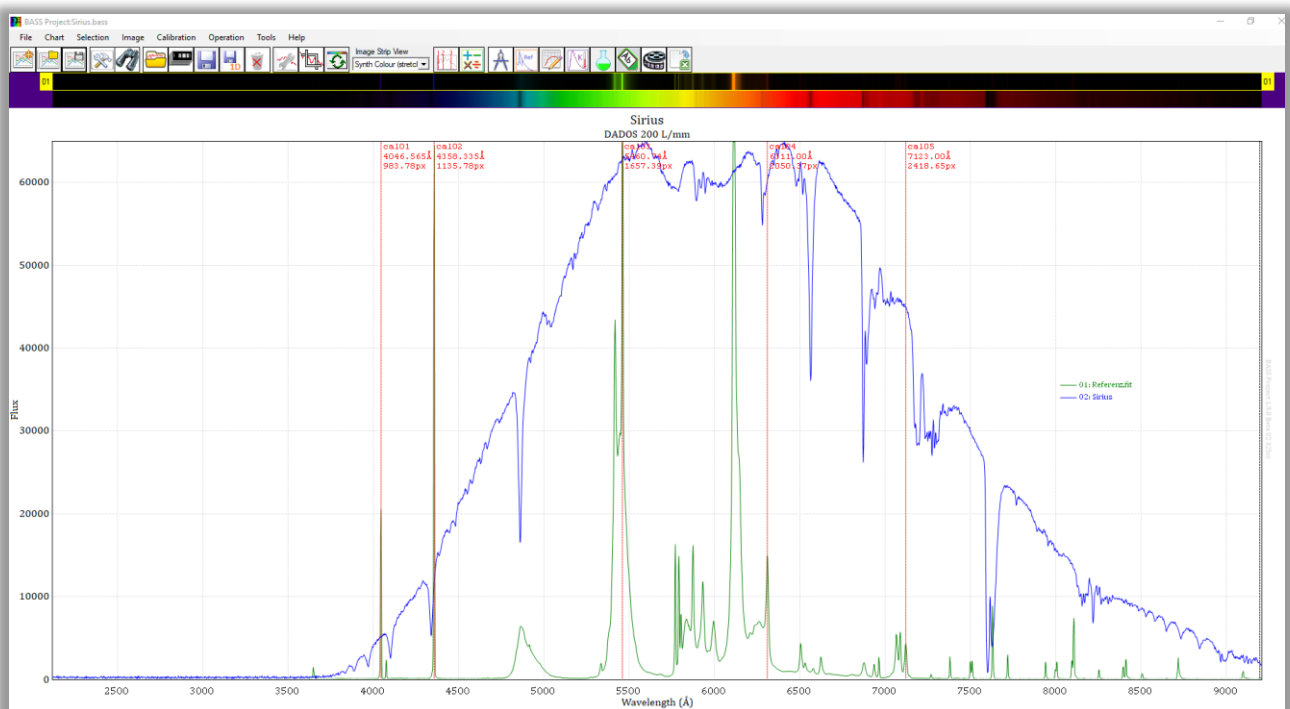
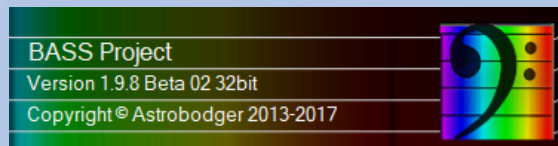


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Wellenlängenkalibrierung - Normierung - Flusskalibrierung



Tutorial 1.1

Dipl.-Phys. Bernd Koch

Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums, Jung-Stilling-Weg 45, 42349 Wuppertal

www.schuelerlabor-astronomie.de | Kontakt: Dipl.-Phys. Bernd Koch | Bernd.Koch@astrofoto.de

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Inhalt

Inhalt.....	1
1. Der vorliegende Datensatz: Sirius- und Referenzspektrum	2
2. BASS starten	3
2. Spektren stacken	4
4. Voreinstellungen vornehmen	6
5. Referenzspektrum öffnen.....	10
5. Siriuusspektrum und Referenzspektrum horizontal ausrichten.....	12
6. Spektralbereich eingrenzen -> Crop X-Axis Range	14
7. Auswahl des Scanbereichs für Spektrum und Himmelshintergrund (Region Selection Tool).....	14
8. Wellenlängenkalibrierung des Referenzspektrums.....	19
9. Kalibrierung der Intensität des Spektrums	27
9.1 Normierung des Spektrums.....	27
9.1.1 Normierung auf „1“	32
9.1.2 Beschriftung des normierten Spektrums.....	36
9.1.3 Speichern: Projekt – Profil – Chart – Image Strips.....	40
9.2 Flusskalibrierung mit einem kalibrierten Referenzstern	44
9.2.1 Öffnen eines flusskalibrierten Referenzspektrums (Pickles-Datenbank).....	45
9.2.2 Flusskalibrierung mit Datei response_flux.dat.....	50
9.2.3 Speichern: Projekt – Profil – Chart – Image Strips.....	52
9.2.4 Beschriftung des flusskalibrierten Spektrums.....	54
9.2.5 Abspeichern des beschrifteten Spektrums (Save Chart to file).....	56
9.2.6 Anpassung einer Planckschen Strahlungskurve	58
10. Übertragung des Projekts an einem anderen Ort („Bundles“)	59
11. Kurse zur Sternspektroskopie am CFG Wuppertal	60

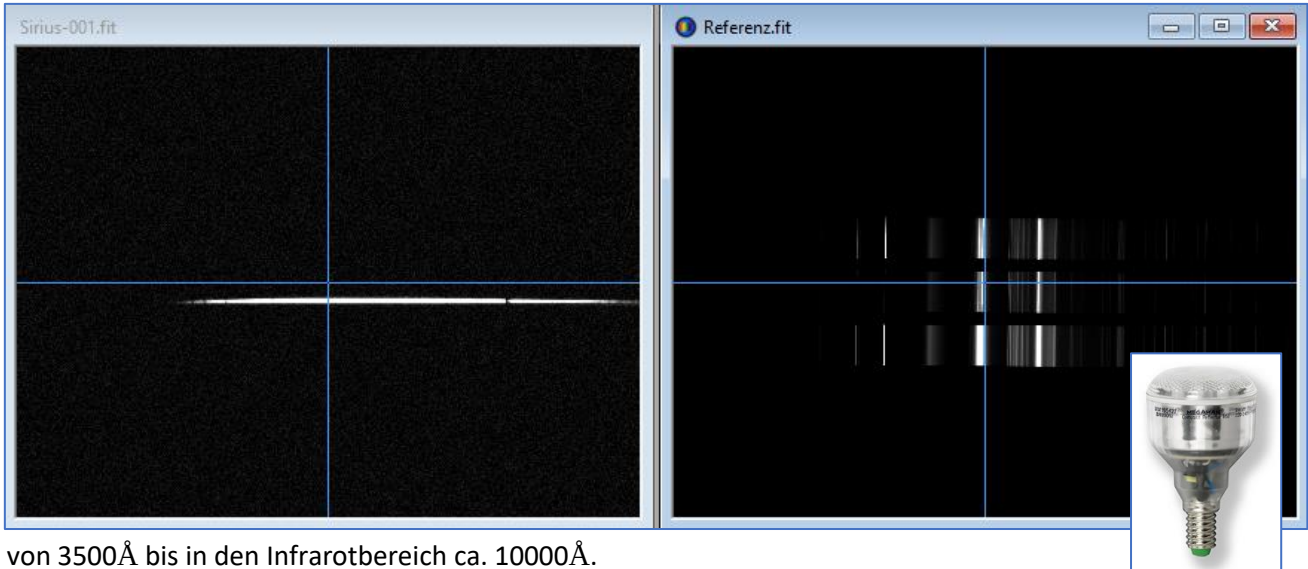
BASS ist das Acronym für Basic Astronomical Spectroscopy Software und wurde von John Paraskeva entwickelt. Als freie Microsoft Windows basierte Anwendung ermöglicht BASS die vollständige Reduktion, Kalibrierung und eine weitgehende Auswertung von Spektren.

<https://uk.groups.yahoo.com/neo/groups/astrobodger/info>

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

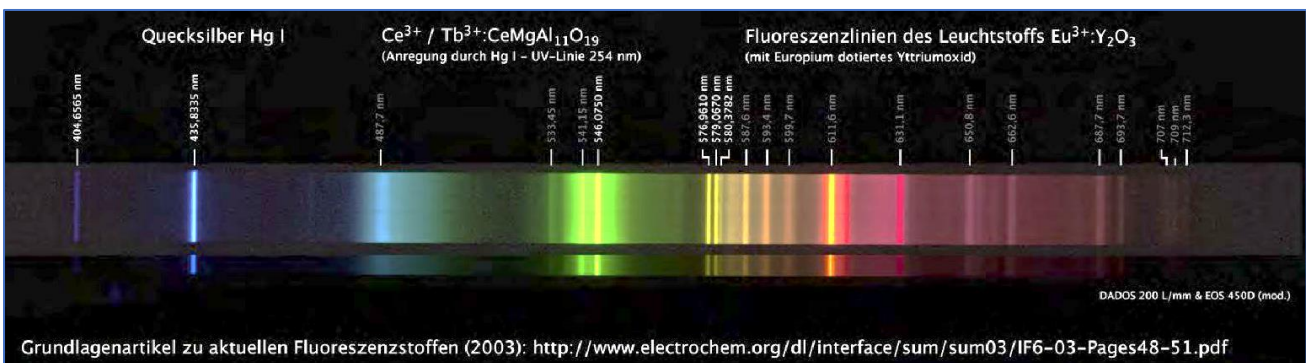
1. Der vorliegende Datensatz: Sirius- und Referenzspektrum

Der Datensatz: 10 Aufnahmen von Sirius und einer Aufnahme des Referenzspektrums, jeweils 3s belichtet. Die Spektren wurden mit dem DADOS Spaltspektrografen aufgenommen. Das Gitter mit 200 L/mm ermöglicht bei einer Kamerasensorbreite von ca. 18mm die Aufnahme des kompletten sichtbaren Spektrums



von 3500Å bis in den Infrarotbereich ca. 10000Å.

Das Referenzspektrum wurde mit der im Handel nicht mehr erhältlichen Energiesparlampe ESL Ormalight gewonnen, im Spektrum identisch mit der Lampe https://www.amazon.de/Megaman-R50-COMPACT-REFLECTOR-Reflektor/dp/B0013QUF9Q/ref=sr_1_2?srs=1687663031&ie=UTF8&qid=1506502790&sr=8-2&keywords=9w.

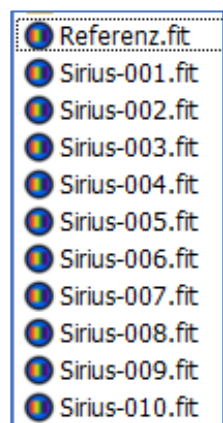


Zur Aufnahme des Referenzspektrums strahlte die Lampe von vorne durch das Teleskop.

Folgendes ist bei der Aufnahme grundsätzlich zu beachten.

1. Referenzspektren und Objektspektren müssen zeitlich nah beieinander aufgenommen werden. Grund: Der Spektrograf dehnt sich aus oder zieht sich zusammen, wenn sich die Außentemperatur ändert. Deshalb lässt man den DADOS und das Teleskop zunächst eine halbe Stunde auskühlen, bevor man beginnt. Zuerst wird ein Referenzspektrum aufgenommen, dann eine Serie von Objektspektren und zum Schluss wieder ein Referenzspektrum. Ausnahme: Im vorliegenden Fall wurde nur ein Referenzspektrum aufgenommen. Im niedrigauflösenden Anwendungsbereich ist das auch völlig ausreichend, weil thermische Driften in der vorliegenden Serie nicht zu erkennen sind.

Außerdem sollte der Spektralfaden möglichst exakt horizontal orientiert sein, blaues Ende links, rotes rechts.



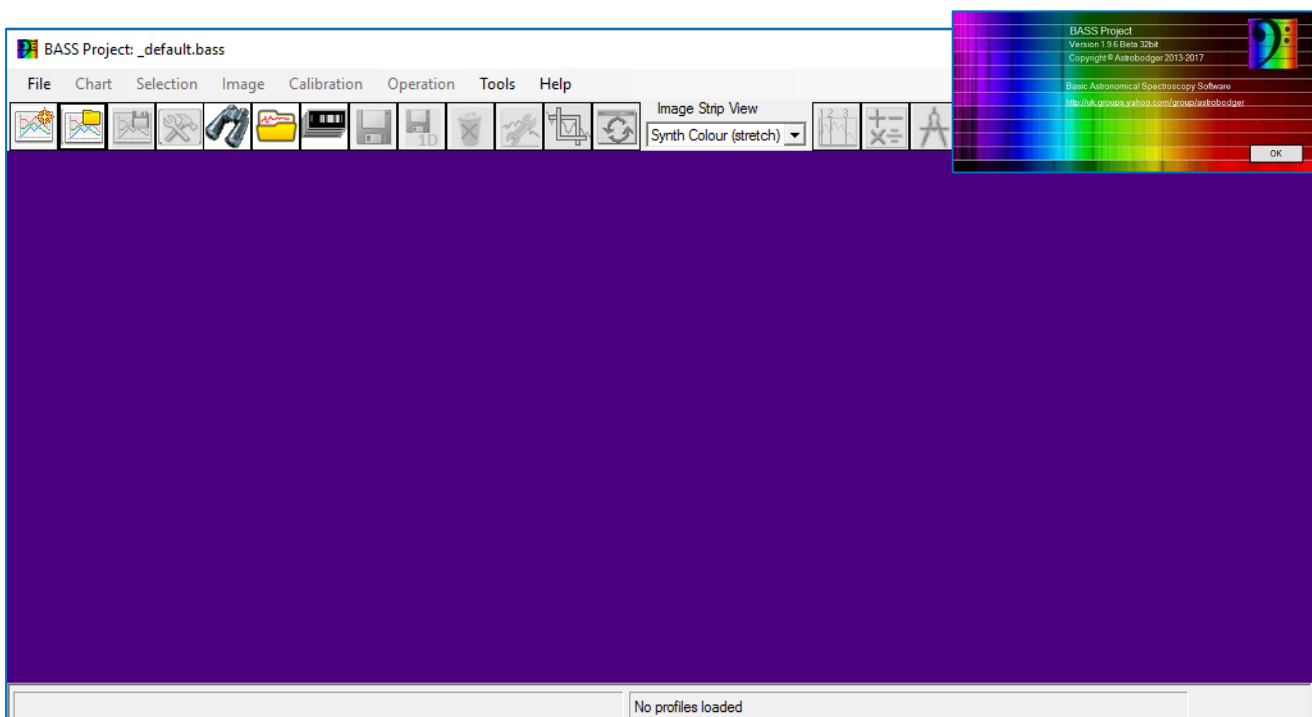
2. BASS starten

Dieses Tutorial setzt voraus, dass Rohspektren im Ordner *C:/astrobodger/Sirius_ESL/...* im Format FIT vorliegen. Diese wurden im Rahmen des **DADOS-Workshops 2017** an einem Celestron 11 EdgeHD-Teleskop mit MaxIm DL aufgenommen und bei der Aufnahme mit automatischen Darkframes korrigiert. Das Siriuusspektrum wurde mit dem mittleren 25 μ m-Spalt aufgenommen.



Start der aktuellen Version *BASSProject.exe* im Ordner *C:\astrobogger*

Das leere Arbeitsfenster eines neuen Projekts:

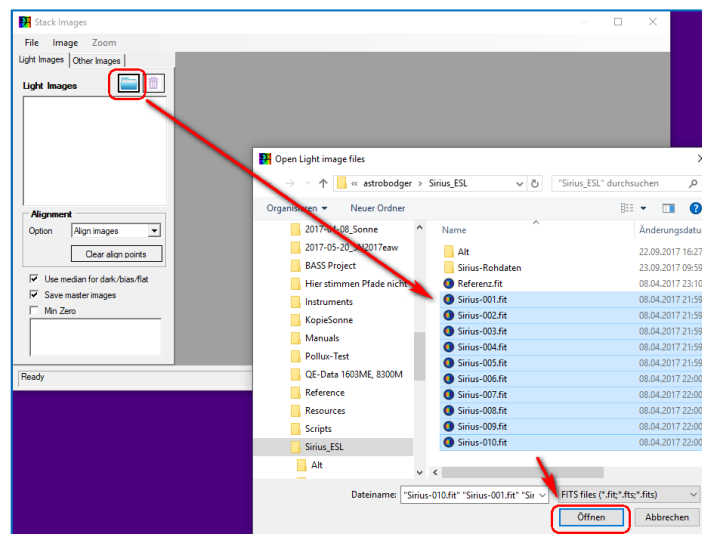
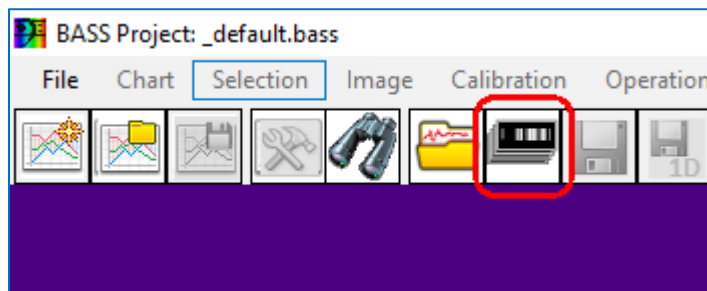


BASS arbeitet mit sogenannten „Projekten“, bei denen alle verwendeten 2D-Rohspektren, Ergebnisse und Beschriftungen gespeichert werden an einem festen Speicherort, *C:/astrobodger*. Projekte werden im Format **.bass** abgespeichert. BASS meldet sich, wenn Teile des Projekts (neue oder geänderte Spektralprofile) noch nicht gespeichert wurden und fordert dann dazu auf. Änderungen an vorhandenen oder neu erzeugte Spektralprofile werden im Format **.fit** (bzw. **.dat**) abgespeichert. Das FITS-Format ist umfangreicher als das DAT-Format, weil zusätzlich zu den Datenzeilen x,y auch alle wichtigen sonstigen Informationen gespeichert werden: Datum, Uhrzeit, Belichtungszeit, Aufnahmeort, etc.

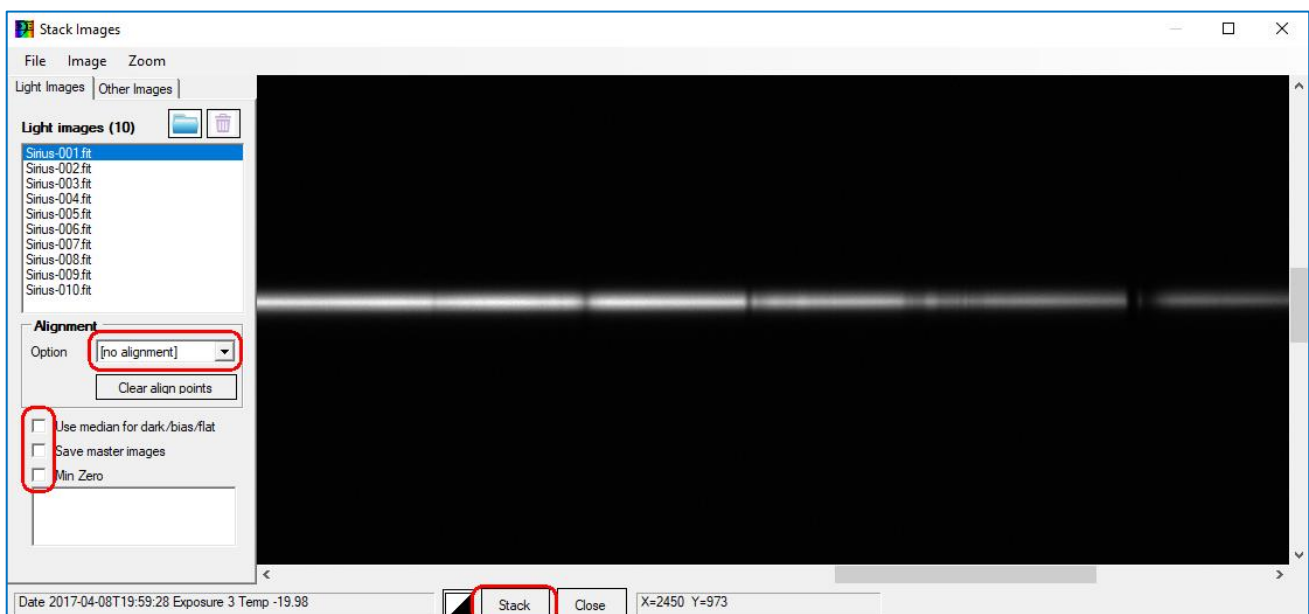
Hinweis: Der Begriff „2D“ bedeutet in der Spektroskopie, dass es sich um ein Foto des Spektrums handelt, so wie man es am Teleskop aufnimmt. „1D“ ist der aus dem Foto erzeugte Spektralprofil, welches nur ein Datensatz mit zwei Spalten ist: x =Position entlang des Sensors, y=Intensität in y-Richtung aufsummiert.

