und lassen Sie die Berechnung des durchschnittlichen spektralen Auflösungsvermögens zu, hier R=20928 +/- 10% (Abb. 66).

Average (kappa-sigma-cleaned) resolution power: 2.09288E+04 +/- 2.15591E+03

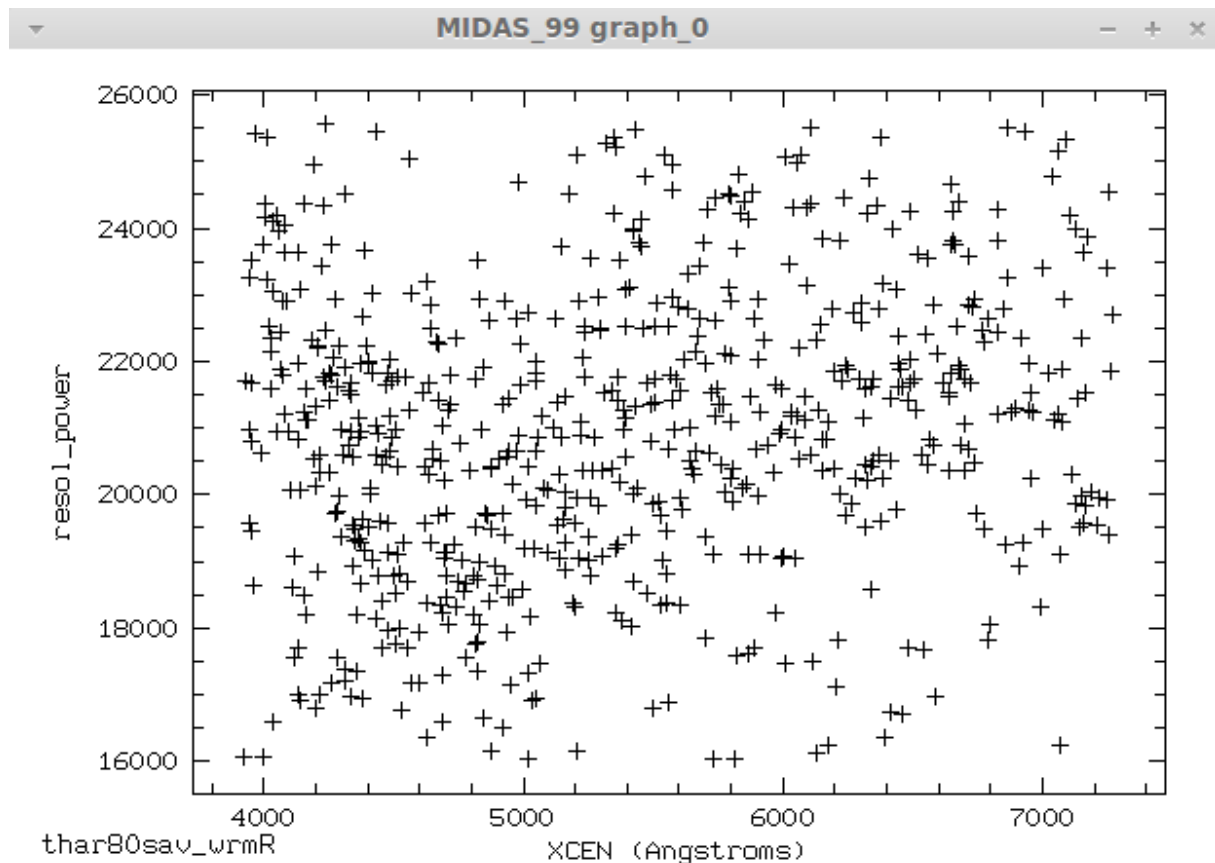


Abb. 66: Das spektrale Auflösungsvermögen, gemessen am ThAr-Referenzspektrum, beträgt mean RMS=21000

5.2.6 Erzeugung eines Masterflats

Es wird empfohlen, die Dunkelbildkorrektur mit Hilfe der Kameraaufnahmesoftware vorzunehmen, bevor die Files in diesen Kalibrierungsprozess übernommen werden. Da im vorliegenden Beispiel des Bildes **sun360s.fit** bereits ein **Darkframe** von der Aufnahme subtrahiert wurde, sollte an dieser Stelle noch eine **Flatfield-Korrektur** mit Hilfe des Flats **ff150s.fit** durchgeführt werden. Damit werden Intensitätsunterschiede, verursacht durch abgelagerten Staub oder Vignettierung weitgehend ausgeglichen. Allerdings muss aus dem Flatfield **ff150s.fit** als erstes ein **MASTERFLAT** generiert werden. Dies geschieht mittels des Kommandos

```
Midas > indisk/fits ff20sav.fit master_flat.bdf
```

wobei das Masterflat genau so bezeichnet werden muss, weil es später vom Skript **baches_pipeline.prg** unter diesem Dateinamen gesucht wird!

```
Midas 006> indisk/fits ff20sav.fit master_flat.bdf
no CDELTi nor CDi_j matrix found... STEPi set to 1.0
FITS file: ff20sav.fit converted to: master_flat.bdf
Midas 007> 
```

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.7 Kalibrierung des Sonnenspektrums mit dem Masterflat

Midas > pipeline/baches sun360s.fit

Das Skript konvertiert die Datei in das MIDAS-Format „.bdf“ und vollzieht die Flatfield-Korrektur „p“ automatisch mit Hilfe der Datei **master_flat.bdf**, nimmt dann die Wellenlängenkalibrierung „w“ vor, transformiert die erkannten Ordnungen auf denselben Maßstab „r“ und fügt diese zu einem Spektralprofil „m“ (merged) zusammen.