2. Spektren stacken

→ Stack Images

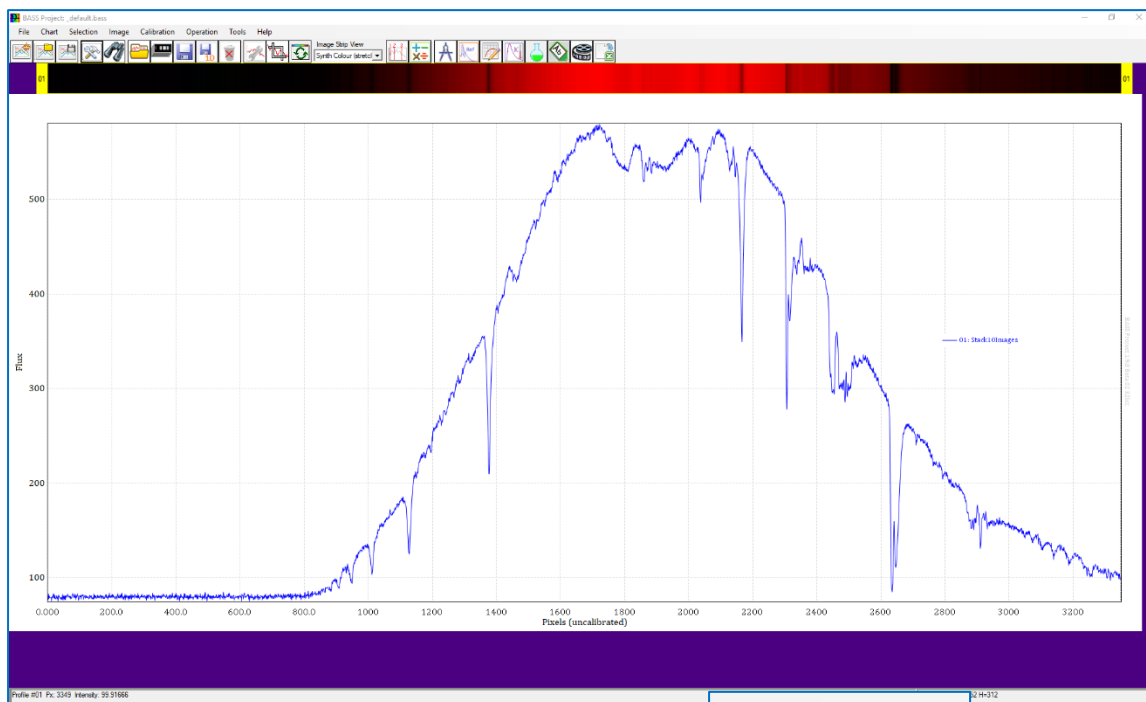


- Erstes Bild *Sirius-001.fit* anwählen
- [no alignment]: Es gibt keine erkennbaren Verschiebungen in x-Richtung. Bitte kein Alignment in Y-Richtung vornehmen, weil die Spektren zum Referenzspektrum passen müssen.
- Clear alignment points: Sicherheitshalber alte „Points“ löschen.
- Alles andere nicht aktivieren
- Stack

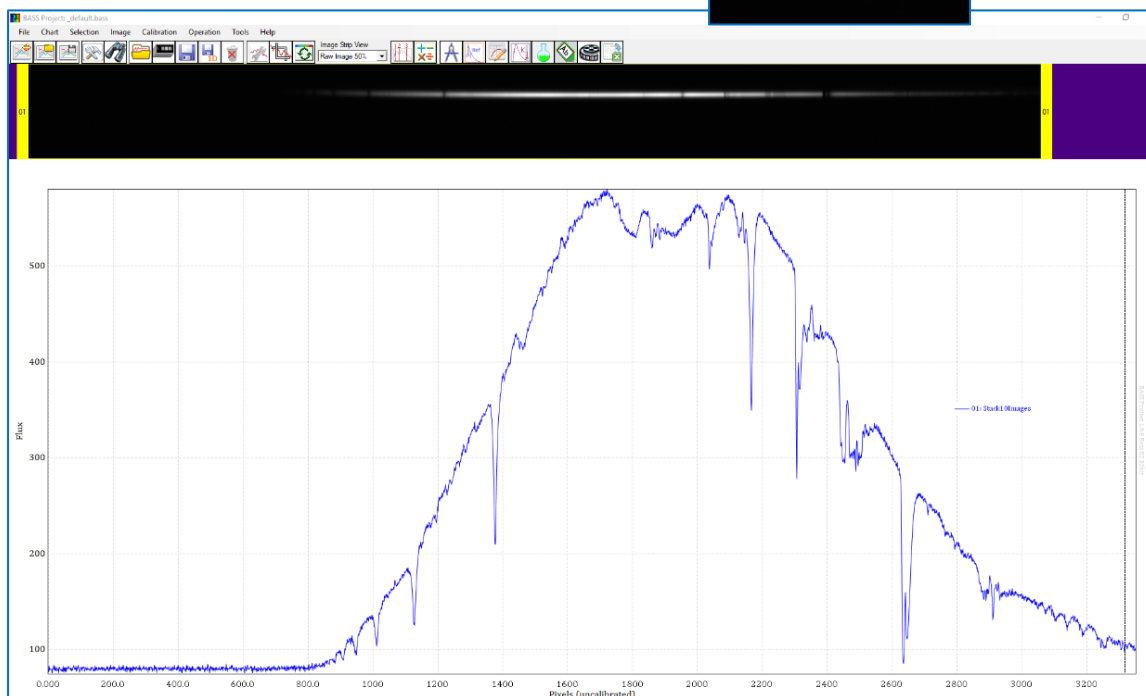
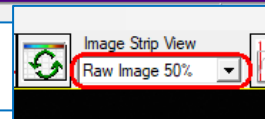


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Das Ergebnis: Ein Summenbild von 10 Einzelspektren.



➔ Image Strip View -> Raw Image 25% oder 50%



Erläuterung: Die x-Achse („Pixels uncalibrated“) entspricht der Pixelposition in horizontaler x-Richtung auf dem Foto. Dieser Pixelwert muss in einen Wert für die Wellenlänge λ (Lambda) umgerechnet werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Wellenlängenkali*brung.

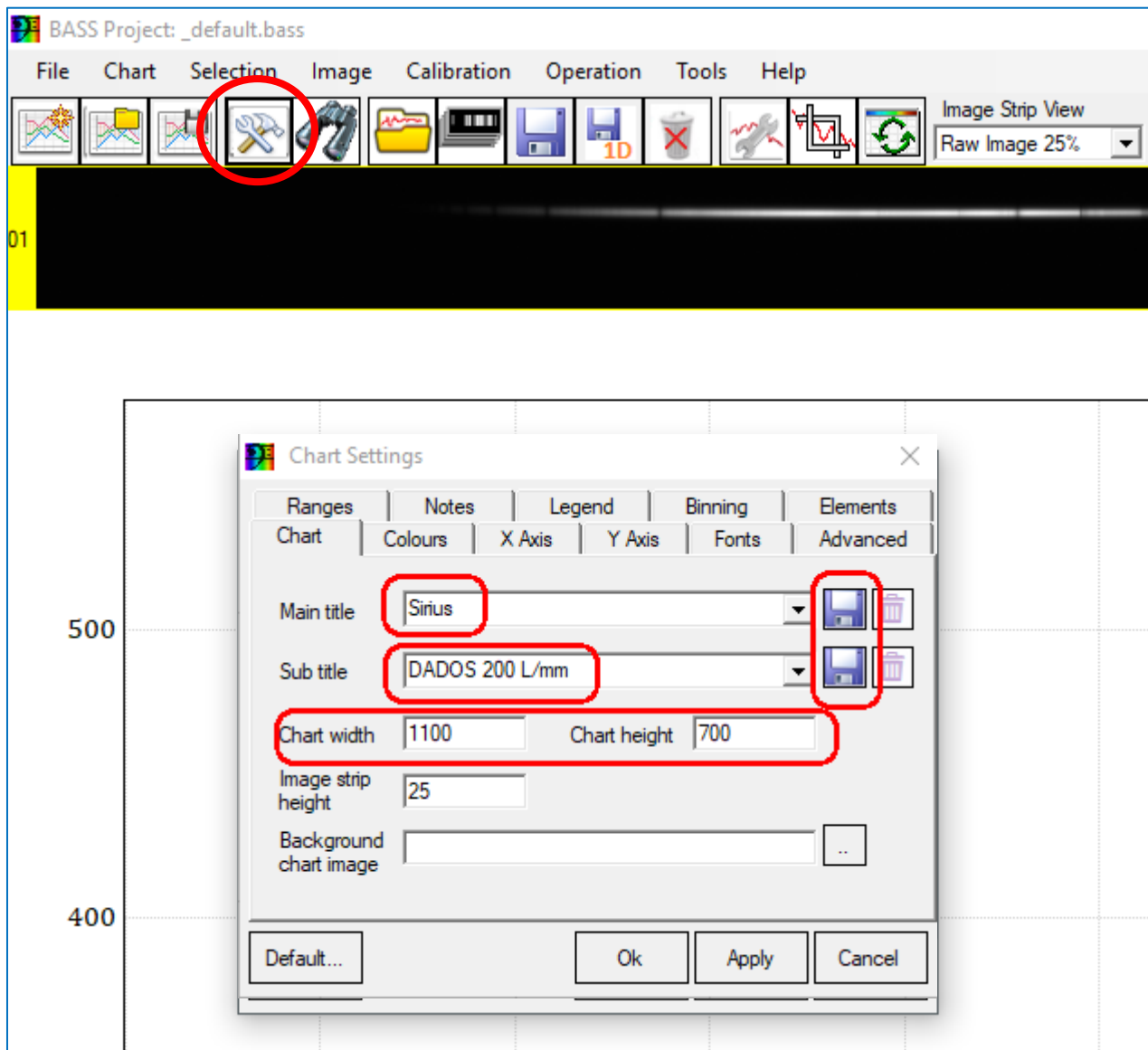
Die y-Achse („Flux“) gibt die Intensität an einer bestimmten Pixelposition im 1D-Spektralprofil an. Diese Intensitätskurve wird auf zwei Arten kalibriert:

- Beseitigung des Pseudokontinuums (Normierung auf „1“).
- Absolutkalibrierung (= Flusskalibrierung) mit Hilfe eines Referenzspektrums.

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

4. Voreinstellungen vornehmen

→ Project Chart Settings: Hier alle Daten eingeben.



→ Titel jeweils speichern

Chart width: CFG Medion-Notebooks ca. 1150 / Chart height: 450 (hängt von der Größe des Bildschirms ab)

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

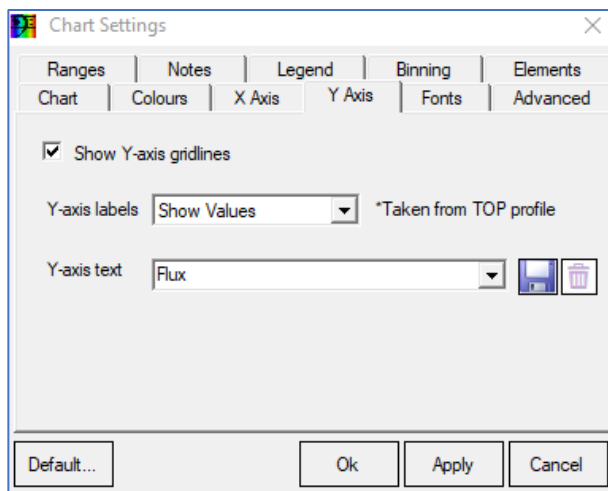


Chart Settings

Y-axis labels: *Taken from TOP profile

Y-axis text:

Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

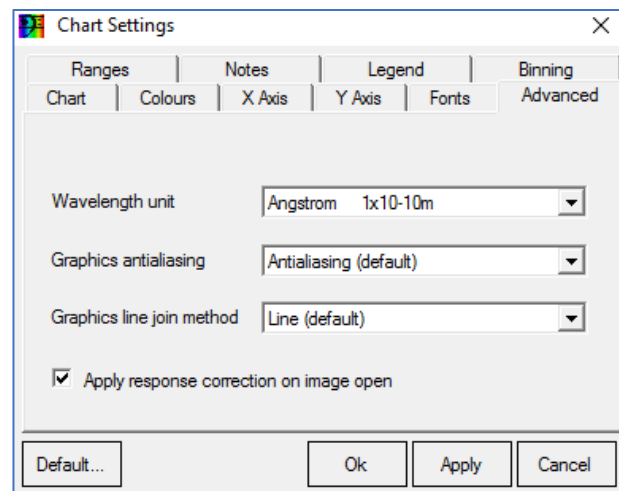


Chart Settings

Wavelength unit:

Graphics antialiasing:

Graphics line join method:

☒ Apply response correction on image open

Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

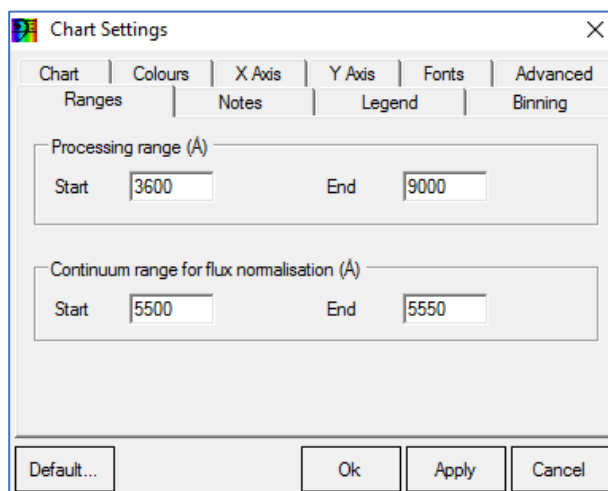


Chart Settings

Processing range (Å): Start End

Continuum range for flux normalisation (Å): Start End

Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

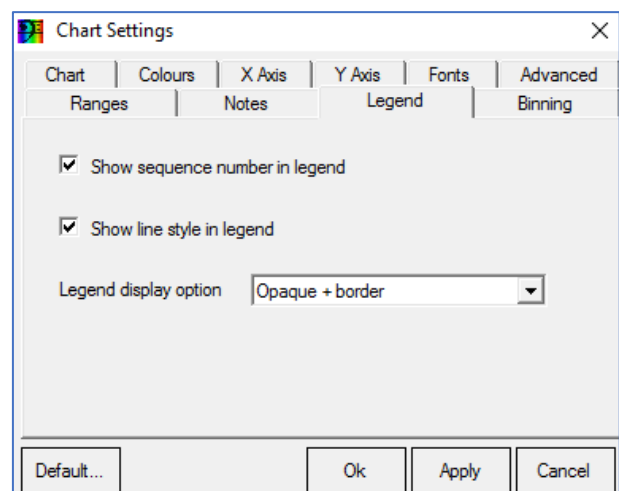


Chart Settings

☒ Show sequence number in legend

☒ Show line style in legend

Legend display option:

Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

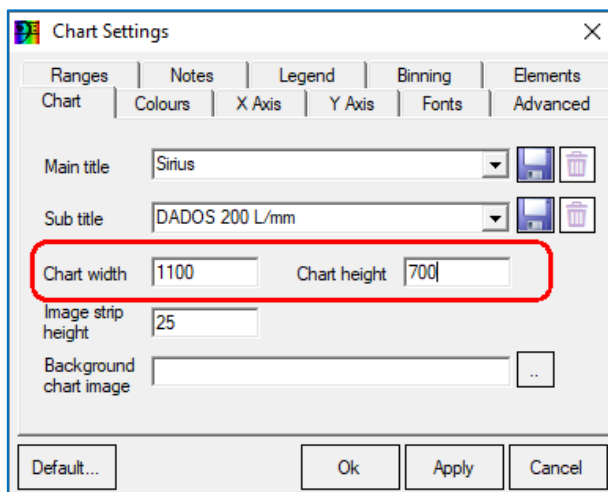


Chart Settings

Main title:

Sub title:

Chart width: Chart height:

Image strip height:

Background chart image:

Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

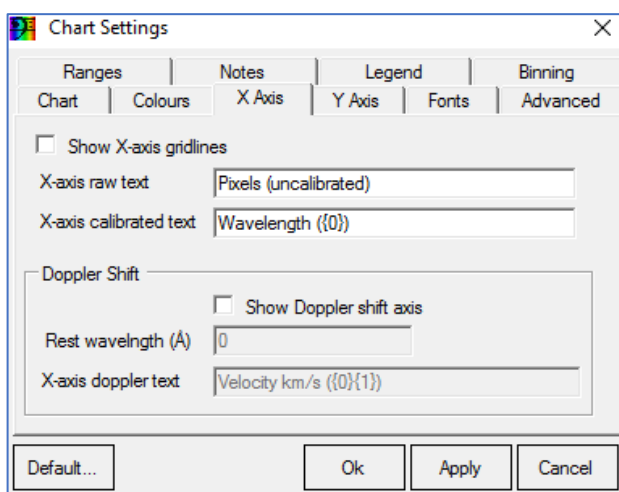


Chart Settings

☐ Show X-axis gridlines

X-axis raw text:

X-axis calibrated text:

Doppler Shift

☐ Show Doppler shift axis

Rest wavelength (Å):

X-axis doppler text:

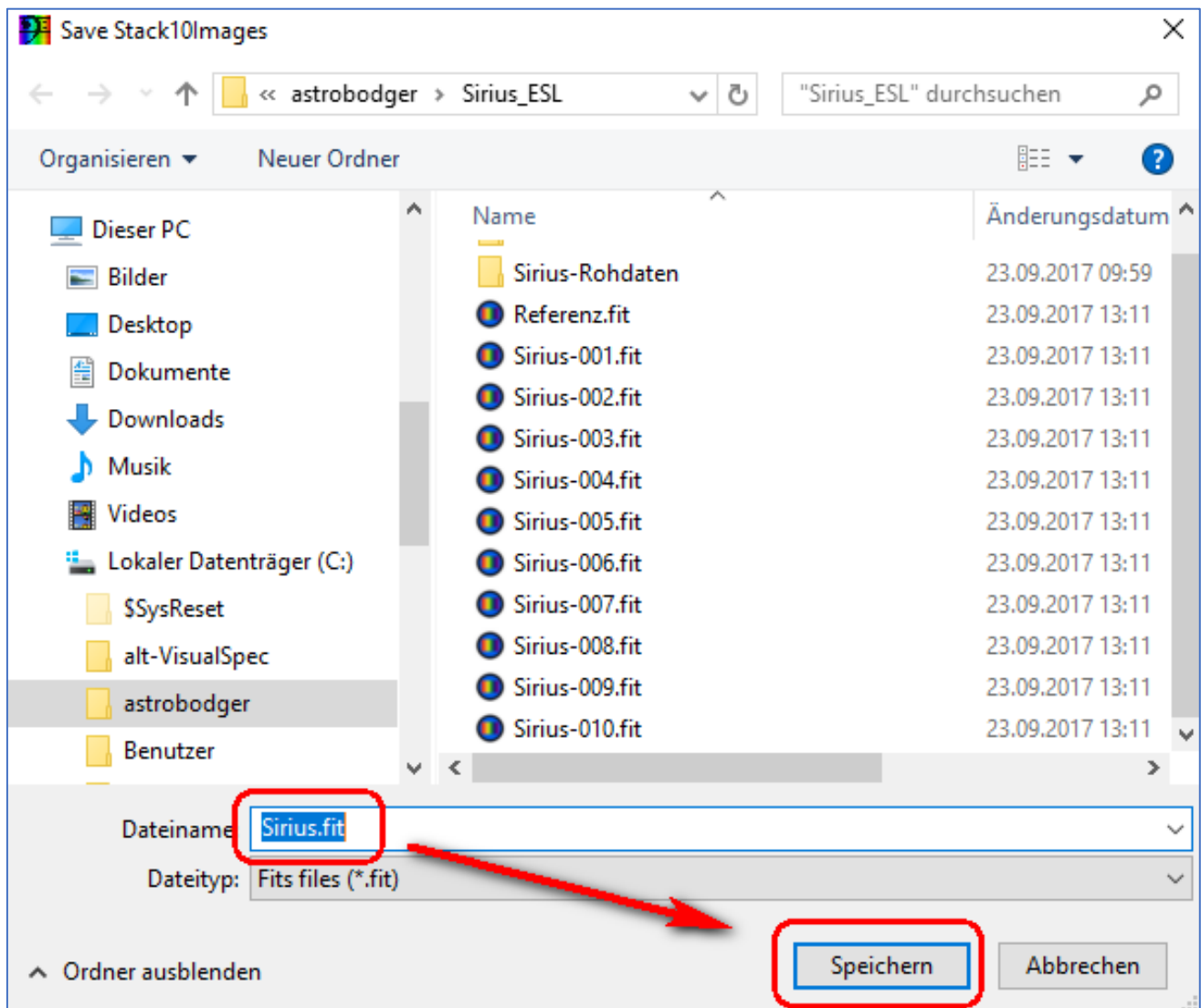
Buttons: Default..., Ok, Apply, Cancel

Chart width: CFG Medion-Notebooks ca. 1150 / Chart height: 450 (hängt von der Größe des Bildschirms ab)

... und am Ende das Anwenden und Speichern nicht vergessen → Apply → Ok

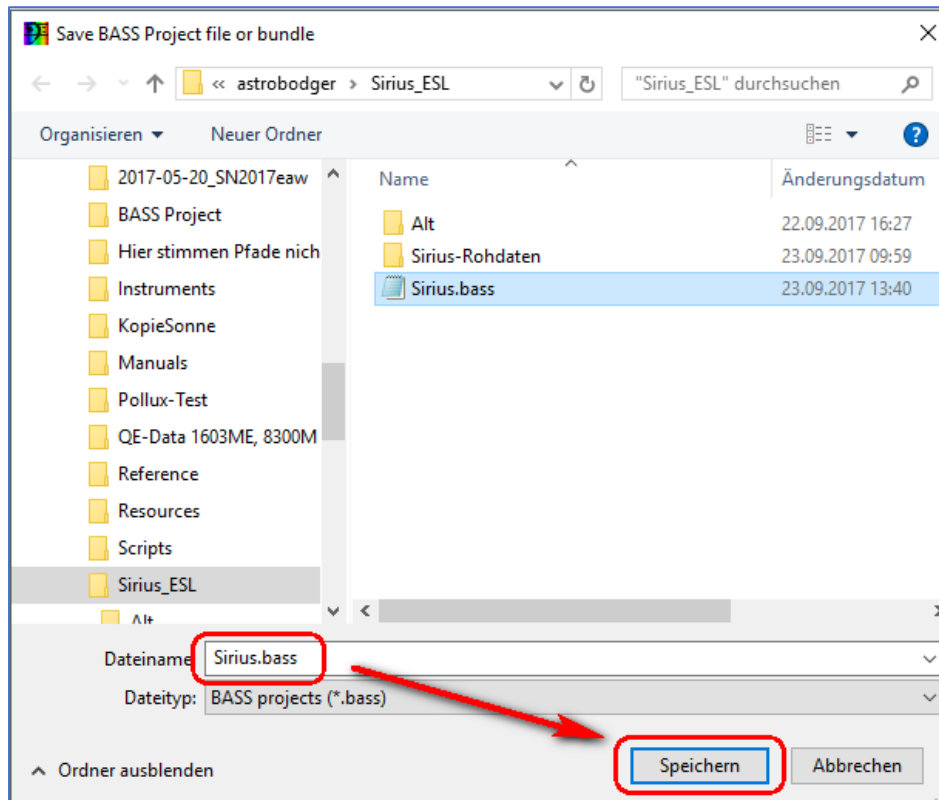
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

→  Speichern des gestackten Bildes: C:/astrobodger/Sirius_ESL/Sirius.fit



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

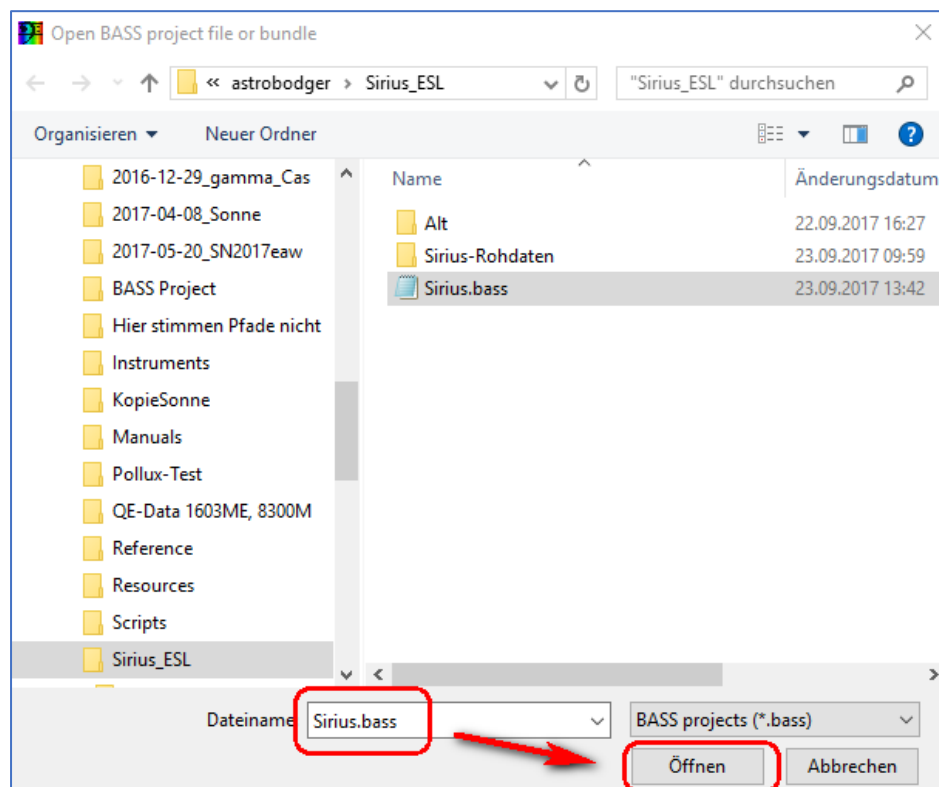
→  Speichern des Projekts unter dem Namen C:/astrobodger/Sirius_ESL/Sirius/Sirius.bass



→ Prüfen, ob Projekt korrekt gespeichert ist: New Project



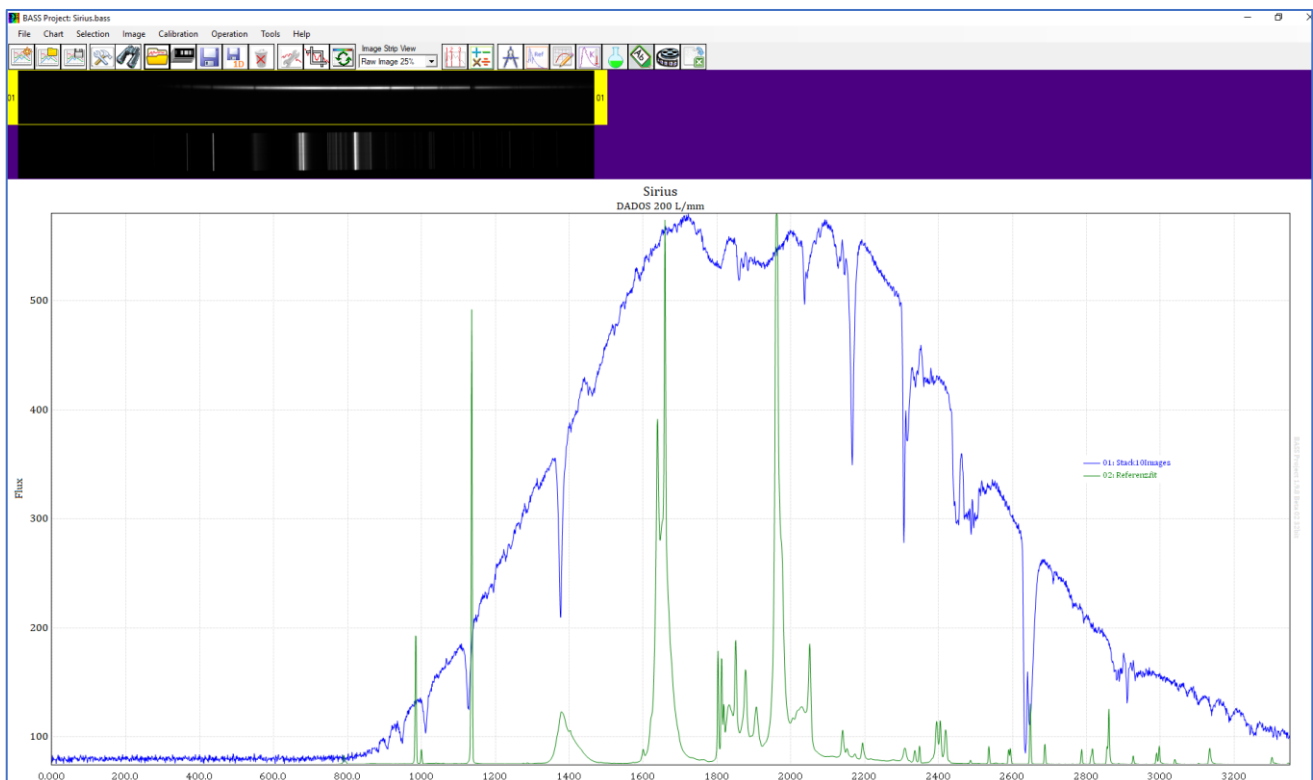
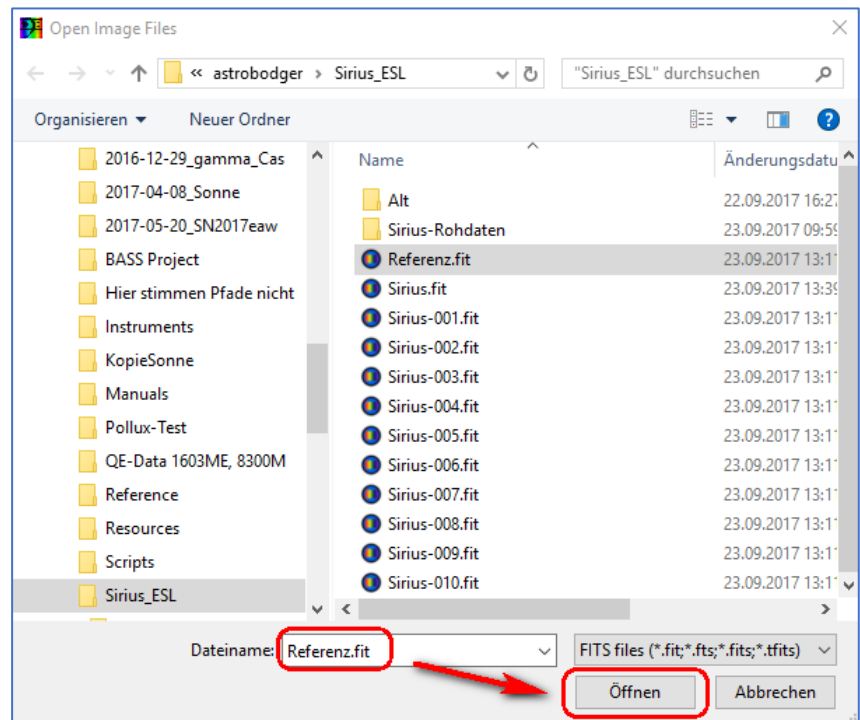
→ Open Project



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

5. Referenzspektrum öffnen

- Open Image Files
- Referenz.fit

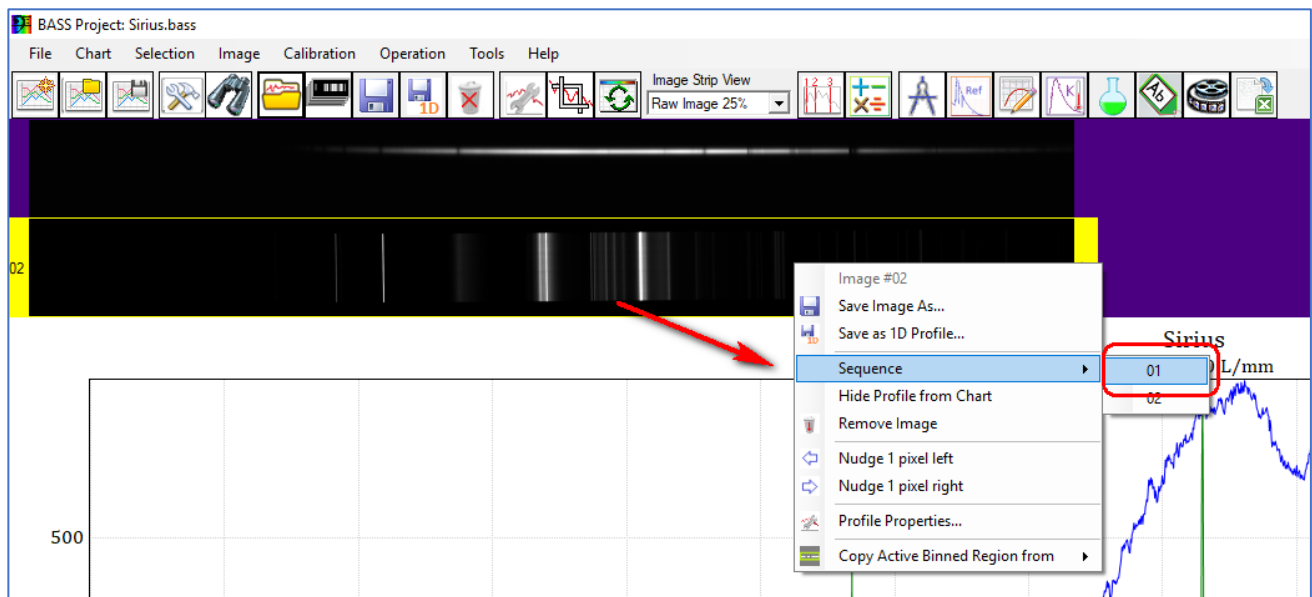


#01 (Blau): Siriuspektrum, #02 (Grün): Referenzspektrum der ESL Megaman, identisch mit Ormalight

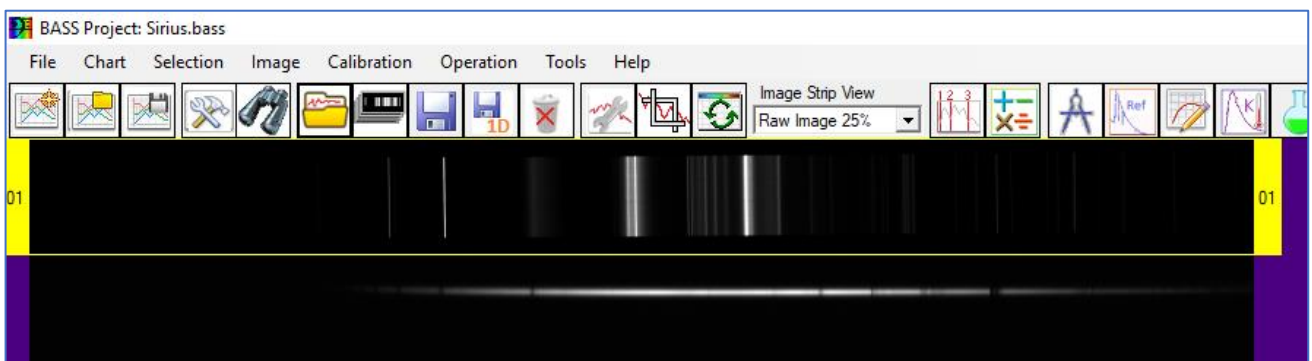
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Jetzt Positionen tauschen: Das Referenzspektrum muss an Position 1 stehen.

➔ #02 aktivieren -> Sequence -> 01

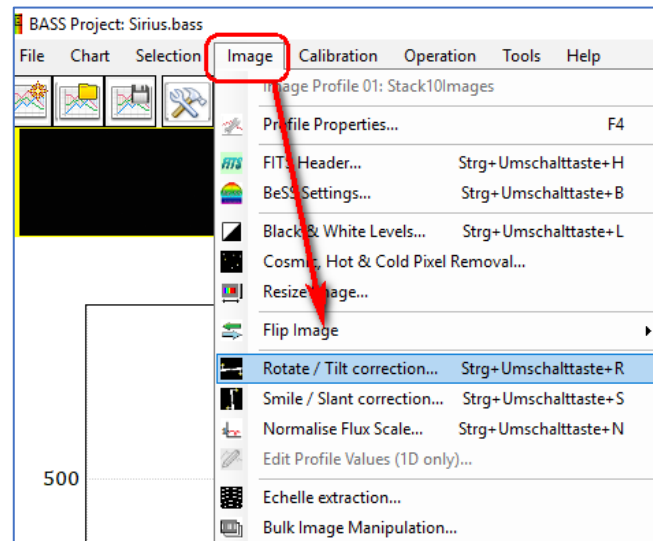


Nach dem Tausch der Position ist dies die neue Reihenfolge:

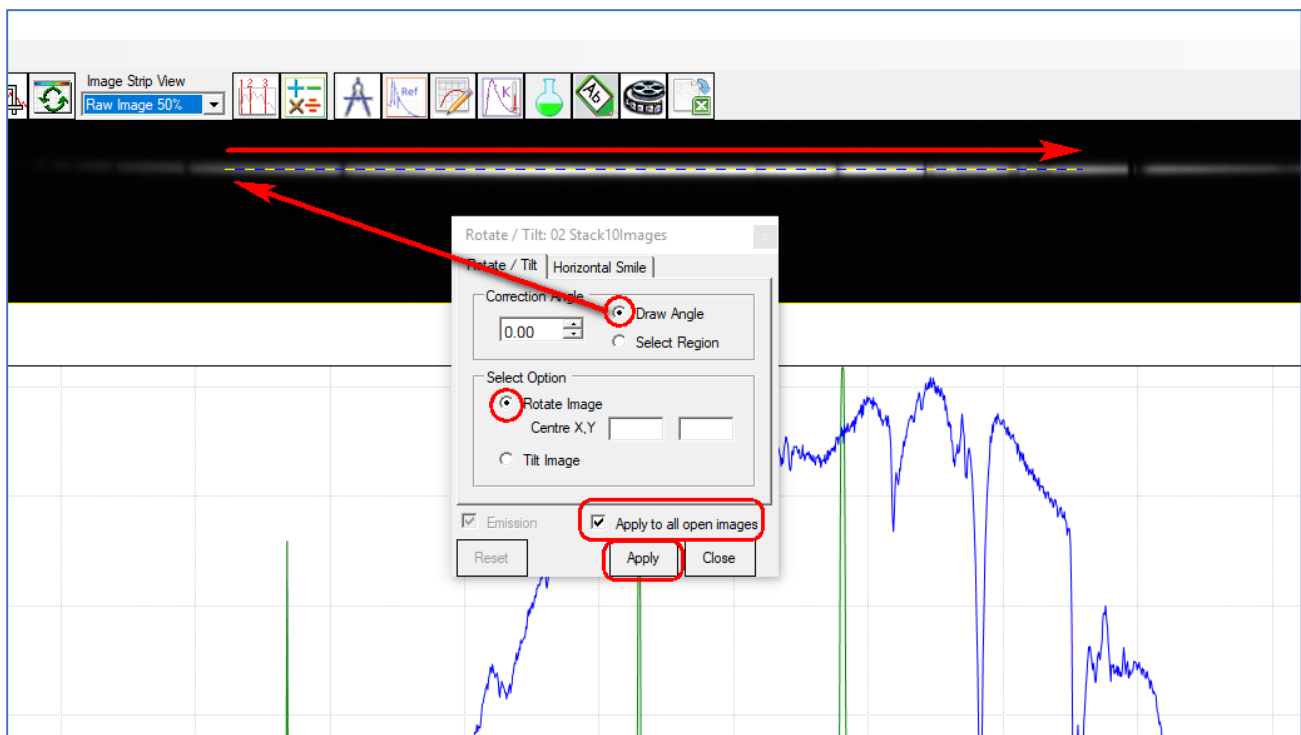


5. Siriusspektrum und Referenzspektrum horizontal ausrichten.

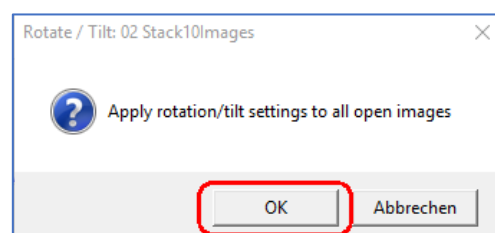
- Spektrum 02 *Sirius* aktivieren
- Image → Rotate/Tilt correction



- Select Option → Draw Angle und Rotate Image wählen.
- Dann mit der Maus eine Line entlang des Spektrums ziehen.



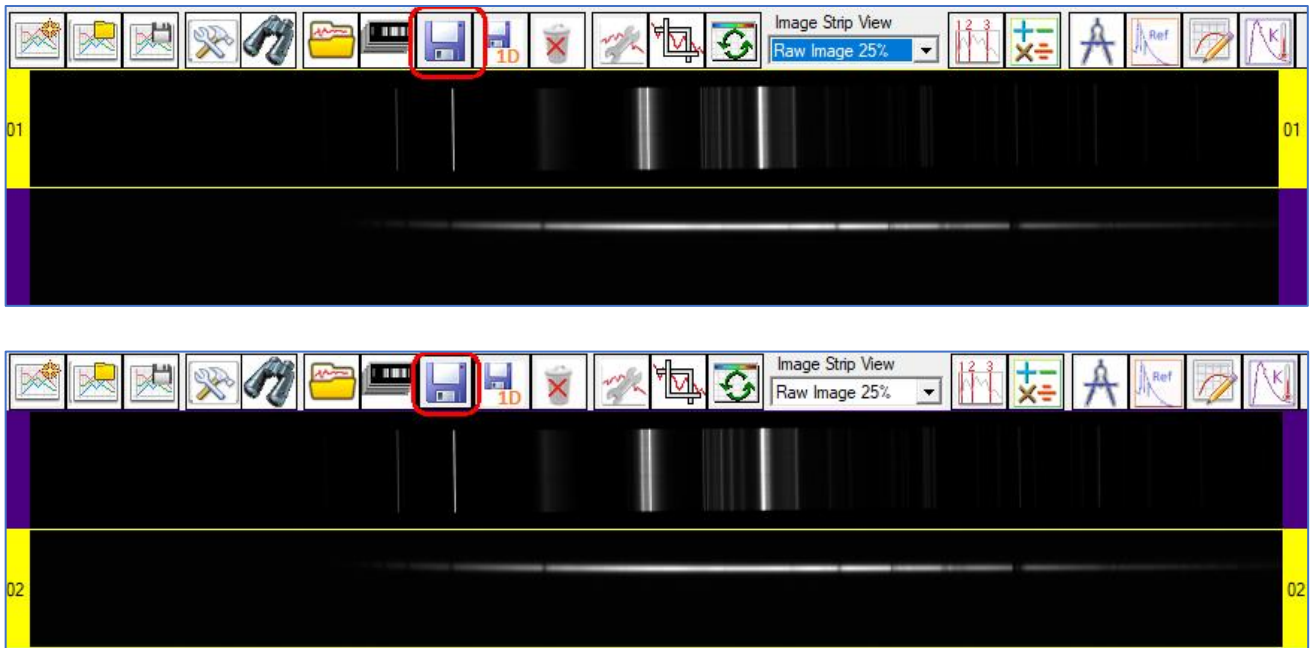
- Apply
- Close



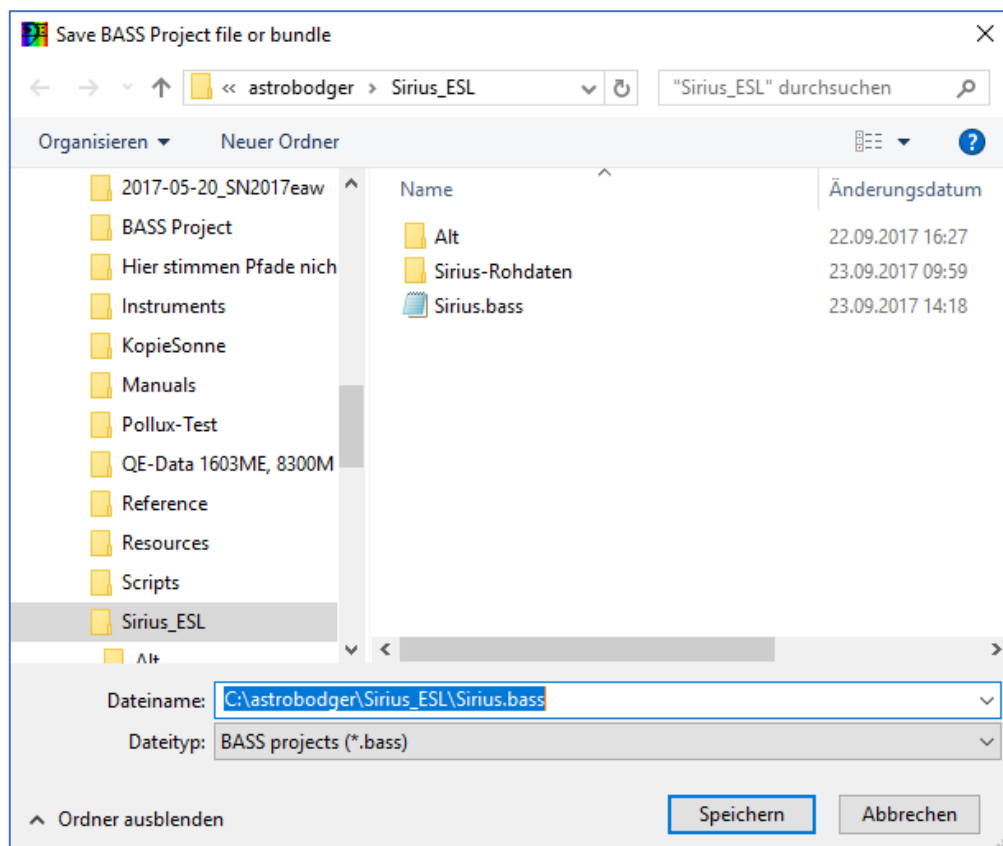
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Nun sind **beide** Spektren gleichermaßen horizontal ausgerichtet. **Hinweis:** Im Falle geneigter oder gebogener Spektrallinien muss die Funktion *Tilt Image* bzw. *Horizontal Smile* ausgeführt werden. Zwar sind die Referenzlinien im vorliegenden Spektrum leicht geneigt, doch dies wirkt sich auf das sehr schmale Spektrum nicht aus. Bei einem hochaufgelösten Spektrum würden man die Neigung ggf. korrigieren.