Die Datei **sun360s_pwrn.fit** ist das Spektralprofil, wobei folgende Kommandos ausgeführt wurden:

p: Flatfield-Korrektur
w: Wellenlängenkalibrierung
r: Re-Binning
m: Alle erkannten Ordnungen aneinanderfügen

Das kalibrierte Spektralprofil wird wie folgt visualisiert (Abb. 67):

Midas > crea/grap

Midas > plot/axes 3800,8000 0,10 0 "sun360s_pwrn.fit -- Wavelength"
"rel. Intensity"

Midas > overplot sun360s_pwrn.fit

```
Midas 011> plot/axes 3800,7600 0,10 0 "sun360s_pwrn.fit -- Wavelength" "rel. Intensity"
Midas 012> overplot sun360s_pwrn.fit
```

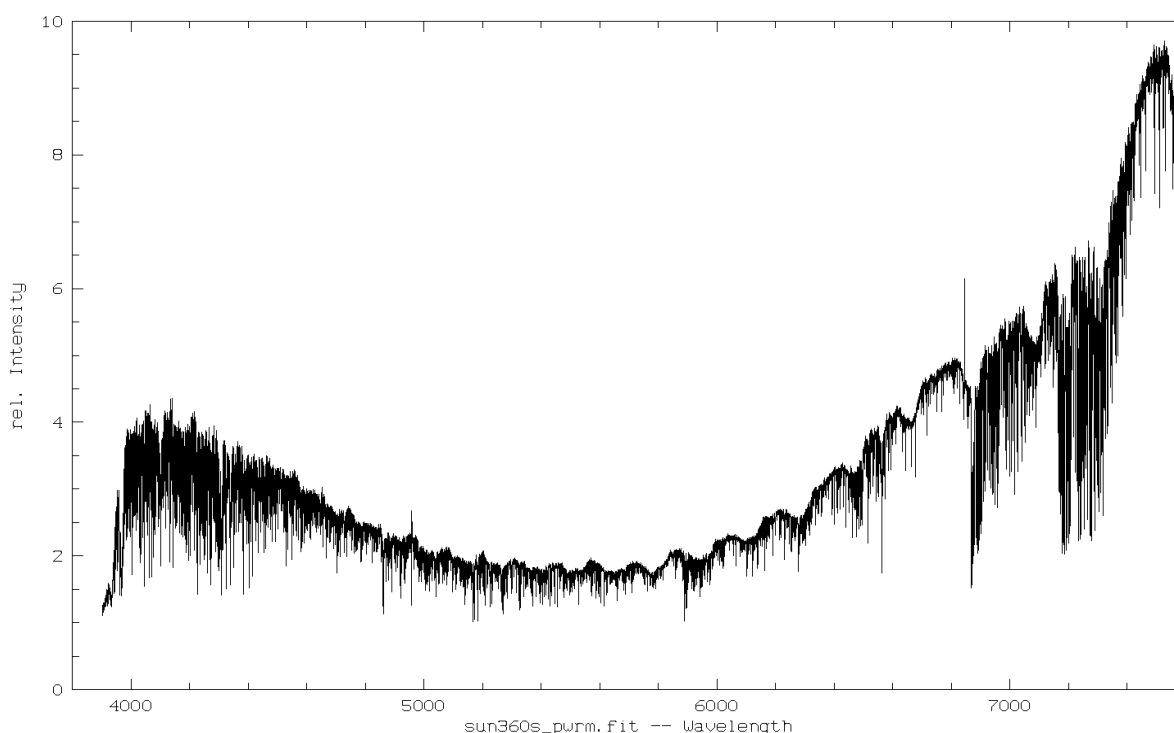


Abb. 67: Wellenlängenkalibriertes Sonnenspektrum sun360s_pwrn.fit, 27 Ordnungen von ca. 3900Å bis ca. 7600Å

5.2.8 Normierung des Sonnenspektrums

Für die Normierung wird aus dem Spektralprofil des Sterns (Abb. 67) das sogenannte „Pseudokontinuum“ extrahiert und durch dieses dividiert. Dies normiert das Spektrum auf „1“.

Das Pseudokontinuum ist durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie der unterschiedlichen, wellenlängenselektiven Quanteneffizienz des Sensors, der Absorption der Erdatmosphäre, der Vignettierung der Aufnahmeeinheit usw. Alle diese Faktoren verfälschen in Form einer sogenannten **Instrumentenfunktion** das Spektrum. Diese wird im englischen Sprachgebrauch auch **Response** genannt.

An dieser Stelle erfolgt eine Erweiterung der verfügbaren Kommandos für Echelle-Spektrografen (falls noch nicht geladen):

```
Midas > set/cont echelle
```

Erstellung der Instrumentenfunktion **response.bdf**

```
Midas > normalize/spec sun360s_pwrn.fit response.bdf
```

Mit Hilfe der Maus werden entlang des Kontinuums in Abb. 67 am oberen Rand durch Klicken Stützstellen (Kreuze) generiert, deren Koordinaten im Terminalfenster aufgelistet werden. Beendet wird der Vorgang, indem man mit der rechten Maustaste in das Bild klickt.