→ Abspeichern der soeben gedrehten beiden Spektren: Save the selected image strip (selbe Namen)

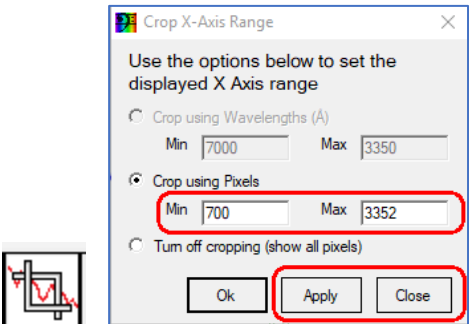


→ Speichern  des Projekts: unter dem selben Namen *Sirius.bass*



6. Spektralbereich eingrenzen -> Crop X-Axis Range

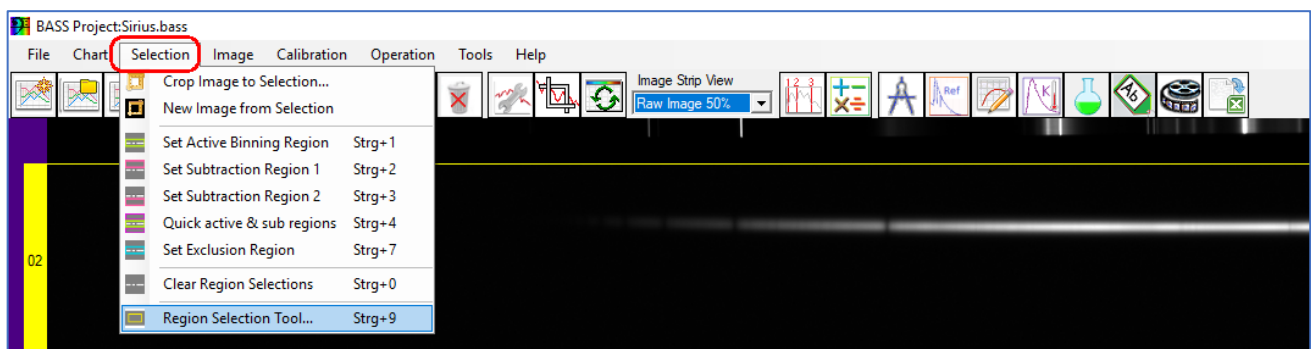
- Mit der linken Maustaste einen Bereich aufziehen von x=700px bis zum rechten Rand



- prüfen mit Apply, dann -> Close -> Ok
- Name des Profils Nr. 2 ändern: *Stack10Images* -> *Sirius*
- Projekt speichern

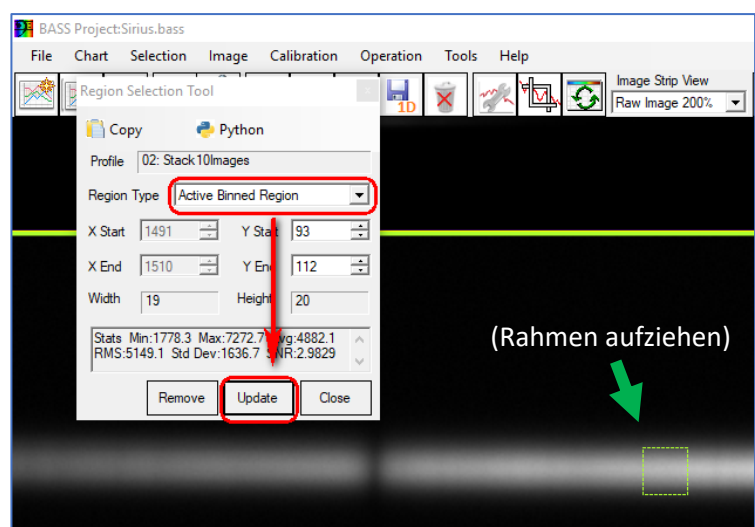
7. Auswahl des Scanbereichs für Spektrum und Himmelshintergrund (Region Selection Tool)

- Spektrum #02 auswählen
- Image Strip View: 100%
- Selection -> Region Selection Tool



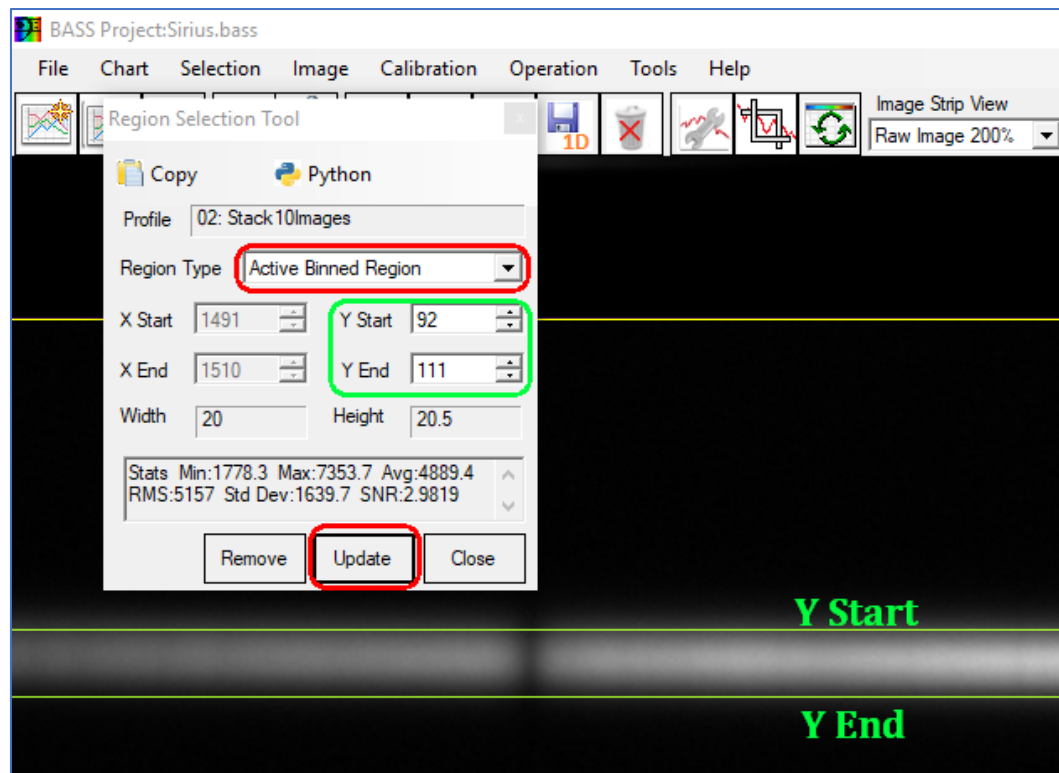
Es erscheint das Menüfenster Region Selection Tool.

- **Active Binned Region** (Sternspektrum definieren)
- Ziehe nun einen Rahmen innerhalb des Spektrums auf



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

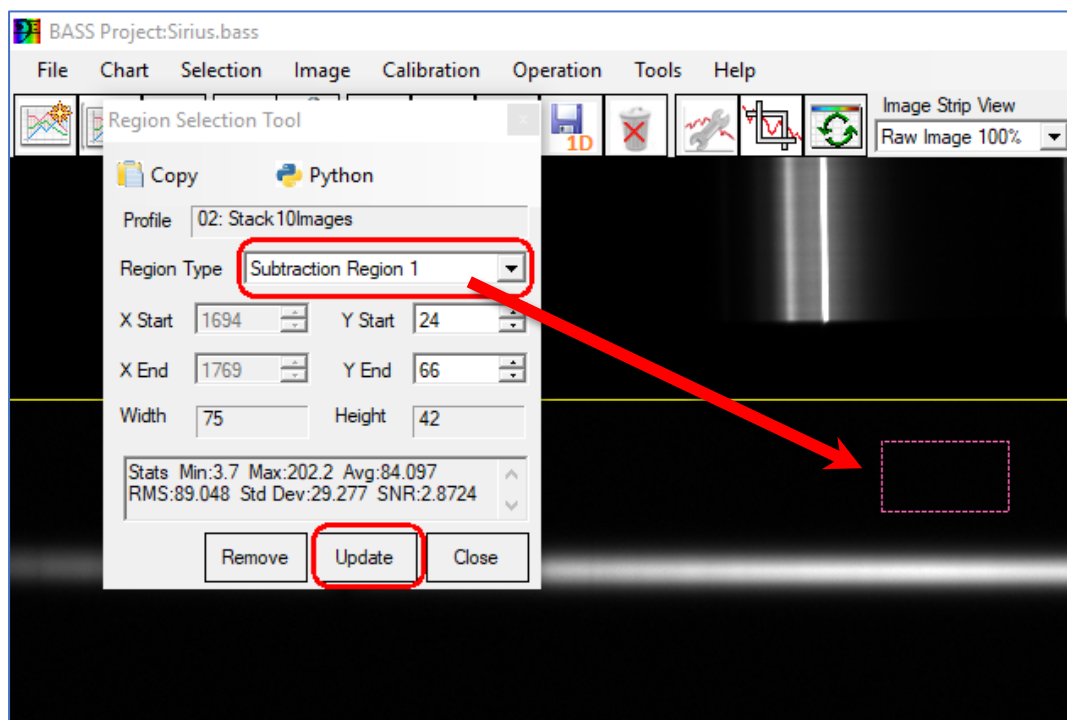
- Verändere die Werte für *Y Start* und *Y End*, bis der Rahmen das Spektrum in nahezu voller Höhe umfasst. Die Breite wird automatisch angepasst.



- Update

Nun wird der Himmelshintergrund definiert, der später subtrahiert werden soll:

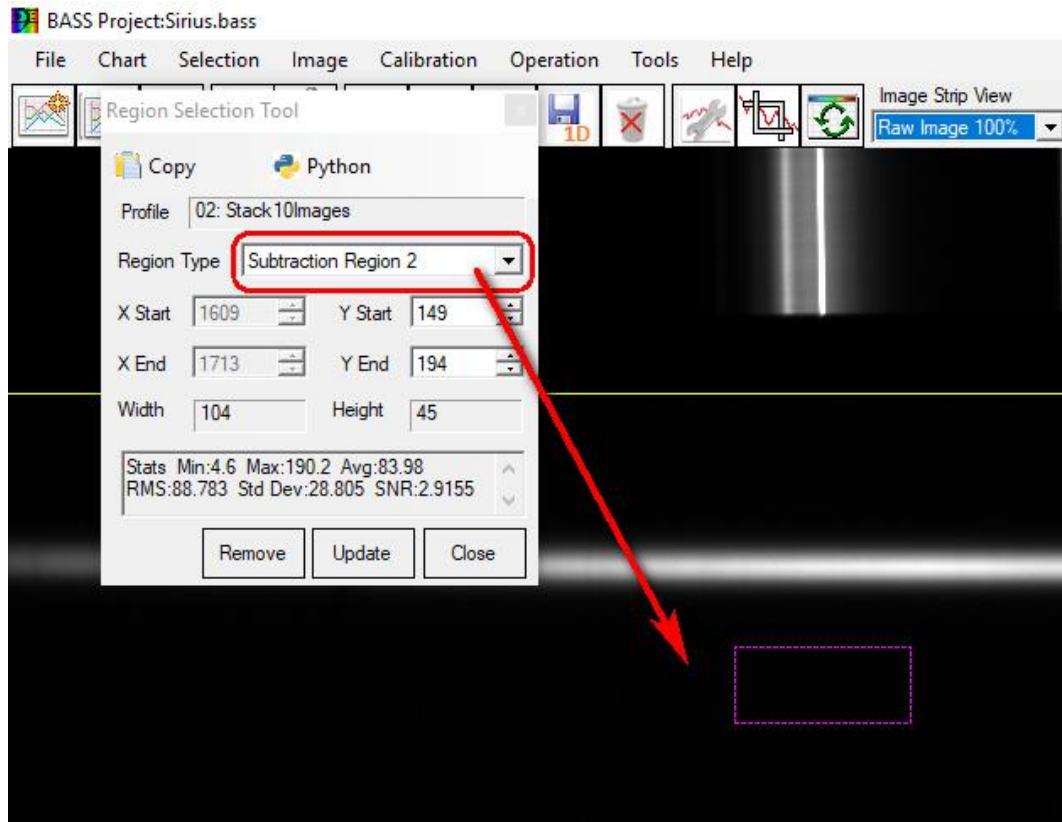
- Subtraction Region 1 (für Himmel „oben“, also oberhalb des Siriußpektrums)
→ Rahmen aufziehen für Himmel „oben“



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

- Update
- Subtraction Region 2 (Himmel „unten“, also unterhalb des Siriuusspektrums)
- Rahmen aufziehen für Himmel „unten“

→



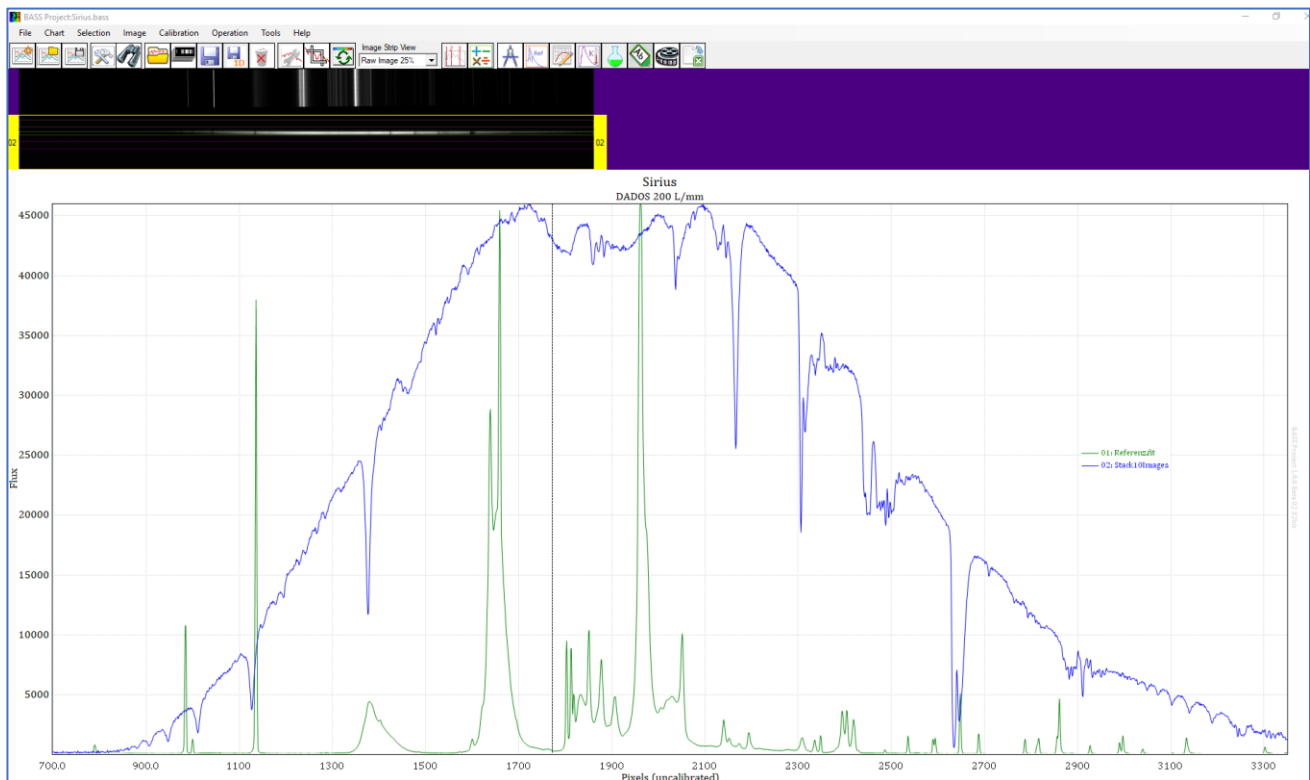
- Update
- Close

Und das ist das Ergebnis der Festlegung der Bereiche:



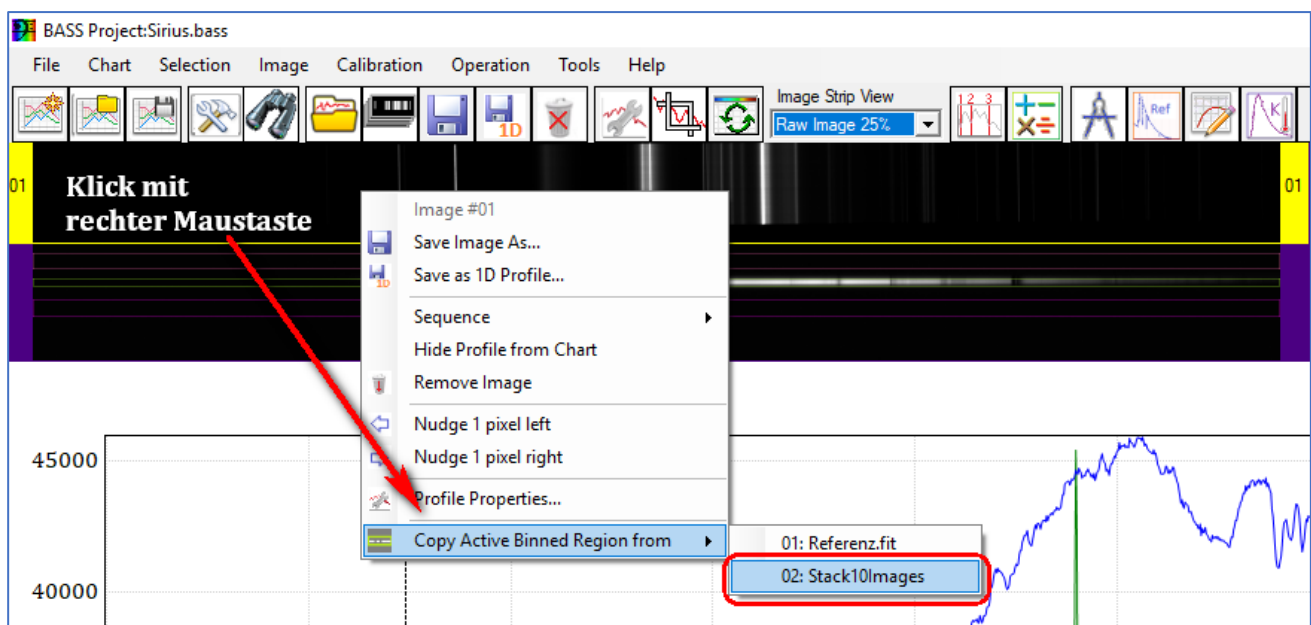
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Zurück zur Gesamtansicht:



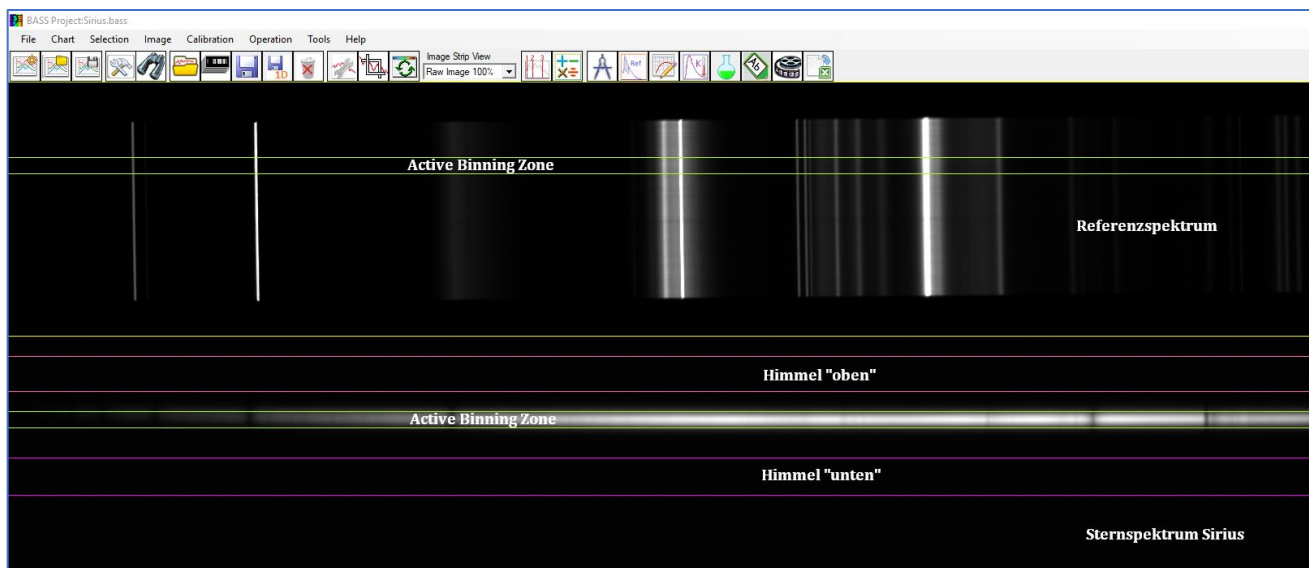
Nun wird die „Active Binning Zone“, also der Bereich des Siriuusspektrums, der gescannt wird, auf das Referenzspektrum übertragen:

- ➔ Mit rechter Maustaste in das Spektrum *01 Referenz.fit* klicken
- ➔ Copy Active Binned Region from
- ➔ *02 Stack10Images* (Siriuusspektrum)



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

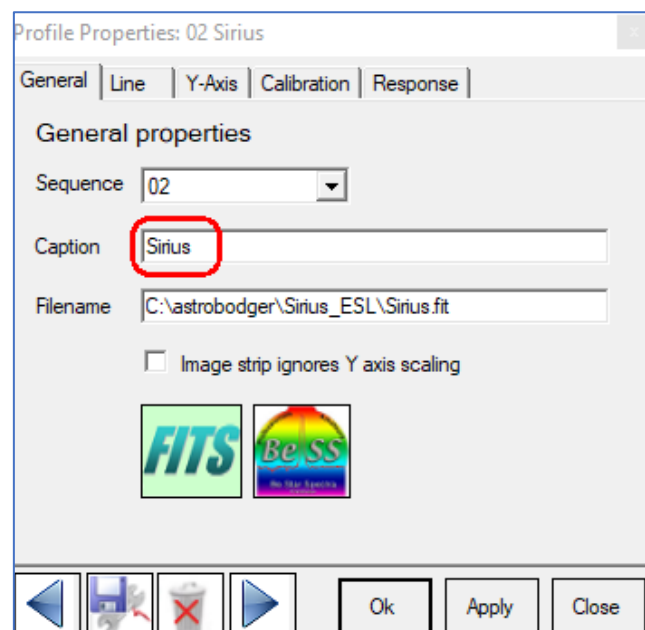
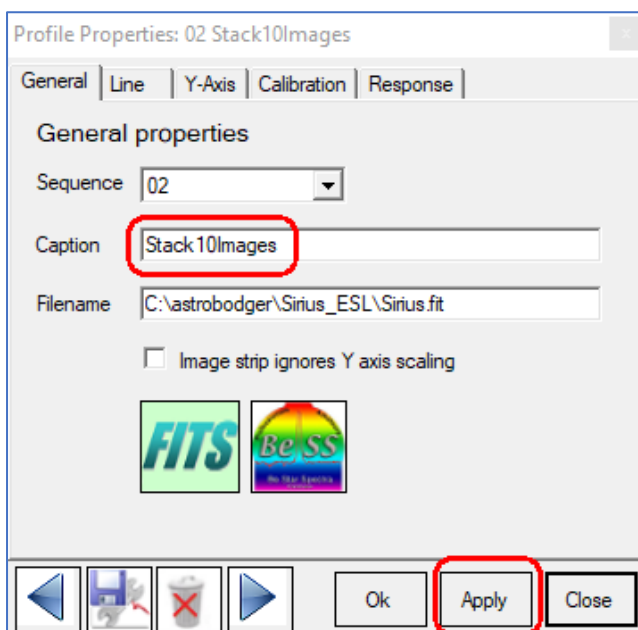
Ergebnis: Es sind alle benötigten Bereiche in beiden Spektren definiert:



➔ Speichern  des Projekts unter dem selben Namen *Sirius.bass*

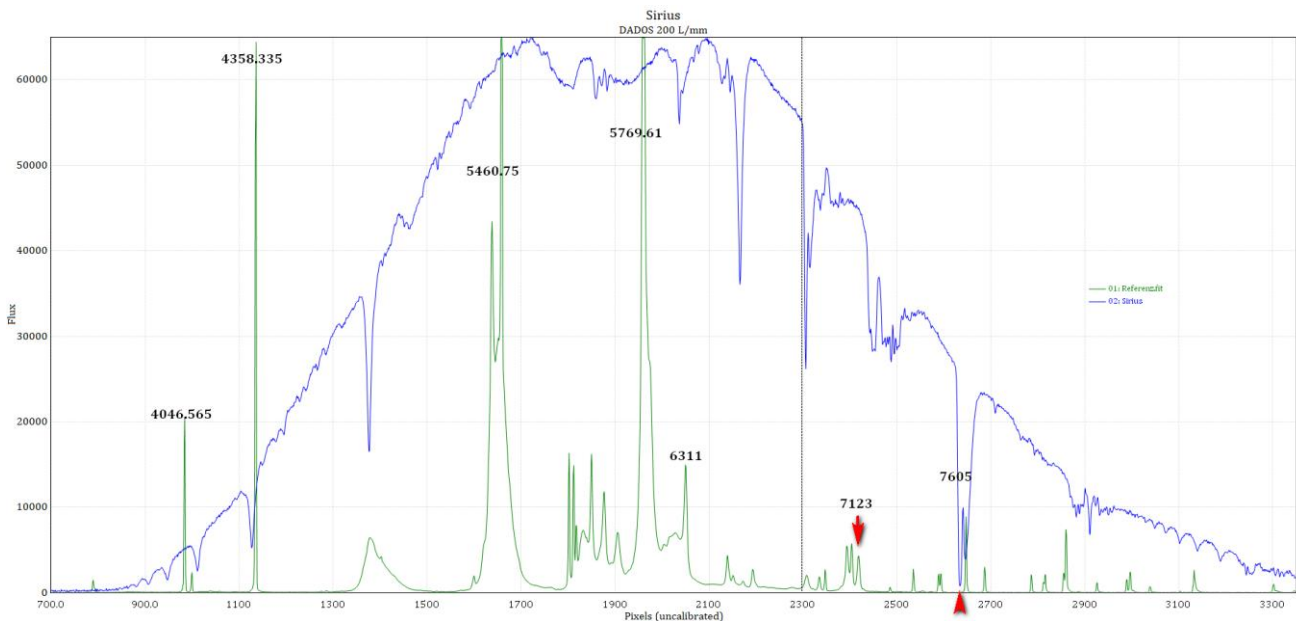
In der Bildbeschriftung nun die Namensänderung vornehmen:

- ➔ Spektrum 2 aktivieren mit Mausklick 
- ➔ Profile Properties: 02 Stack 10Images
- ➔ Neue Caption: Sirius

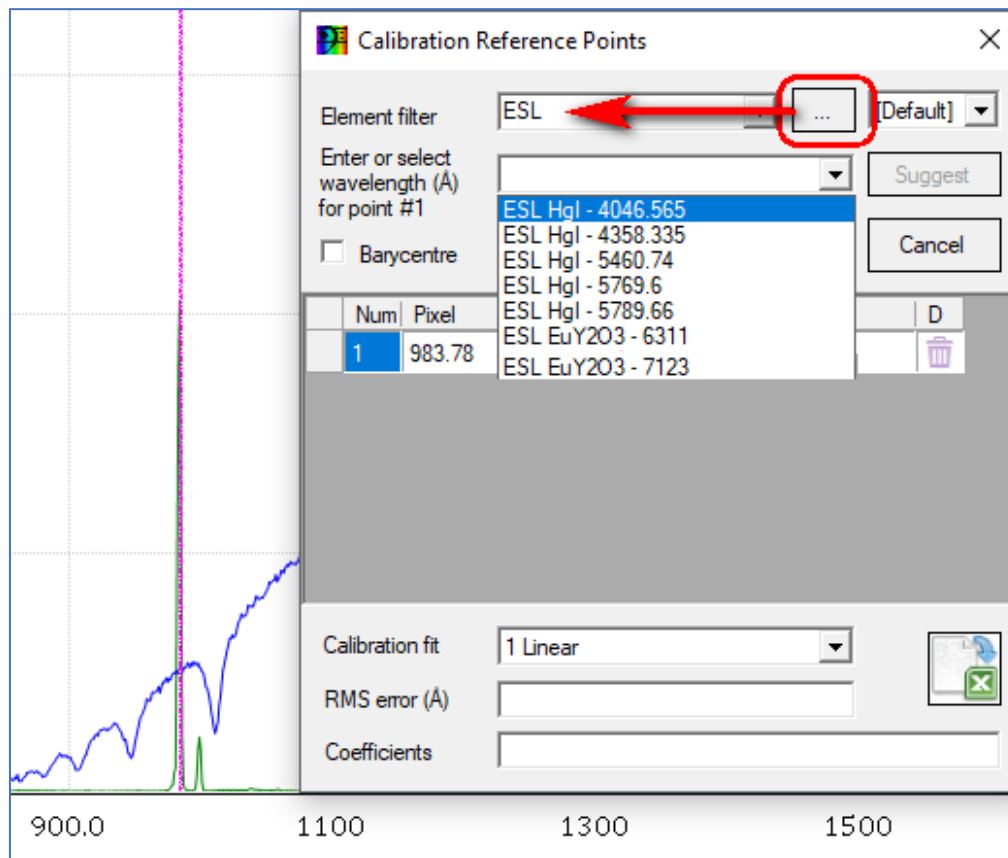
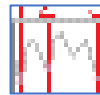


8. Wellenlängenkalibrierung des Referenzspektrums

Dies sind die hier verwendeten Referenzlinien, außer 7605Å.



- 01: Referenz.fit aktivieren
- Enter Line Calibration Mode
- Erste Referenzlinie eng eingrenzen: 4046.565Å
- Element filter: ESL
- ESL Hg I – 4046.565 wählen



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

➔ Add Another Point

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #1: ESL HgI - 4046.565

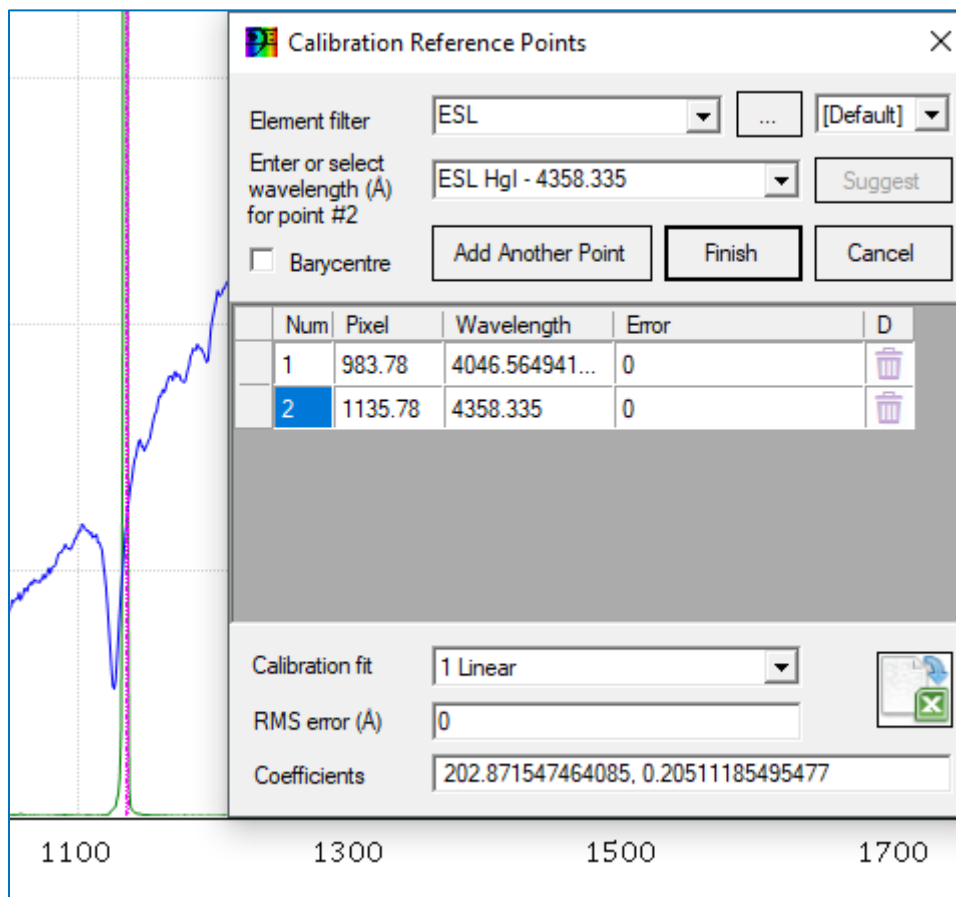
☐ Barycentre

Buttons: Add Another Point, Finish 1pt, Cancel

Num	Pixel	Wavelength	Accept wavelength and add an
1	983.78	4046.565	☐

➔ Zweite Referenzline eng eingrenzen: 4358.335 Å

➔ ESL Hg I – 4358.335 wählen



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

➔ Add Another Point

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #3: 4358.3349609375

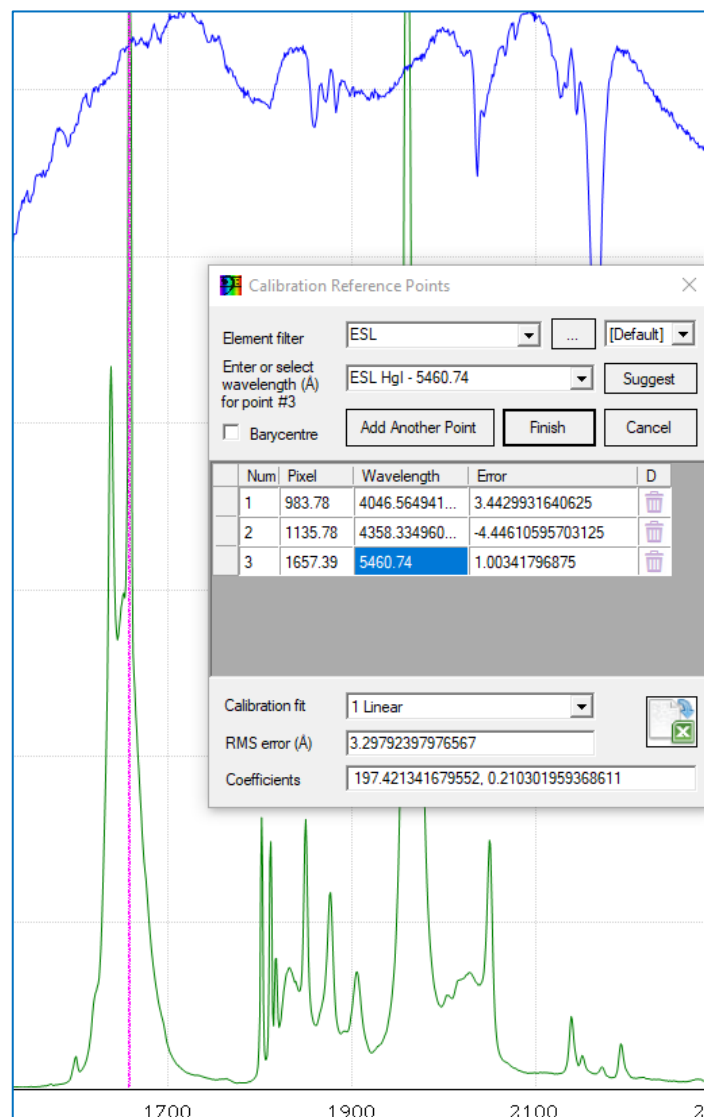
☐ Barycentre

Add Another Point Finish Cancel

Num	Pixel	Wavelength	Error	D
1	983.78	4046.564941...	0	
2	1135.78	4358.335	0	

➔ Dritte Referenzline eng eingrenzen: 5460.74Å

➔ ESL Hg I – 5460.74 wählen



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

→ Add Another Point

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #3: ESL HgI - 5460.74

☐ Barycentre

Buttons: Add Another Point, Finish, Cancel

Num	Pixel	Wavelength	Error	D
1	983.78	4046.564941...	3.4429931640625	
2	1135.78	4358.334960...	-4.44610595703125	
3	1657.39	5460.74	1.00341796875	

→ Vierte Referenzline eng eingrenzen: 6311Å

→ Suggest schlägt ESL EuY2O3-6311 vor

→ Calibration fit umstellen auf 2 Quadratic (Polynom zweiten Grades). Restfehler: 0.968Å

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #4: ESL EuY2O3 - 6311

☐ Barycentre

Buttons: Add Another Point, Finish, Cancel

Num	Pixel	Wavelength	Error	D
1	983.78	4046.564941...	0.9716796875	
2	1135.78	4358.334960...	-1.46331787109375	
3	1657.39	5460.740234...	0.7684326171875	
4	2050.37	6311	-0.277099609375	

Calibration fit: 2 Quadratic

RMS error (Å): 0.968598664003292

Coefficients: 208.173216076216, 0.19348293728322, 6.2423163

Spectrum plot: 2100, 2300, 2500

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

➔ Add Another Point

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #4: ESL EuY2O3 - 6311

☐ Barycentre

Buttons: Add Another Point, Finish, Cancel

Num	Pixel	Wavelength	Error	D
1	983.78	4046.564941...	0.9716796875	
2	1135.78	4358.334960...	-1.46331787109375	
3	1657.39	5460.740234...	0.7684326171875	
4	2050.37	6311	-0.277099609375	

Calibration fit: 2 Quadratic

RMS error (Å): 0.968598664003292

Coefficients: 208.173216076216, 0.19348293728322, 6.2423163

➔ Fünfte Referenzlinie eng eingrenzen: 7123Å

➔ Suggest schlägt ESL EuY2O3-7123 vor

➔ Calibration fit umstellen auf 3 Cubic (Polynom dritten Grades). Restfehler: 0.626Å

➔ Mit der fünften Linie des Referenzspektrums endet die Eingabe

Calibration Reference Points

Element filter: ESL

Enter or select wavelength (Å) for point #5: ESL EuY2O3 - 7123

☐ Barycentre

Buttons: Add Another Point, Finish, Cancel, Suggest

Num	Pixel	Wavelength	Error	D
1	983.78	4046.564941...	0.51513671875	
2	1135.78	4358.334960...	-0.867919921875	
3	1657.39	5460.740234...	0.767822265625	
4	2050.37	6311	-0.5718994140625	
5	2418.65	7123	0.15625	

Calibration fit: 3 Cubic

RMS error (Å): 0.626048698375224

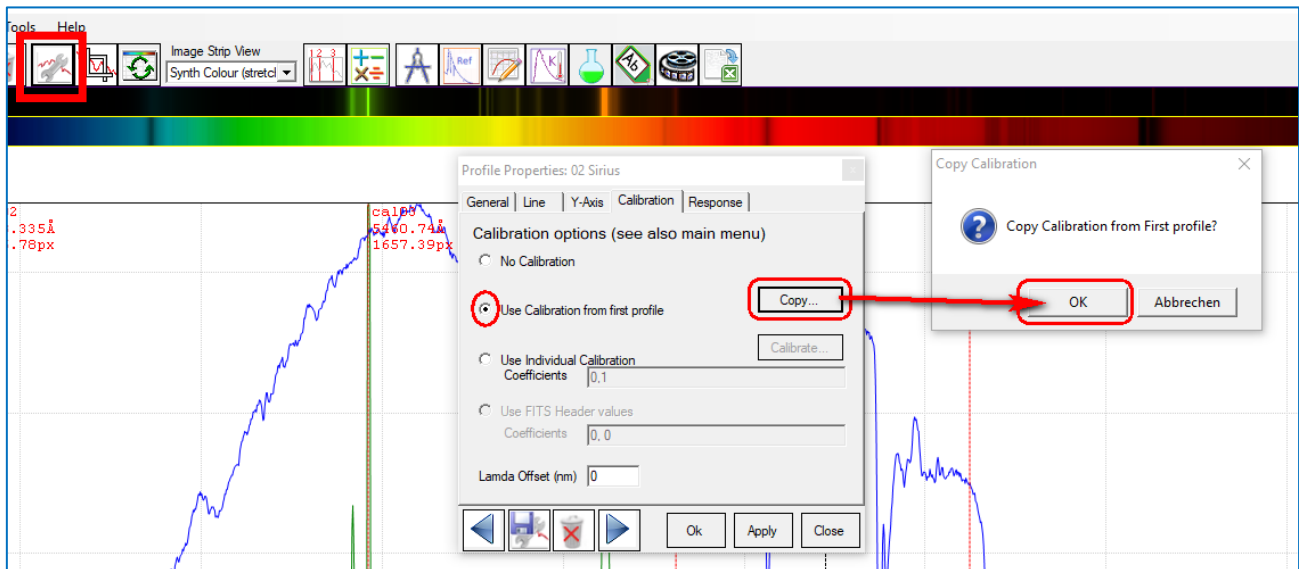
Coefficients: 212.390363532911, 0.184870271990416, 1.183055