Ergebnis: response.bdf

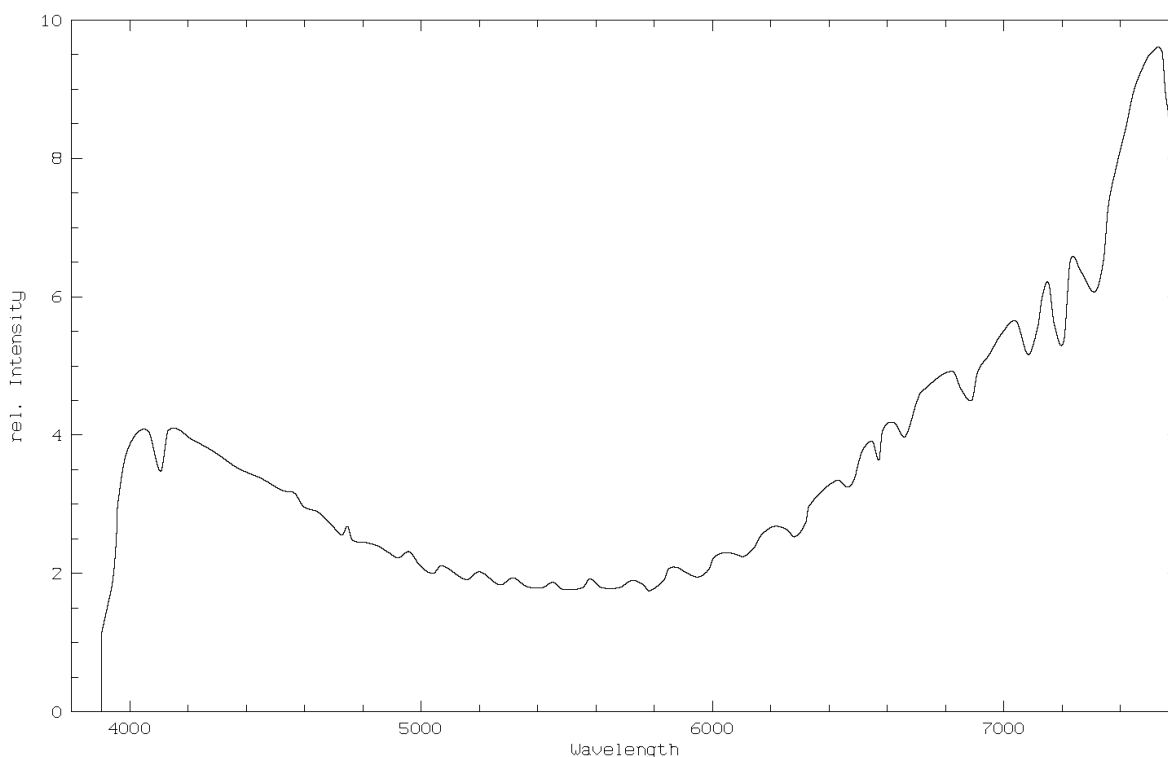


Abb. 68: Die Instrumentenfunktion response.bdf

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

Im nächsten Schritt wird das Sternspektrum durch die Instrumentenfunktion dividiert. Der manuell hinzuzufügende Buchstabe "n" weist auf die Normierung hin:

```
Midas > compute/image sun360s_npwrn.bdf = sun360s_pwrn.fit/response.bdf
```

Erzeugung der Ausgabedatei (Spektralprofil) **sun360s_npwrn.fit**:

```
Midas > outdisk/fits sun360s_npwrn.bdf sun360s_npwrn.fit
```

Visualisierung des Spektralprofils **sun360s_npwrn.fit**. Die obere und untere Grenze der rel. Intensität wird so eingestellt, dass das Spektrum nicht beschnitten ist:

```
Midas > plot/axes 3800,7600 0.3,1.2 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
```

```
Midas > overplot sun360s_npwrn.fit
```

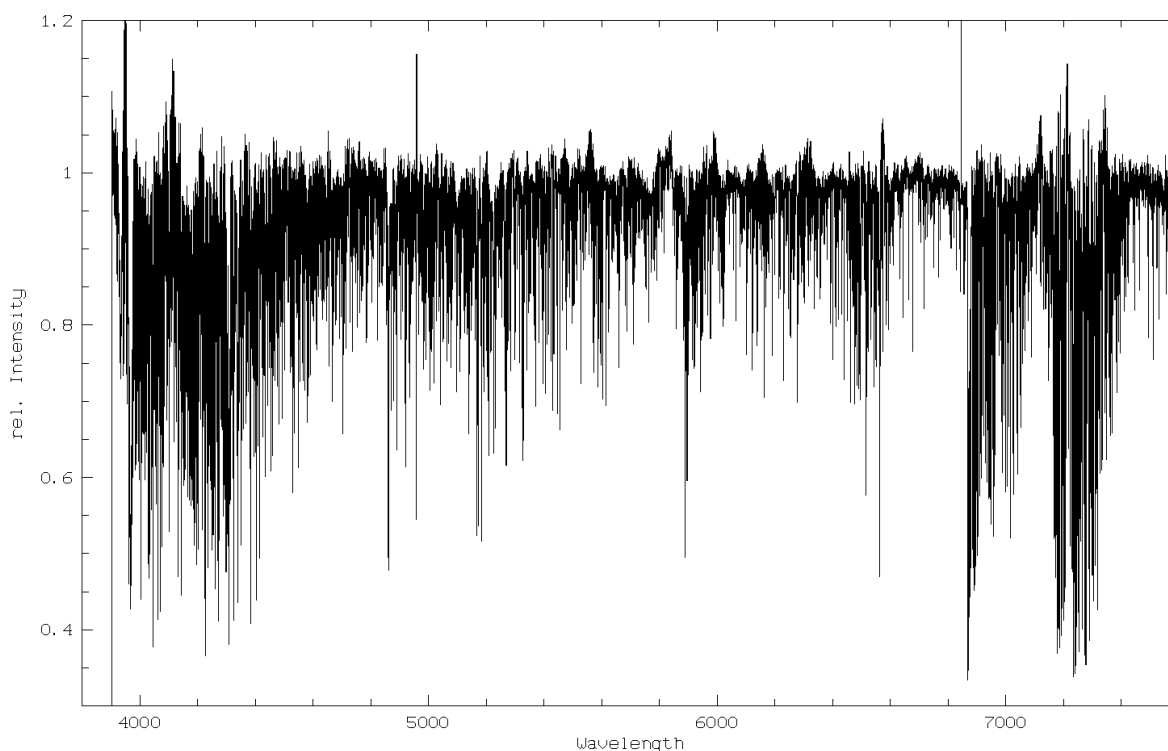


Abb. 69: Normiertes Spektrum sun360s_npwrn.fit. Ungewöhnlich hohe Emissionspeaks können heiße Pixel im Spektrumfoto sein. Breitere Peaks sind auf eine nicht genügend genaue Normierung zurückzuführen, die in der Regel selten über das gesamte Spektrum erfolgt.

Durch die Aufnahmekamera bedingte heiße und kalte Pixel auf den Spektrumfotos können im Prozess der Kalibrierung zu hohen oder zu niedrigen Intensitätswerten führen (bsp. bei ca. 4900Å und 6850Å) und somit zu einer Fehlidentifikation einer Spektrallinie beitragen. Deshalb sollte man diese Pixel VOR der Kalibrierung mit MIDAS entfernen, bsp. mit einem Kernel-Filter im Aufnahmeprogramm MaxIm DL. Wenn einzelne Fehlpixel nicht erfasst werden, ist eine manuelle Entfernung ratsam.

5.2.9 „Trocknung“ des Sonnenspektrums bei $H\alpha$

Für die Erzeugung eines synthetischen Spektrums, schwarzweiß oder farbig, greifen wir hier auf die Software VisualSpec zurück. Dargestellt ist das normierte Sonnenspektrum `sun360s_npwrn.fit`

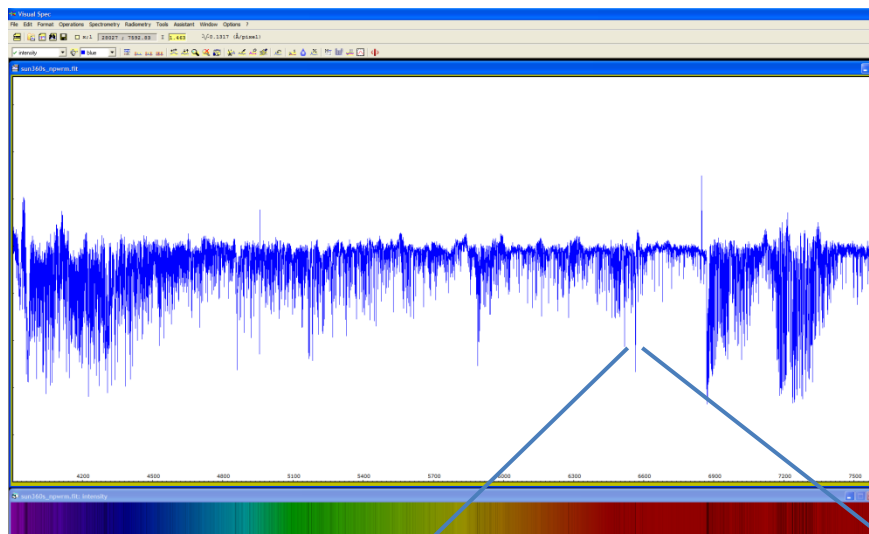


Abb. 70: Das farbige Sonnenspektrum von 3900Å bis 7600Å

Abb. 71: Ausschnitt von 6530Å bis 6600Å

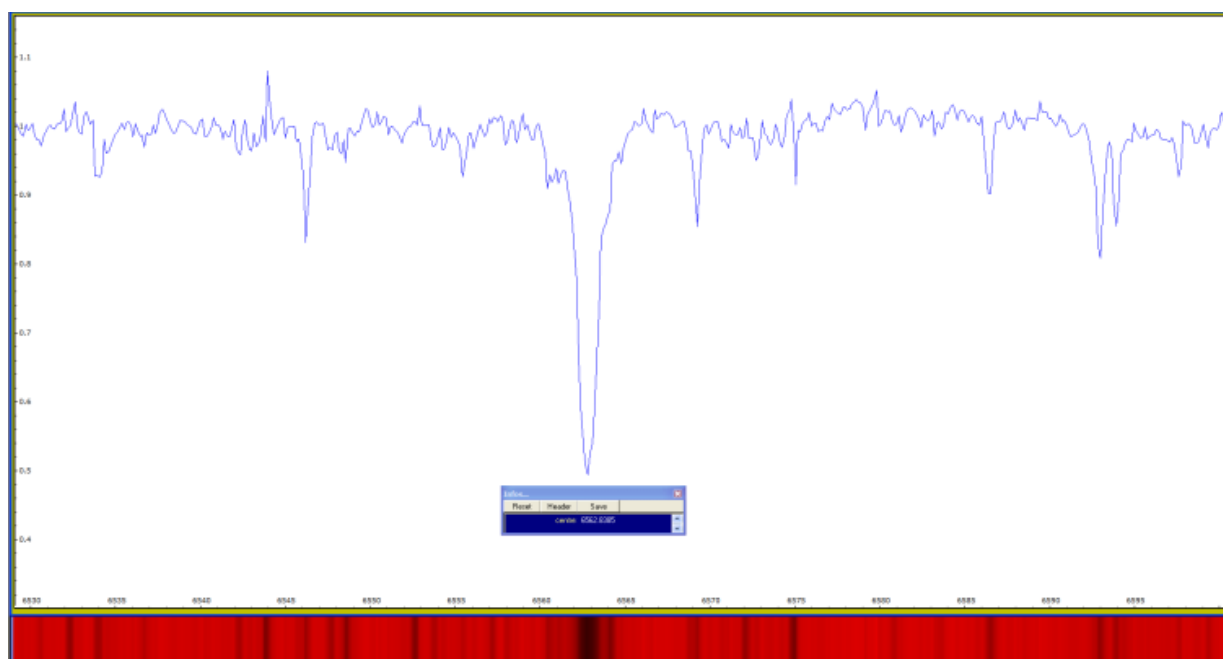
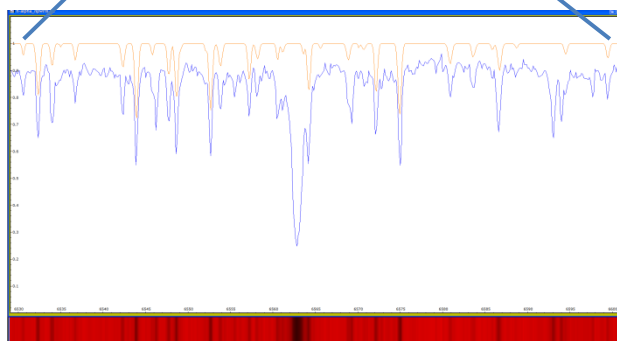