➔ Finish

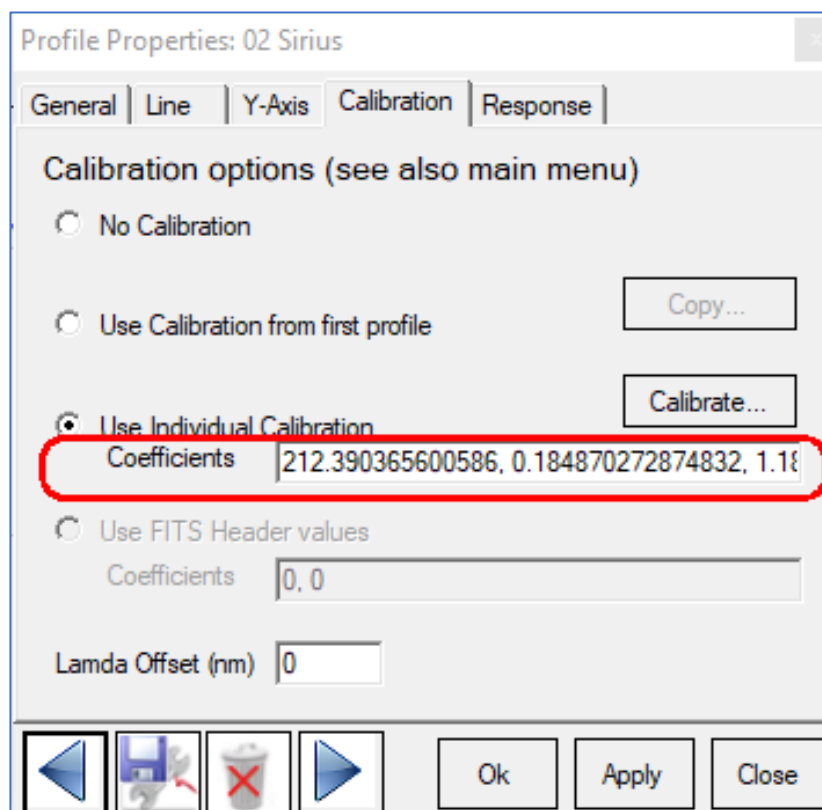
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Übertragung der Kalibrierung von 01 Referenzspektrum auf das Spektrum 02: Sirius

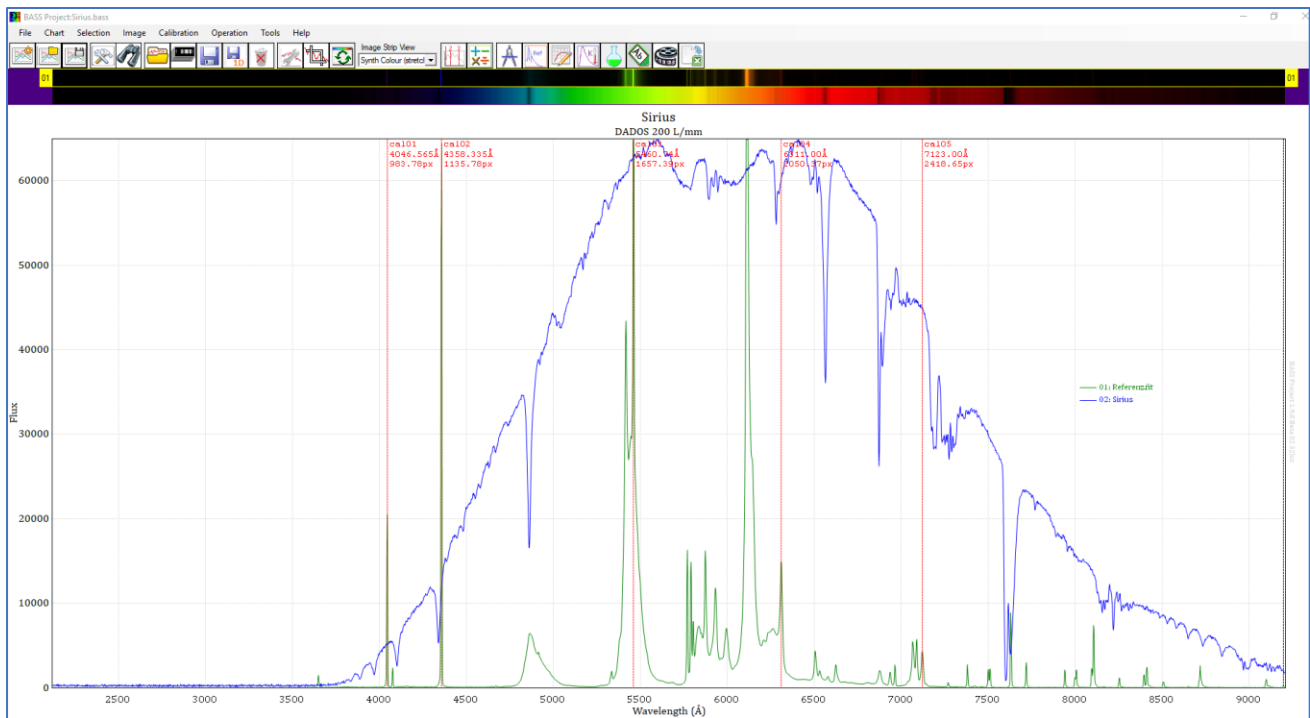
- 02 Sirius anwählen
- Profile properties  02 Sirius
- Use Calibration from first profile
- Copy
- OK



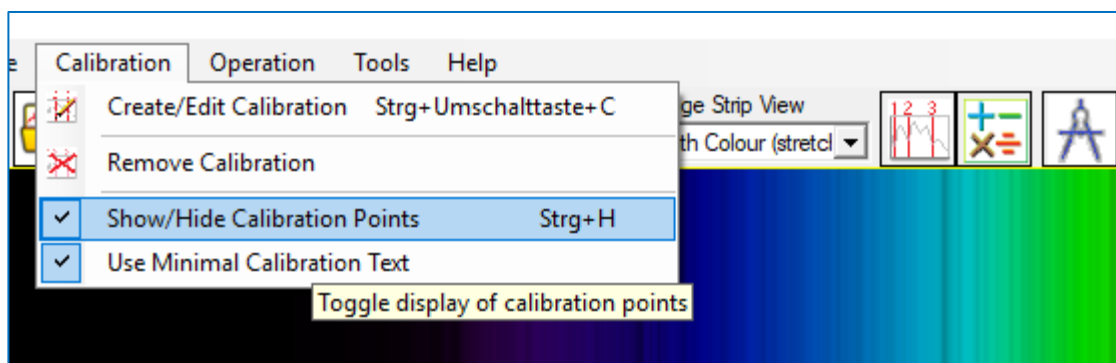
Die Koeffizienten wurden übertragen:



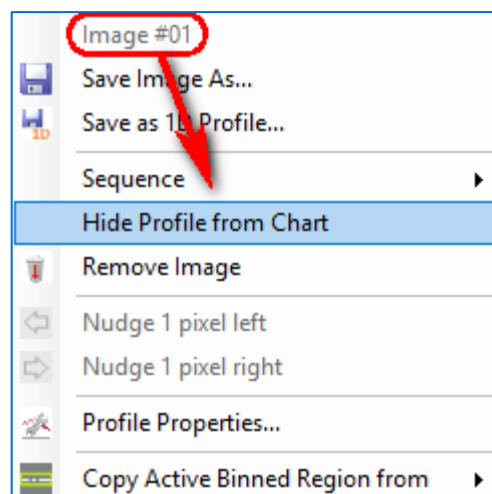
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



- ➔ Image Strip View umstellen auf Synth Color stretched (synthetisches Sternspektrum)
- ➔ Speichern des Projekts unter dem selben Namen *Sirius.bass*
- ➔ Show/Hide Calibration Points: Schaltet die Anzeige der Kalibrierpunkte ein und aus!

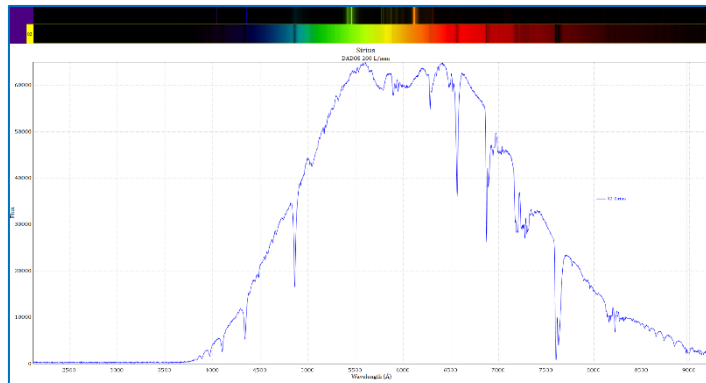


- ➔ Ausblenden des Referenzspektrums:



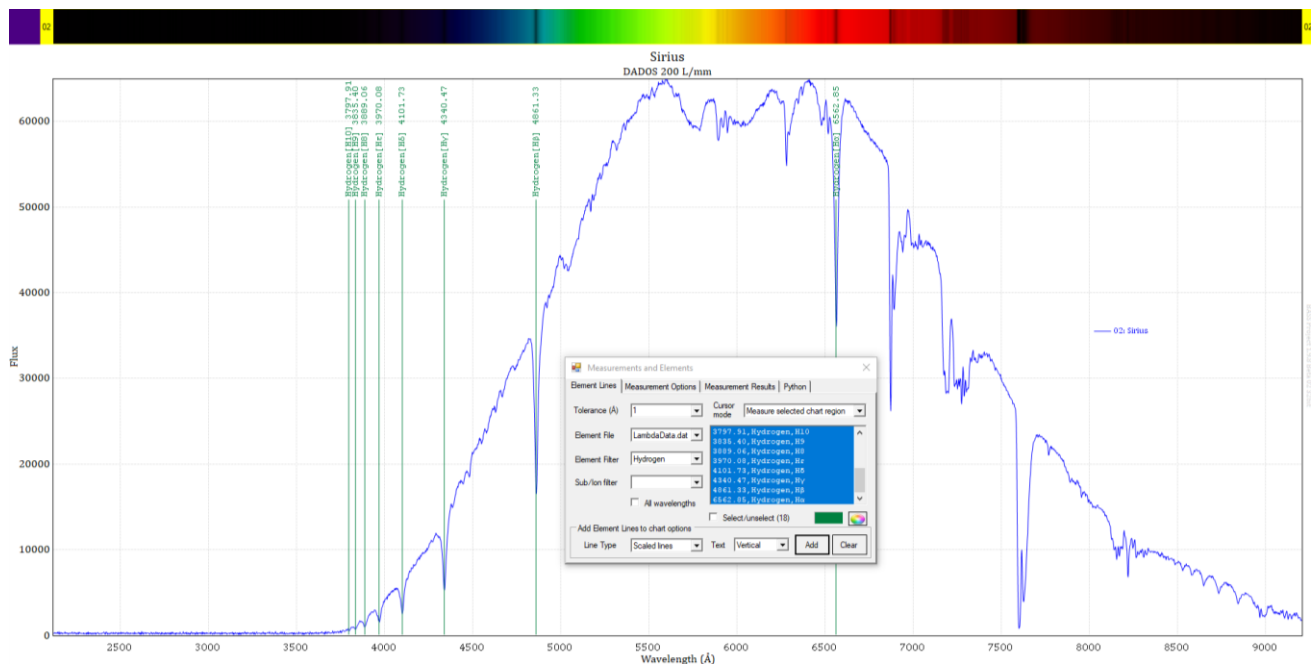
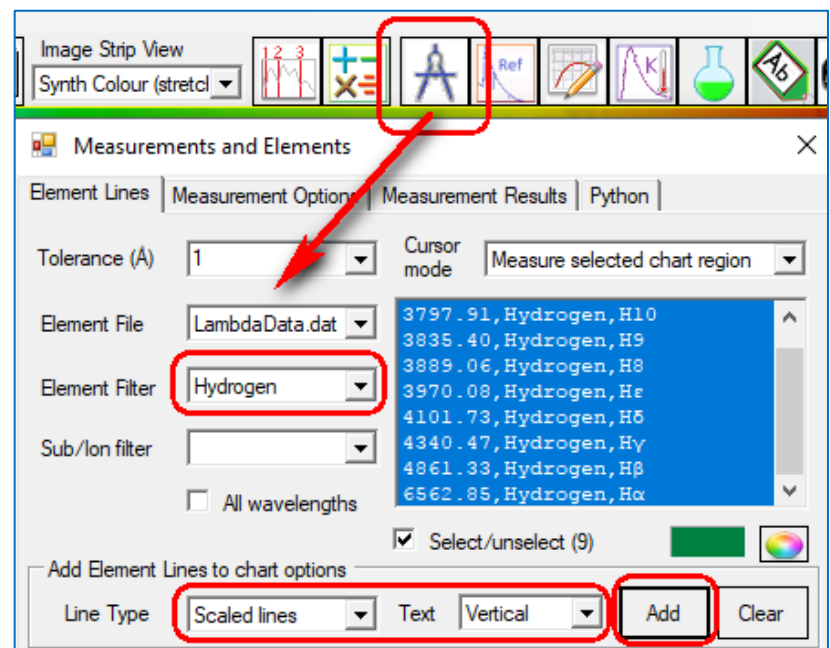
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

→ Spektrum #02 Sirius mit der Maus aktivieren:



Einblenden der Balmer serie des Wasserstoffs:

→ Measurements and Element Lines



9. Kalibrierung der Intensität des Spektrums

Der Intensitätsverlauf des wellenlängenkalibrierten Spektrums stellt nicht den wahren Kontinuumsverlauf dar. Dieser wird durch verschiedene Faktoren verfälscht. Dazu zählt die Instrumentenfunktion („Response“) von Teleskop, Spektrograf und Kamera, sowie Absorption und Streuung an interstellarem Staub und Molekülen in der Erdatmosphäre. Zusammengefasst spricht man von einem **Pseudokontinuum**.

Auf zwei verschiedene Arten können diese Einflüsse beseitigt werden: Normierung auf „1“ oder Flusskalibrierung.

9.1 Normierung des Spektrums

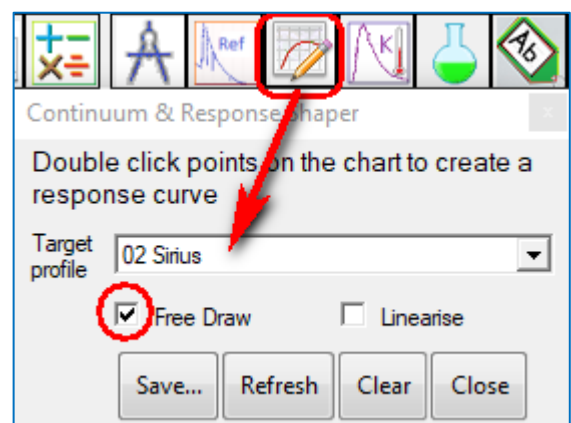
Unter der *Normierung eines Spektrums* versteht man die Eliminierung des pseudokontinuierlichen Anteils im Spektrum, so dass nur noch die Spektrallinien im Spektrum verbleiben.

Subtraktion des Kontinuums: Hat den Nachteil, dass bei einer Subtraktion die relativen Intensitäten der Spektrallinien zueinander nicht stimmen. Wird in der Regel nicht angewendet.

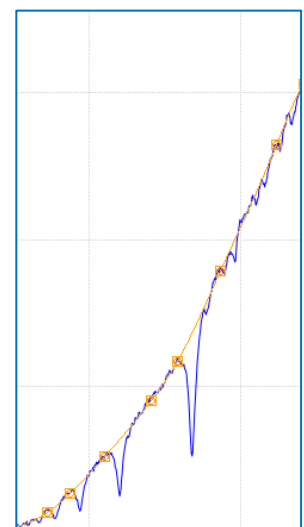
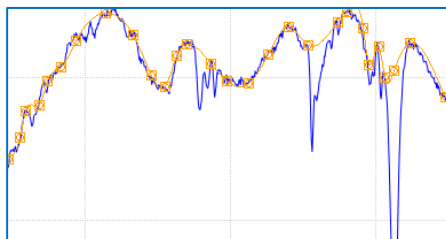
Division durch das Kontinuum: Die relativen Intensitäten bleiben erhalten, das Divisionsergebnis ergibt im Spektrum im Idealfall einen exakt horizontalen Verlauf, dessen Intensität den Wert „1“ aufweist. Deshalb spricht man auch von der Normierung auf „1“. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Durchführung einer Normierung:

- Spektrum 02: Sirius aktivieren
- *Continuum and Response Shaper* anwenden auf 02 Sirius.fit

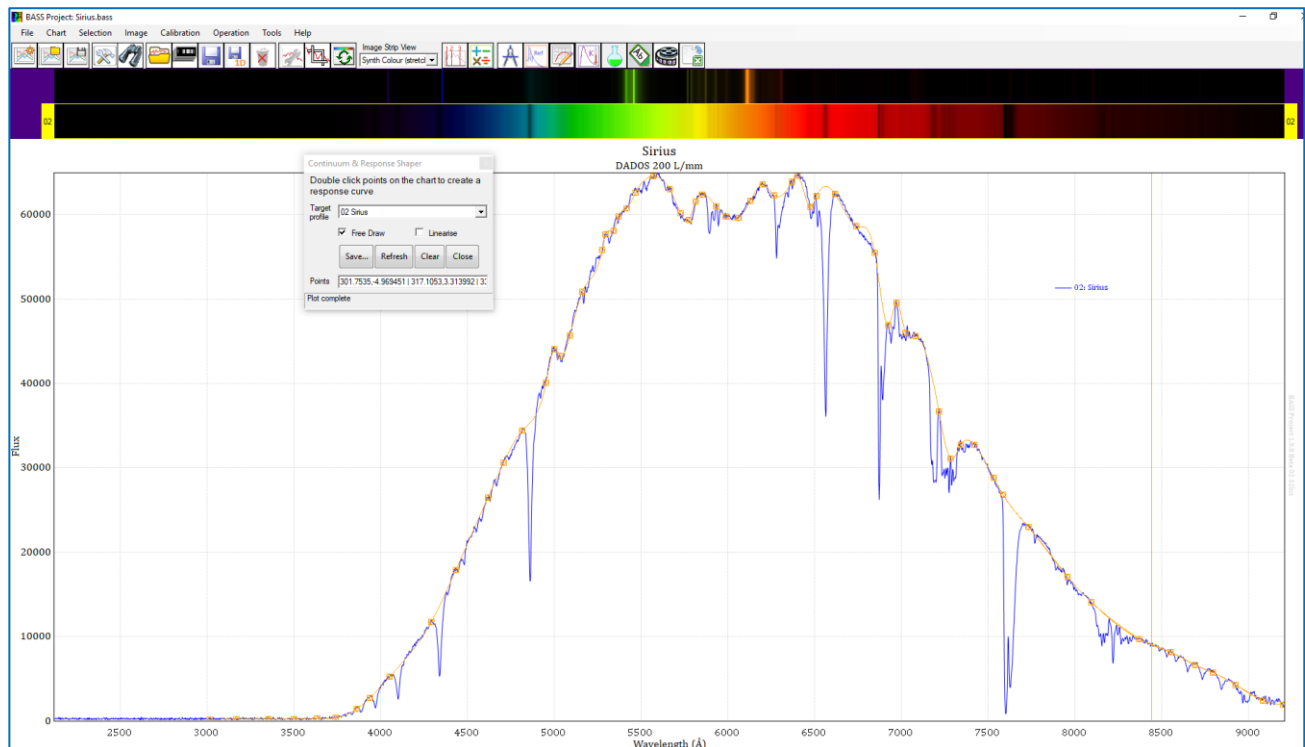


- Kästchen setzen per Doppelklick entlang des Kontinuums. Refresh aktualisiert das Bild. Kästchen löschen mit mittlerer Maustaste. Spektrallinien überbrücken, ohne die Flügel der Linien zu kappen. Die so definierte orangene Kurve ist die sogenannte *Instrumentenfunktion*, meist auch als *Response* bezeichnet.