Abb. 72: Nach „Trocknung“ des Spektrums in VisualSpec (automatische Entfernung der Wasserdampflinien) wurde die Mittenwellenlänge der $H\alpha$ -Linie bestimmt zu 6562.839Å. Differenz zur Ruhewellenlänge 6562.852Å: -0.013Å (innerhalb der Kalibrierengenauigkeit)

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.10 Kalzium-Linien Ca II K (3933.66Å) und H (3968.47Å) im UV

Zunächst wurde ein Rebinning auf 0.01 px vorgenommen, danach der Kurvenplot:

```
Midas 049> rebin/linear sun360s_npwrn.fit sun360s_rnpwrn.fit 0.01
```

```
Midas 088> plot/axes 3925,4000 0.4,1.3 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
```

```
Midas 089> overplot sun360s_rnpwrn.fit
```

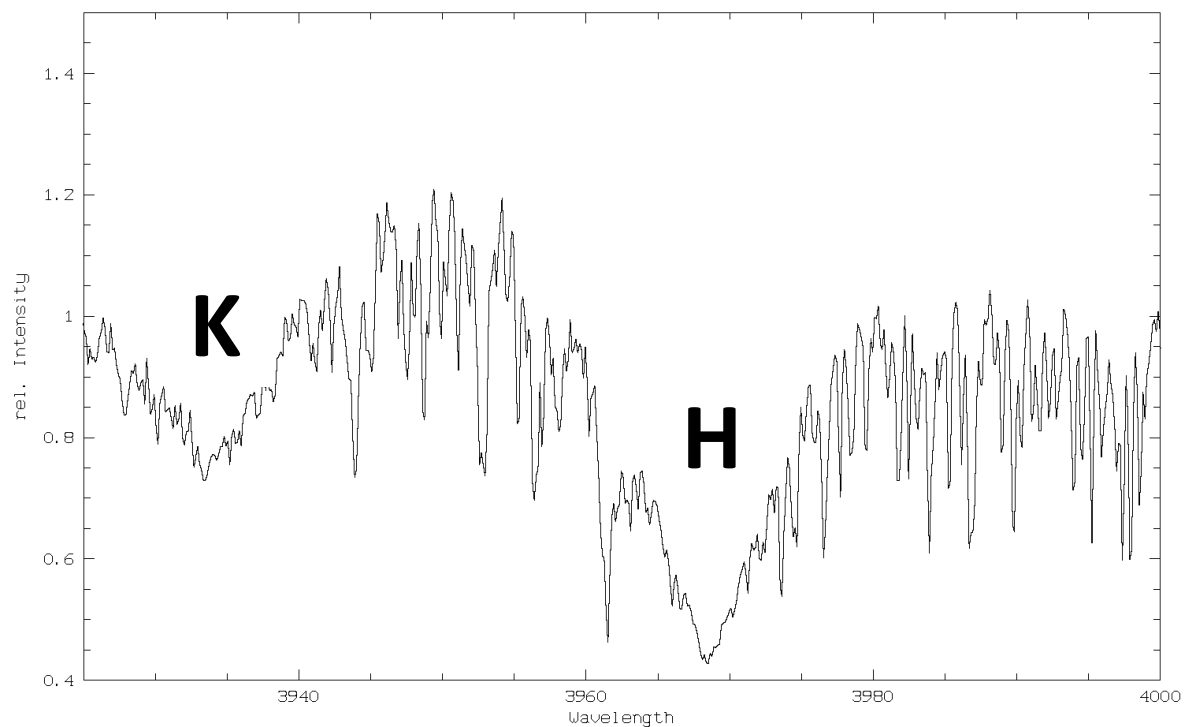


Abb. 73: Die Kalzium K und H-Linien

Die Kalzium K-Linie (3933.66Å) wird nun mittels des Kommandos **center/gauss** gefittet (Abb. 74):

```
Midas 076> plot/axes 3925,3945 0.7,1.1 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
```

```
Midas 077> overplot sun360s_rnpwrn.fit
```

```
Midas > center/gauss gcursor ? absorption
```

```
Midas 078> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
3933.095	3933.801	3933.437	0.72943	0.55153
3932.462	3936.200	3933.504	0.72943	1.3462
3931.800	3936.583	3933.818	0.72943	4.8298
3933.242	3933.639	3933.439	0.72943	0.53915
3926.898	3940.101	3933.263	0.72943	10.483
3932.491	3936.112	3933.484	0.72943	1.2431
3932.550	3934.787	3933.446	0.72943	0.55722
3930.563	3937.554	3933.796	0.72943	3.8656

Mittelwert von acht Messungen der Zentralwellenlänge (Center): 3933.52Å.

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

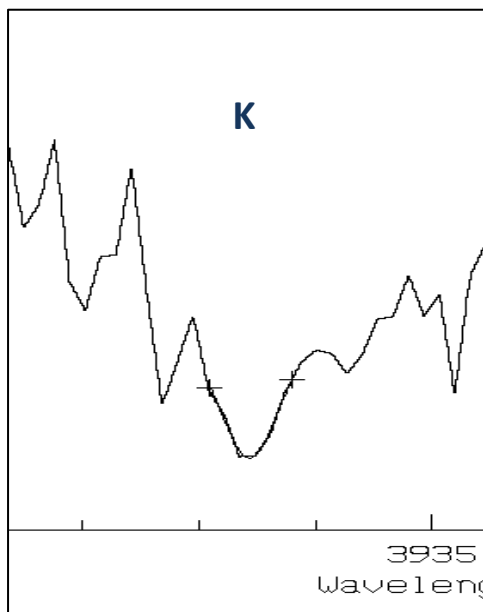


Abb. 74: Die Kalzium-Linie Ca II K mit einem der acht überlagerten Gaußfits (+)

Die Vermessung der Zentralwellenlänge der Kalzium K-Linie ergibt eine Abweichung des Mittelwerts von der Ruhewellenlänge in Höhe von $\Delta\lambda = 3933.52\text{\AA} - 3933.66\text{\AA} = -0.14\text{\AA}$

Die Messung gestaltet sich als kompliziert, weil viele Linien die Ca II –Linie K überlagern.

Die **Kalzium H-Linie (3968.47Å)** wird nun mittels des Kommandos **center/gauss** gefittet:

Mittelwert: 3968.562Å. $\Delta\lambda = 3968.562\text{\AA} - 3968.47\text{\AA} = +0.09\text{\AA}$

```
Midas 088> plot/axes 3925,4000 0.4,1.3 0 "Wavelength" "rel. Intensity"
Midas 089> overplot sun360s_rnpwrm.fit
Midas 090> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
3964.917	3972.763	3968.561	0.42713	4.5703
3967.057	3970.514	3968.529	0.42713	1.6623
3959.979	3977.318	3968.597	0.42713	6.4896

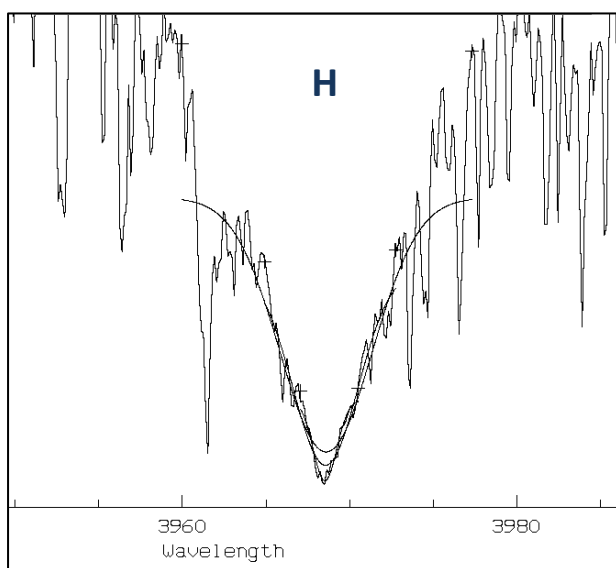


Abb. 75: Fit dreier Gaussprofile zwecks Bestimmung der Zentralwellenlänge der Ca II H-Linie. Mittelwert: 3968.562Å

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.11 Das Magnesium-Triplett (5167.33Å / 5172.68Å / 5183.61Å)

```
Midas 054> plot/axes 5160,5190 0.4,1.05 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 055> overplot sun360s_rnpwrm.fit
```

Anfitten von Gaußprofilen (+):

```
Midas 055> overplot sun360s_rnpwrm.fit  
Midas 056> center/gauss gcursor ? absorption
```

start	end	center	pixel_value	FWHM
5166.711	5167.969	5167.357	0.52480	0.69770
5172.010	5173.312	5172.672	0.53604	0.77674
5182.320	5184.836	5183.629	0.51670	1.3586

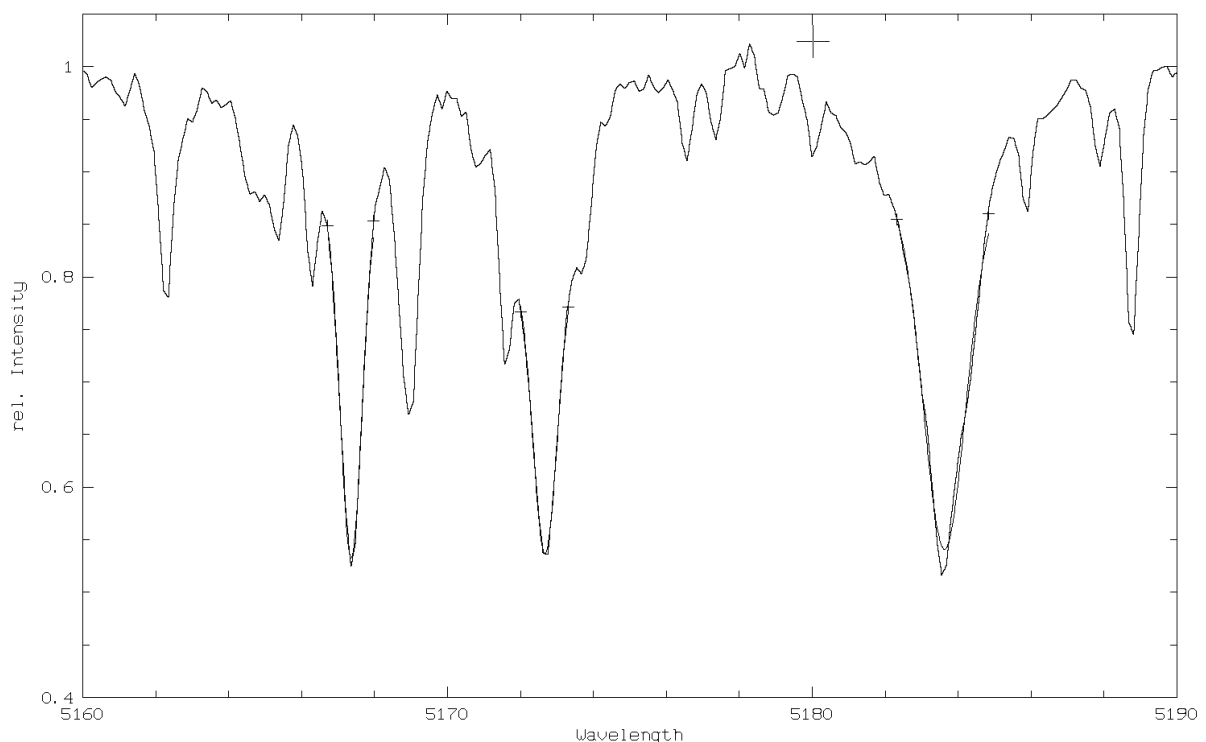


Abb. 76: Drei Linien des Mg-Tripletts wurde jeweils eine Gaußkurve angefitet und die jeweilige Zentralwellenlänge bestimmt

Messung der Zentralwellenlänge dreier Linien des Mg-Tripletts und Abweichung von der jeweiligen Ruhewellenlänge. Das Ergebnis liegt im Rahmen der von MIDAS ermittelten Kalibrierengenauigkeit!