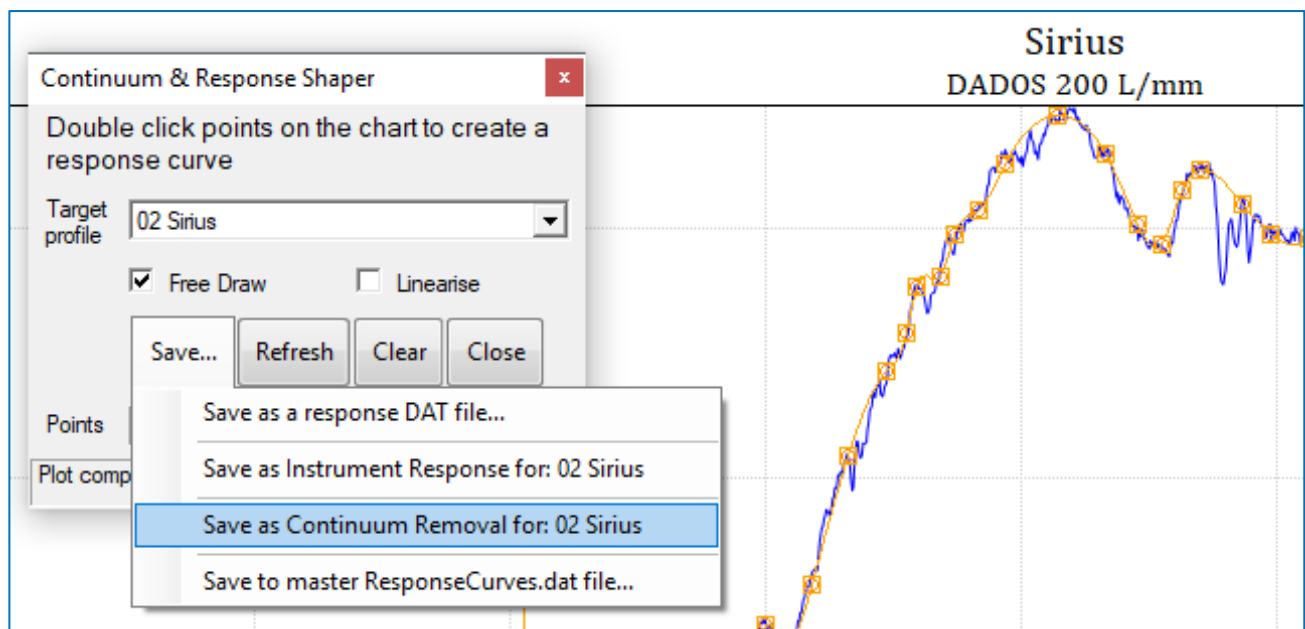


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Die orangene Kurve ist die **Instrumentenfunktion (Response)**

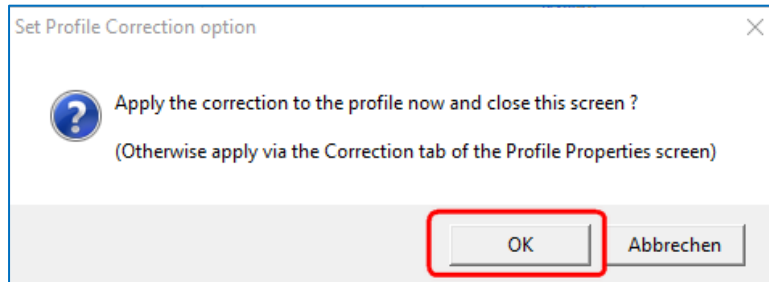


➔ Save as Continuum Removal for: *01 Sonne.fit*



➔ Normierung direkt anwenden: Abfrage mit Ok beantworten

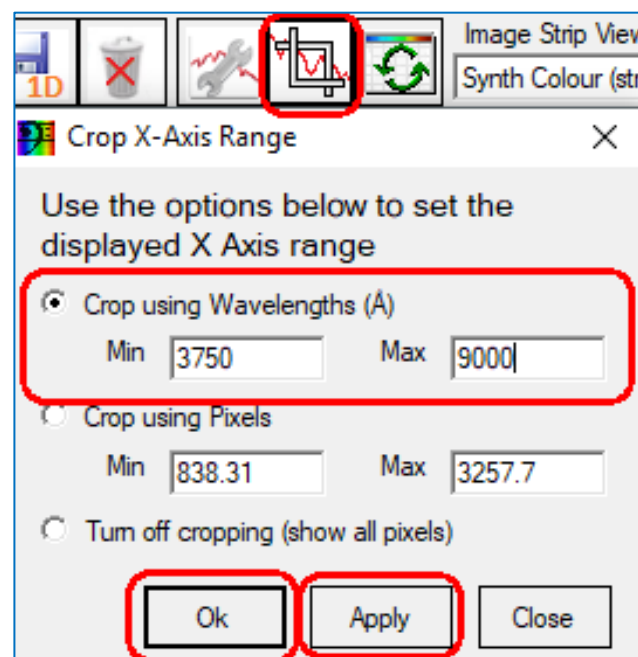
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



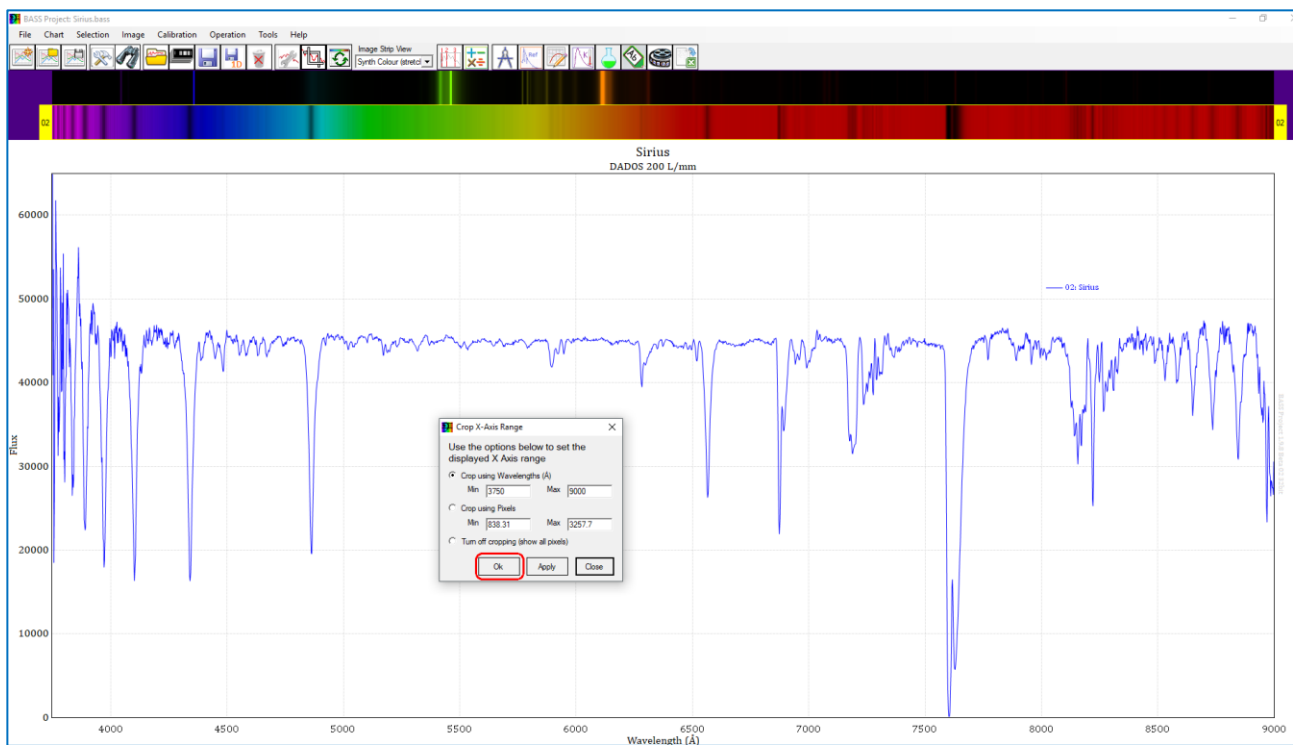
Ergebnis: Normiertes Spektrum. Starkes Hintergrundrauschen unter 3700Å.



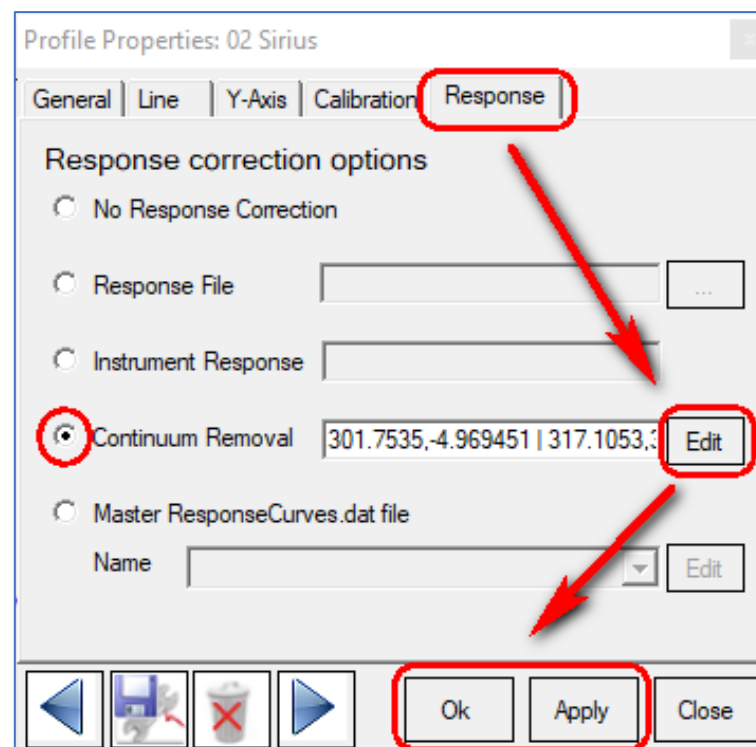
→ Wellenlängenbereich eingrenzen mit der Maus von ca. 3750Å bis 9000Å



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

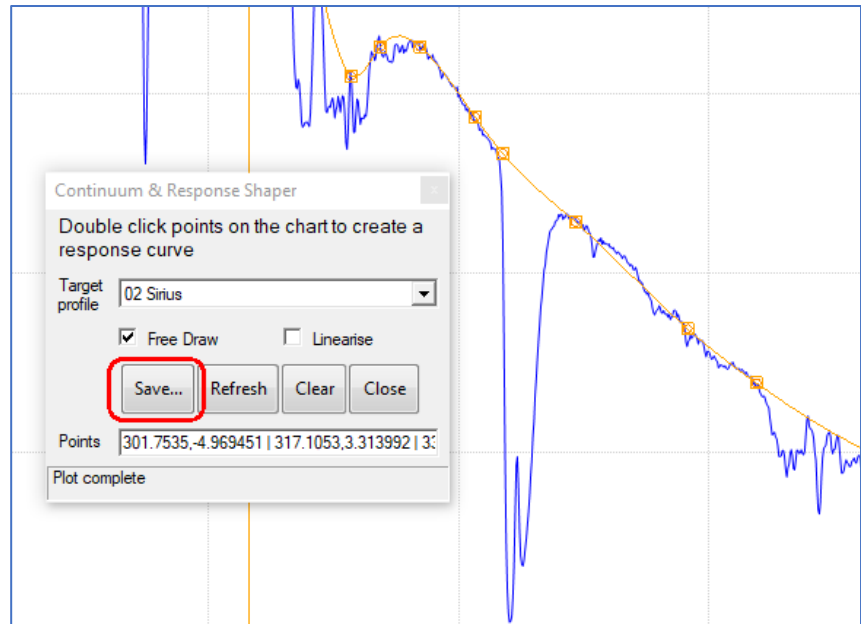


- Falls das durchschnittliche Kontinuum NICHT auf einer horizontalen Linie liegt, kann die Datei *response_norm.dat* nochmals editiert werden.
- Edit

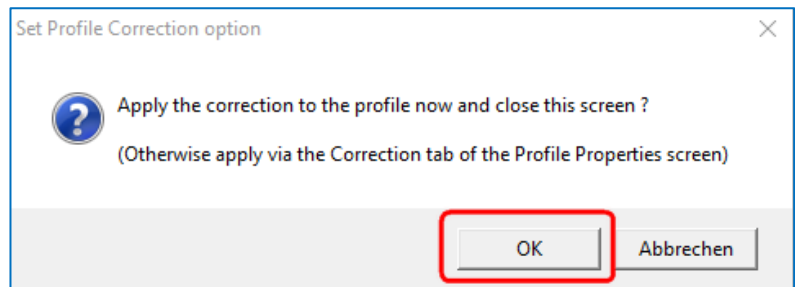
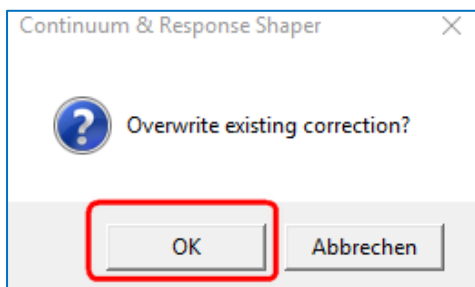


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

- Target Profile: 02 Sirius, Free Draw
- Neue Kästchen können gesetzt und/oder alte entfernt werden

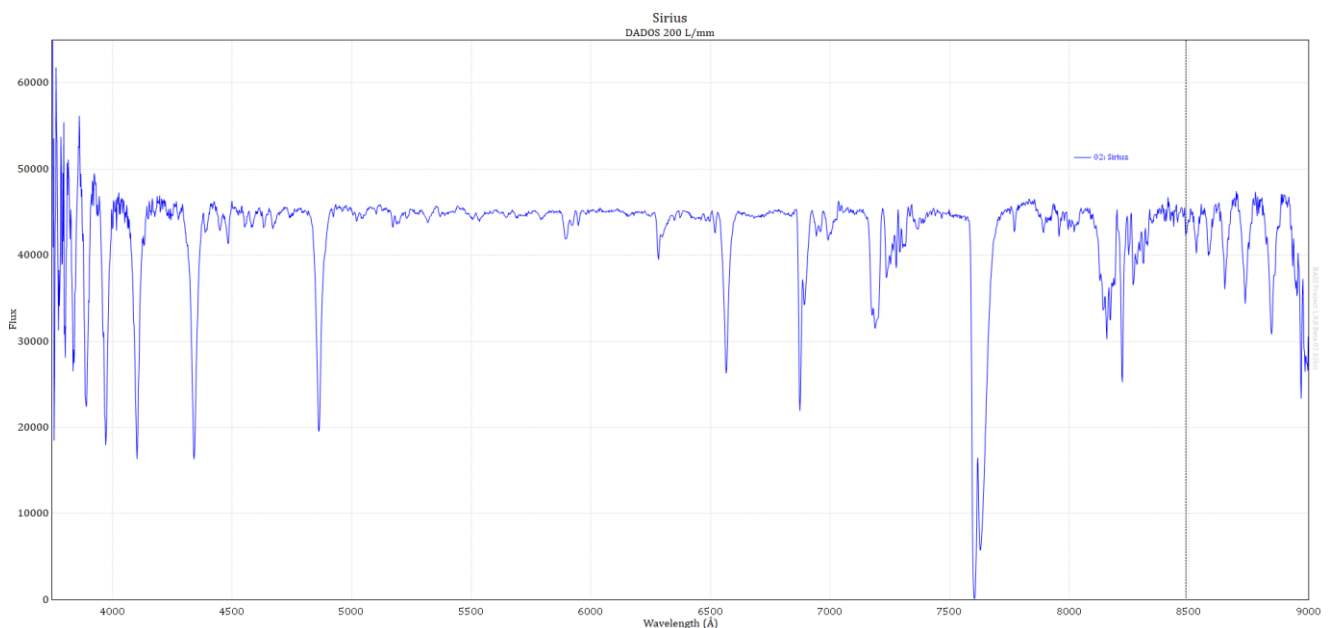


- Save



- Ok

Ergebnis: Ein normiertes Spektrum mit (nahezu) horizontalem Kontinuum. Die „Überschwinger“ unter 3700Å beruhen darauf, dass bei der auf fast Null abfallenden Intensität der Kontinuumsverlauf nur schwierig mit dem Setzen von Kästchen zu definieren ist.

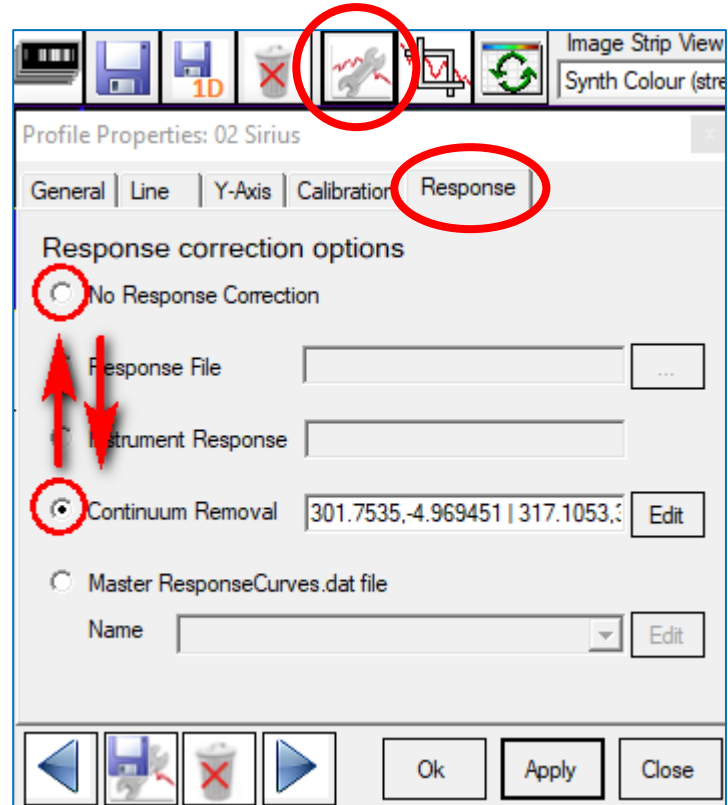


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

→ Projekt zwischendurch immer mal speichern: *Sirius.bass*

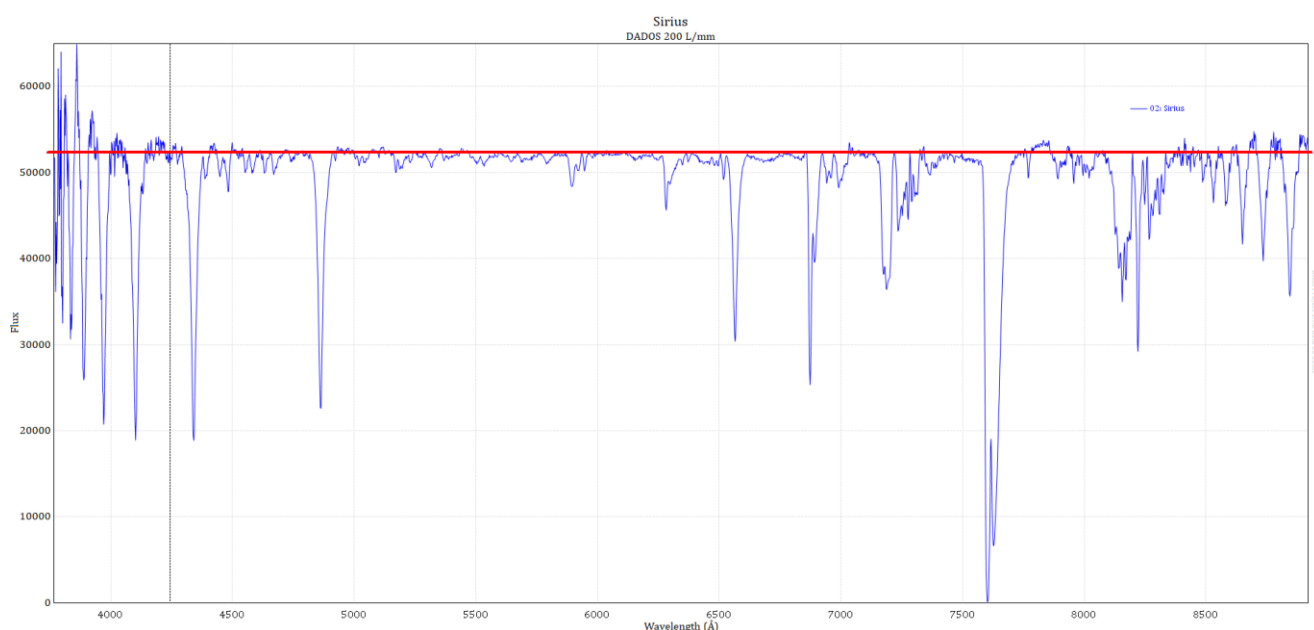
→ **Ansicht Vorher/Nachher:** Wie sieht das Profil mit bzw. ohne Kontinuumsbeseitigung aus?

- Profile Properties
- Response
- Continuum Removal <->
- No Response Correction
hin- und her schalten



9.1.1 Normierung auf „1“

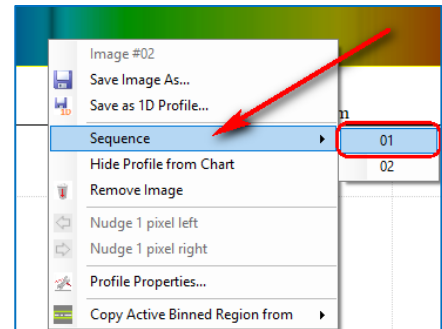
„Normierung auf 1“ bedeutet, dass das Kontinuum auf den Wert 1 festgelegt wird. Die rote Linie wurde hier in dem Bild per Hand eingezeichnet, um zu zeigen, wo ungefähr das Intensitätsniveau 1 liegen soll.



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

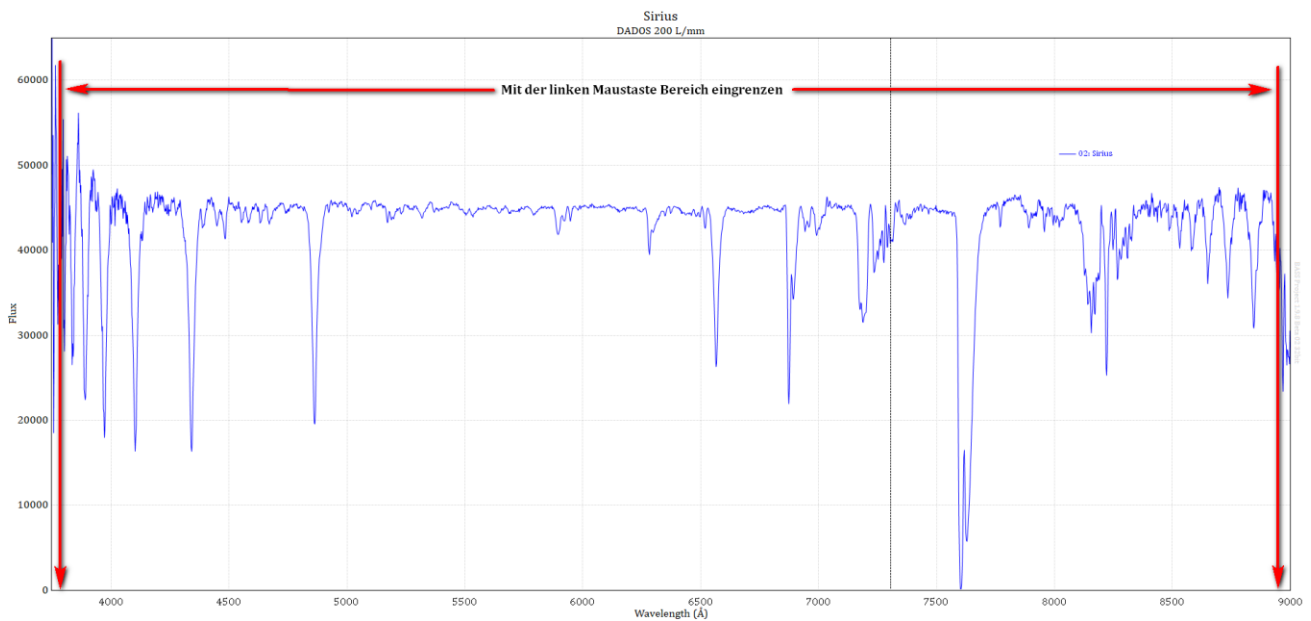
Spektrum 02 *Srius.fit* an die erste Position setzen

- Mit rechter Maustaste in das Sirusspektrum klicken
- Sequence
- 01 auswählen



Unerwünschte Bereiche links und rechts des Spektrums ausgegrenzen. Ein vollständiges Abschneiden ist in dieser späten Phase aber nicht mehr möglich!