$$\Delta\lambda = 5167.357\text{\AA} - 5167.33\text{\AA} = +0.027\text{\AA}$$

$$\Delta\lambda = 5172.672\text{\AA} - 5172.682\text{\AA} = -0.010\text{\AA}$$

$$\Delta\lambda = 5183.629\text{\AA} - 5183.61\text{\AA} = +0.019\text{\AA}$$

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.12 Natrium-Dublett (D2: 5889.950Å / D1: 5895.924Å)

```
Midas 057> plot/axes 5885,5900 0.4,1.05 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 058> overplot sun360s_rnpwrm.fit
```

Gaußfit (+):

Midas 064> center/gauss gcursor ? absorption				
start	end	center	pixel_value	FWHM
5889.404	5890.475	5889.934	0.49564	0.73447
5895.674	5896.237	5895.943	0.59535	0.42347

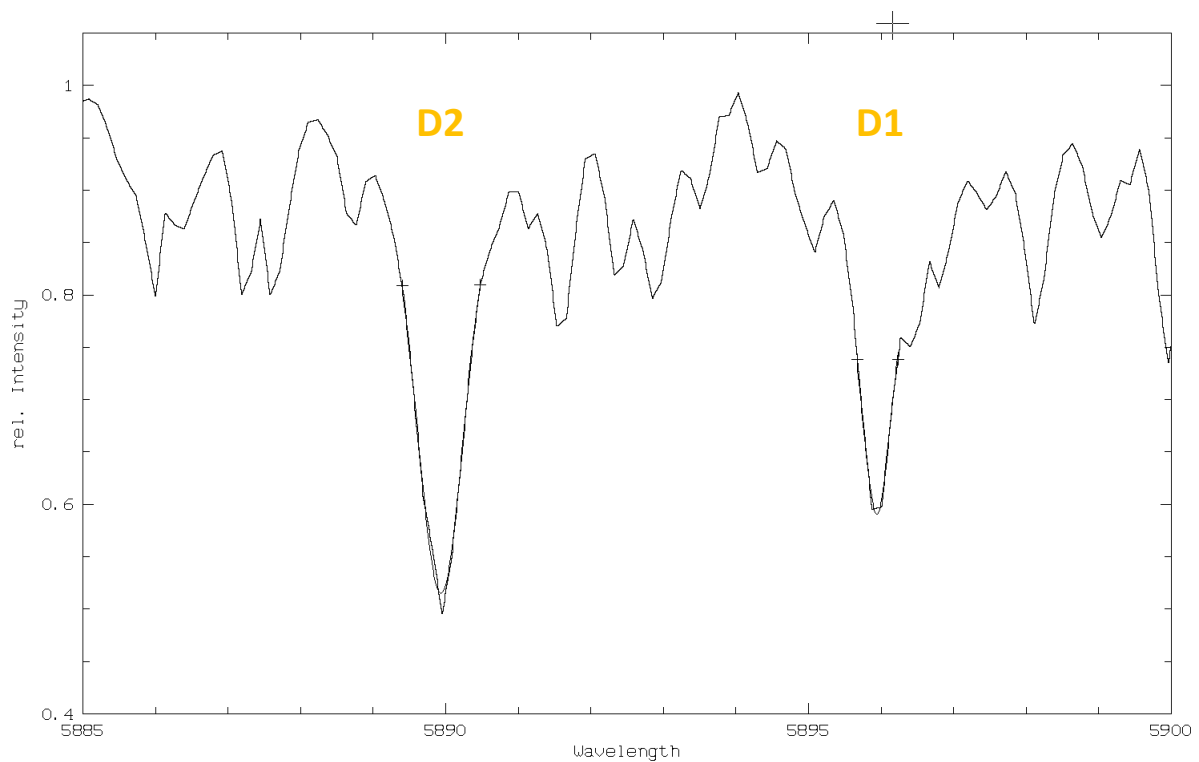


Abb. 77: Das Natrium-Dublett mit jeweiligem Gaußfit

Messung der Zentralwellenlänge der beiden Na D-Linien und Abweichung von der jeweiligen Ruhewellenlänge. Das Ergebnis liegt im Rahmen der von MIDAS ermittelten Kalibriergenauigkeit!

$$\text{D2: } \Delta\lambda = 5889.934\text{\AA} - 5889.950\text{\AA} = -0.016\text{\AA}$$

$$\text{D1: } \Delta\lambda = 5895.943\text{\AA} - 5895.924\text{\AA} = +0.019\text{\AA}$$

Kalibrierung von BACHES Echelle-Spektren mit ESO-MIDAS

5.2.13 H α -Linie (6562.852Å)

```
Midas 067> plot/axes 6550,6580 0.4,1.1 0 "Wavelength" "rel. Intensity"  
Midas 068> overplot sun360s_rnpwrm.fit
```

```
Midas 069> center/gauss gcursor ? absorption  
start      end      center    pixel_value  FWHM  
6562.076   6563.577   6562.814  0.46994     2.0396
```

```
Midas 069> center/gauss gcursor ? absorption  
start      end      center    pixel_value  FWHM  
6562.076   6563.577   6562.814  0.46994     2.0396  
6561.634   6564.460   6562.815  0.46994     0.98972  
6562.341   6563.356   6562.790  0.46994     1.2325  
6557.793   6567.551   6562.873  0.46994     1.8316  
6557.727   6570.333   6562.876  0.46994     2.0562
```

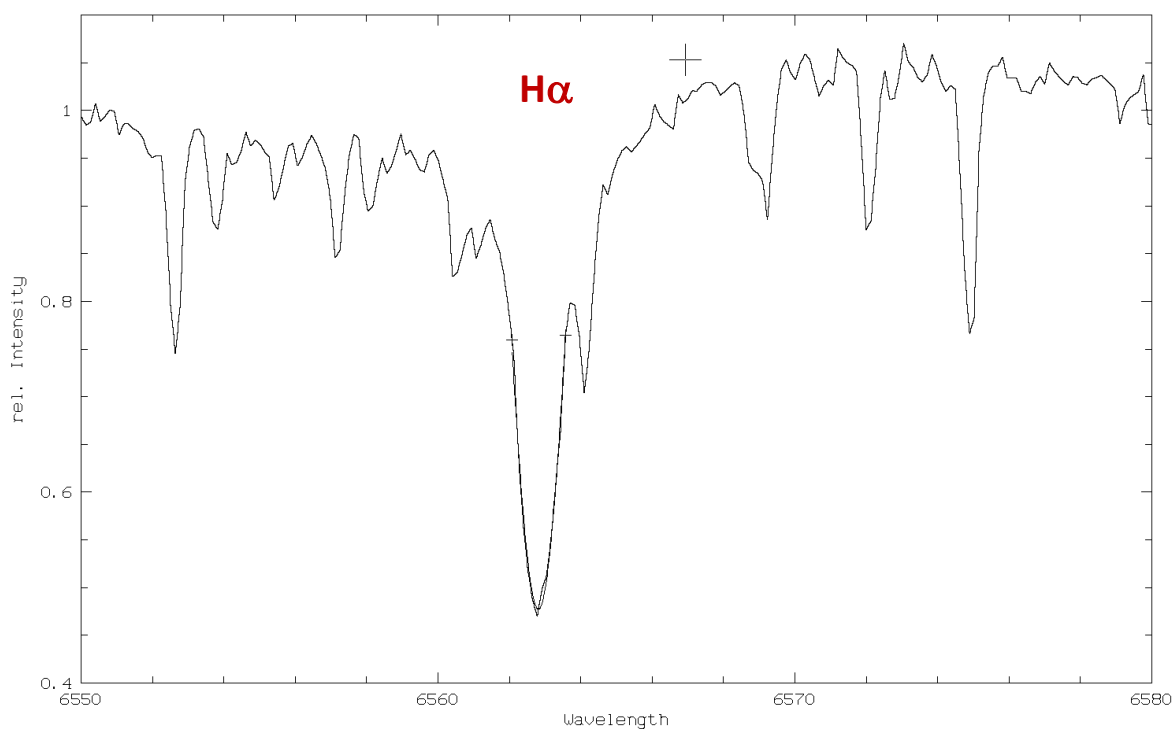


Abb. 78: Die dem Profil der H α -Linie überlagerten Wasserlinien beeinflussen den Gaußfit

Messung der Zentralwellenlänge der H α -Linie, Abweichung von der Ruhewellenlänge. Abweichungen im Bereich einiger Hundertstel Angström knapp über dem mittleren Wert von $\text{RMS}=0.016\text{\AA}$ sind auf die Überlagerung der Wasserlinien zurückzuführen, die vor einer präziseren Anpassung des Gaußprofils subtrahiert werden müssten (siehe Abb. 72).

$$\Delta\lambda = 6562.814\text{\AA} - 6562.852\text{\AA} = -0.038\text{\AA}$$

6 Bibliografie

Die vorgestellte Kalibrierung in MIDAS beschränkt sich auf die grundlegenden Schritte. Der Autor dieser Kalibrierung bevorzugt für weitere Auswertungen der Spektren andere Programme, wie bsp. VisualSpec <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/>, welches eine wesentlich bedienerfreundlichere Weiterverarbeitung der Spektren ermöglicht.

Das Tutorial zum DADOS-Spektrografen <http://www.baader-planetarium.de/dados/> gibt dem Leser einen Eindruck, wie man mit VisualSpec arbeitet. Ein vergleichbares Tutorial zum BACHES Echelle-Spektrografen wird erstellt.

Die nachfolgenden Literaturhinweise sind wichtige Quellen, um weitere und vertiefte Kenntnisse in MIDAS zu erlangen. Wir empfehlen das Studium dieser Referenzen.

G. Avila, V. Burwitz, C. Guirao et al., "BACHES A Compact Light-Weight Echelle Spectrograph for Amateur Astronomy" The Messenger, vol. 129, p. 62-64
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2007Msngr.129...62A>

S. K. Kozłowski, M. Konacki, M. Ratajczak, P. Sybilski, R.K. Pawłaszczek, K.G. Hełminiak, "BACHES - a compact echelle spectrograph for radial velocity surveys with small telescopes" Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 000, 1–11 (2014)
<http://arxiv.org/pdf/1406.2492v1.pdf>

R. R. Querel, D. A. Naylor, F. Kerber, "Spectroscopic Determination of Atmospheric Water Vapor" PSAP, 123:222–229, 2011 February
<http://www.jstor.org/stable/pdfplus/10.1086/658285.pdf>

G. Gebhard, „Erste Schritte in ESO-Midas“ (2013)
<http://www.spektros.de/dred/Midas1S.pdf>

ESO-MIDAS User Guide, Vol. B, Data Reduction
<http://www.eso.org/sci/software/esomidas/doc/user/>

Astronomisches Praktikum Dr. Karl Remeis Sternwarte, Bamberg,
Kapitel 10: Spektroskopie und Spektralklassifikation
<http://www.sternwarte.uni-erlangen.de/~heber/praktikum.pdf>

O. Hainaut, "Everything you always wanted to know about MIDAS"
<http://www.eso.org/~ohainaut/ccd/midas.html>

L. Wallace and K. Hinkle, "A Solar Flux Atlas for the Visible and Near Infrared"
ftp://vso.nso.edu/pub/Wallace_2011_solar_flux_atlas/Wallace_2011_solar_flux_atlas.pdf

M. Clayton, "Introduction to Echelle Spectroscopy" (1996)
<http://www.starlink.rl.ac.uk/docs/sg9.htx/sg9.html>

7 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, 2015.

BAADER BACHES ECHELLE-SPEKTROGRAF

**BACHES Spektrograf
mit empfohlener
RCU-Unit**



www.baader-planetarium.de



BAADER PLANETARIUM

G
M
B
H

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