- Mit der linken Maustaste das Spektrum wie gewünscht eingrenzen

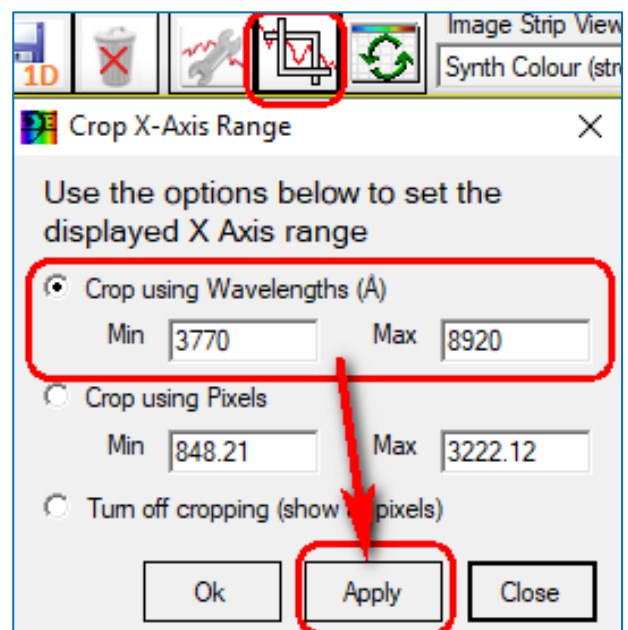
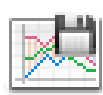


- Crop X-Axis Range



- Wellenlängenwerte ggf. anpassen
- Apply
- Ok

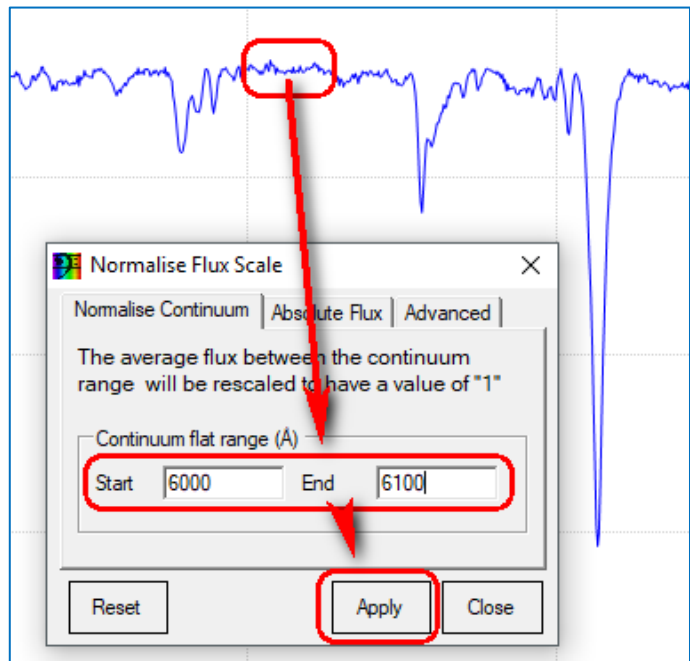
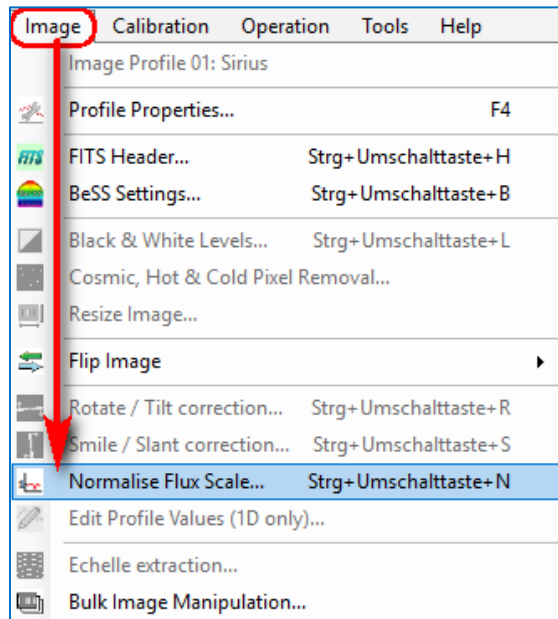
- File -> Save Project File



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Normierung auf „1“ durchführen:

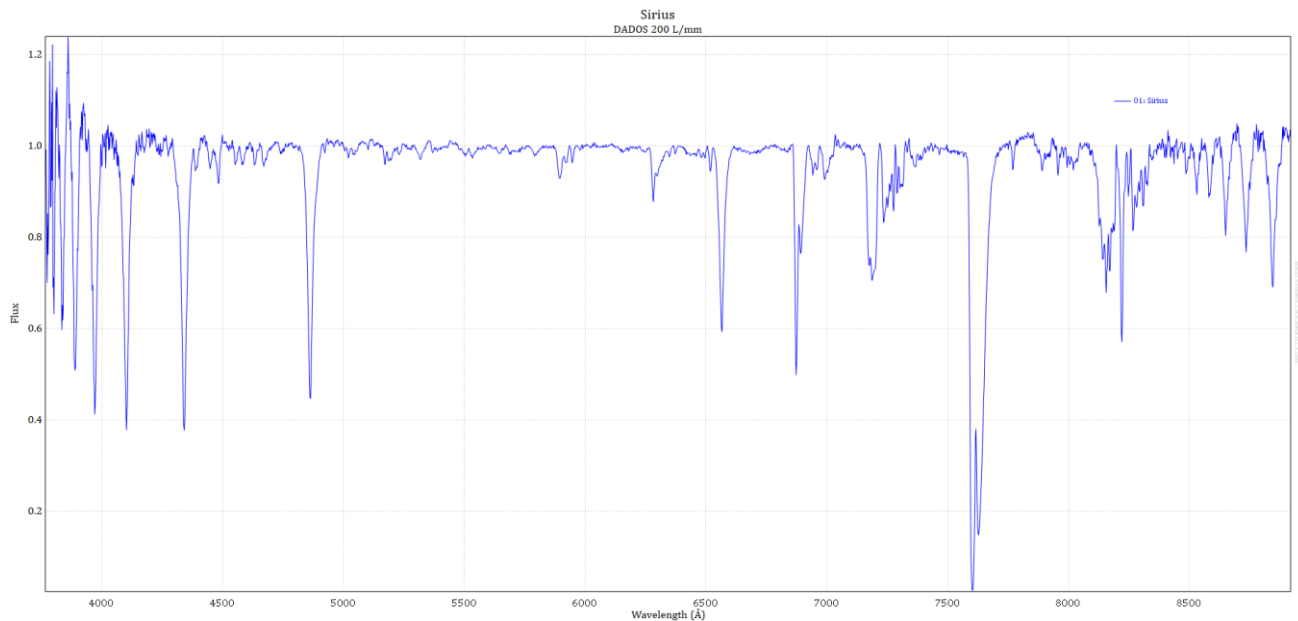
- Image
- Normalize Flux Scale
- Spektrum dahingehend sichten, dass man einen Bereich definieren kann, der den Wert 1 erreichen soll.
Hier ca. 6000Å-6100Å
- Falls unzufrieden mit der Lage der „1“-Linie, neue Start- oder Endwerte eingeben und Apply drücken.
- Falls zufrieden -> Close



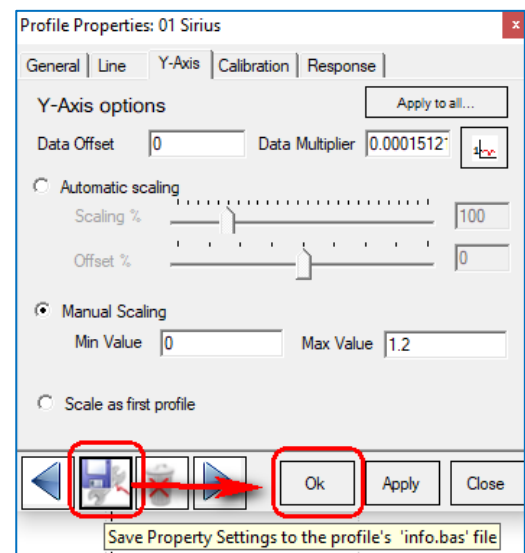
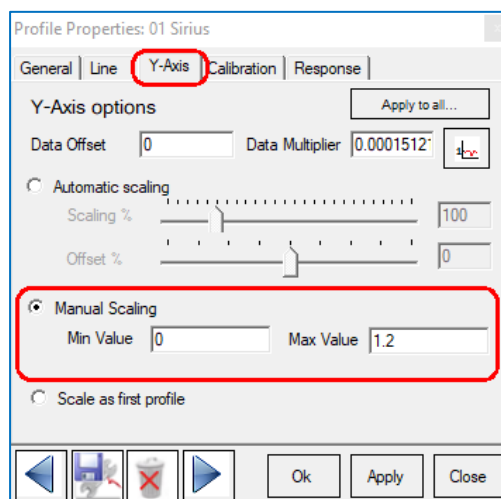
Die Normierung passt nicht perfekt im UV-Bereich unter 3700Å. Der Grund liegt in der sehr geringen Intensität, die das Setzen der Kästchen beim Normieren erschwert. Das kann man verbessern, indem man die Response-Datei editiert und neue Kästchen für das Kontinuum setzt. Für unsere Zwecke ist die Normierung jedoch ausreichend gut.

Hinweis: Die Normierung auf „1“ ist ein höchst subjektiver Vorgang, der von jedem Bearbeiter mit einem anderen Ergebnis durchgeführt und beurteilt wird.

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



Manuelle Skalierung der Y-Achse (Flux) von 0 bis 1.2:

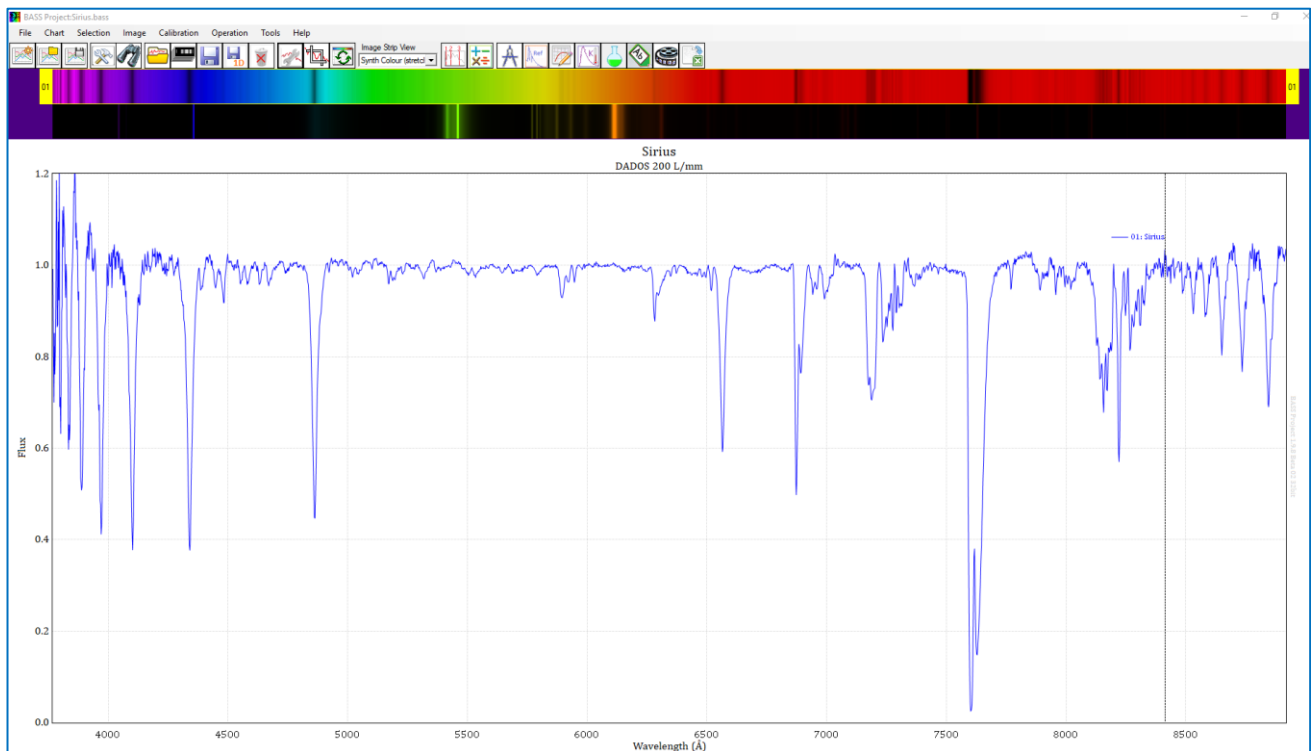


→ Save Property Settings

→ Ok

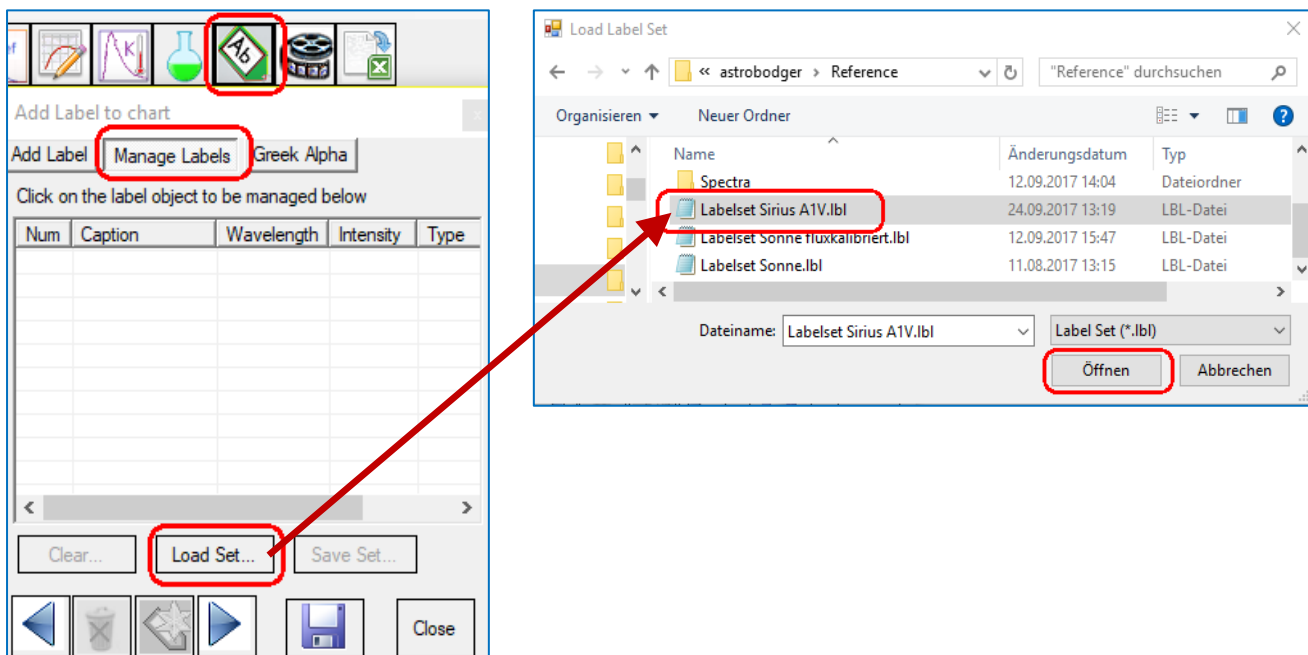
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Ergebnis: Das auf „1“ normierte Sonnenspektrum, in der Intensität von 0 bis 1.2 skaliert.



9.1.2 Beschriftung des normierten Spektrums

- ➔ Add Label to chart -> Manage Labels -> Load Set
- ➔ *Labelset Sirius A1V.lbl* öffnen



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Das Labelset *Sirius A1V* ist vom Autor in dieser Stufe mit 13 Linien bestückt worden. Das Set kann editiert und mit weiteren Einträgen ergänzt werden. Die Datei liegt als Text-Datei im Ordner *c:/astrododger/Reference*

Edit Label 13 of 13

Edit Label **Manage Labels** Greek Alpha

Click on the label object to be managed below

Num	Caption	Wavelength	Intensity	Type	Element
0001	H10 3797.909Å	3781.033	0052	Text Only	Hydrogen
0002	H9 3835.397Å	3829.673	0049	Text Only	Hydrogen
0003	H8 3889.064Å	3872.59	0041	Text Only	Hydrogen
0004	H ϵ 3970.075Å	3944.12	0034	Text Only	Hydrogen
0005	H δ 4101.734Å	4084.318	0030	Text Only	Hydrogen
0006	H γ 4340.472Å	4318.934	0030	Text Only	Hydrogen
0007	H β 4861.33Å	4842.53	0036	Text Only	Hydrogen
0008	Na I D 5895.924Å	5869.692	0076	Text Only	Sodium
0009	Telluric O2 6969Å	6261.674	0072	Text Only	Oxygen
0010	H α 6562.852Å	6542.07	0047	Text Only	Hydrogen
0011	Telluric O2 6276.61Å	6851.077	0040	Text Only	Oxygen
0012	Telluric H2O	7168.667	0058	Text Only	Water
0013	Telluric O2 7605Å	7540.621	0021	Text Only	Oxygen

Clear... Load Set... Save Set...

Navigation icons: Previous, Delete, Add, Next, Save, Close

Beispiel: Neues Label im Hochformat hinzufügen



Add Label to chart

Add Label Manage Labels Greek Alpha

Select label type and use mouse to draw on chart

Label Annotation Type

- ☒ Label Only
- ☐ Full Line + label
- ☐ Scaled Element line
- ☐ Free Line + Label
- ☐ Molecular band

Text Properties

Colour

Font style icons: Aa, α , β

λ Wavelength: % Height: Element:

Line style: Big dash ☐ Arrow head ☐

Navigation icons: Previous, Delete, Add, Next, Save, Close

Farbe

Grundfarben:

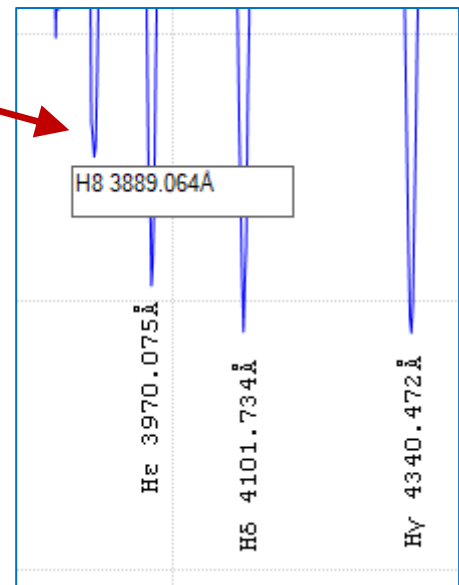
Benutzerdefinierte Farben:

Farben definieren >>

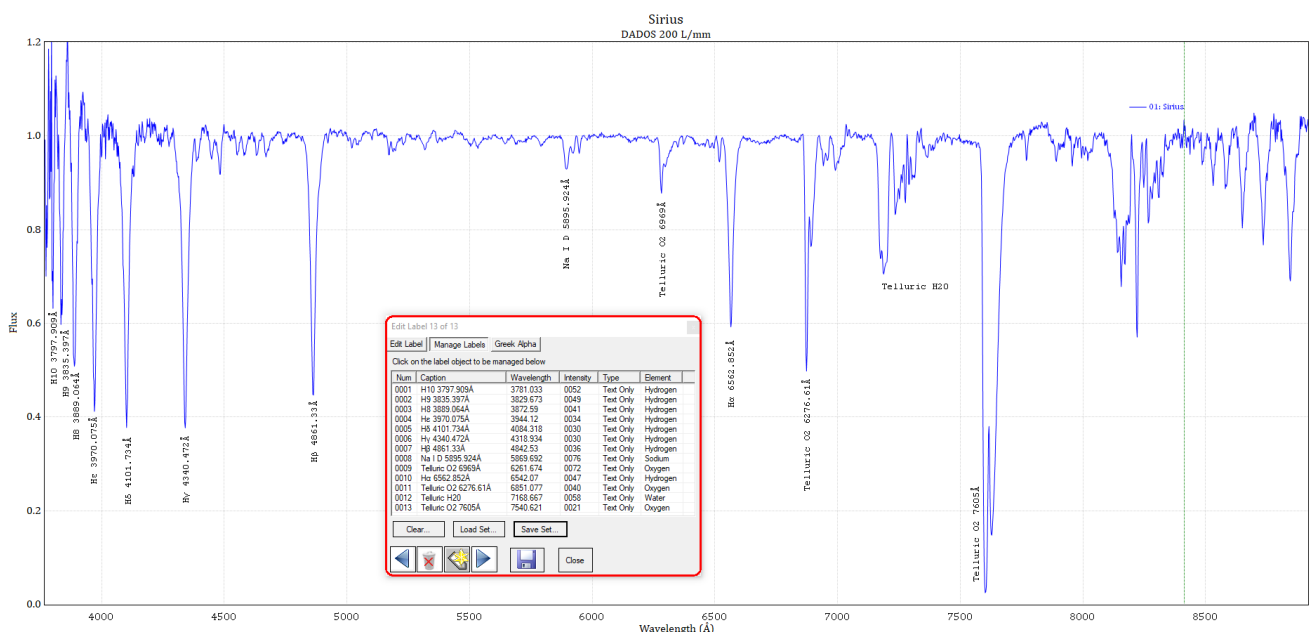
OK Abbrechen

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

- Rahmen unter der nächsten Linie aufziehen
- Beispiel: H8 3889.064 eingeben. **Hinweis: Das Zeichen Å findet man unter „Linke ALT-Taste 0197“.**
- **Hinweis: „λ Wavelength“ ist nur die Position der Beschriftung im Spektrum** Hat nichts mit der realen Wellenlänge zu tun.
- Speichern.



Ergebnis: Ein an den Absorptionslinien mit Labels beschriftetes Spektrum:



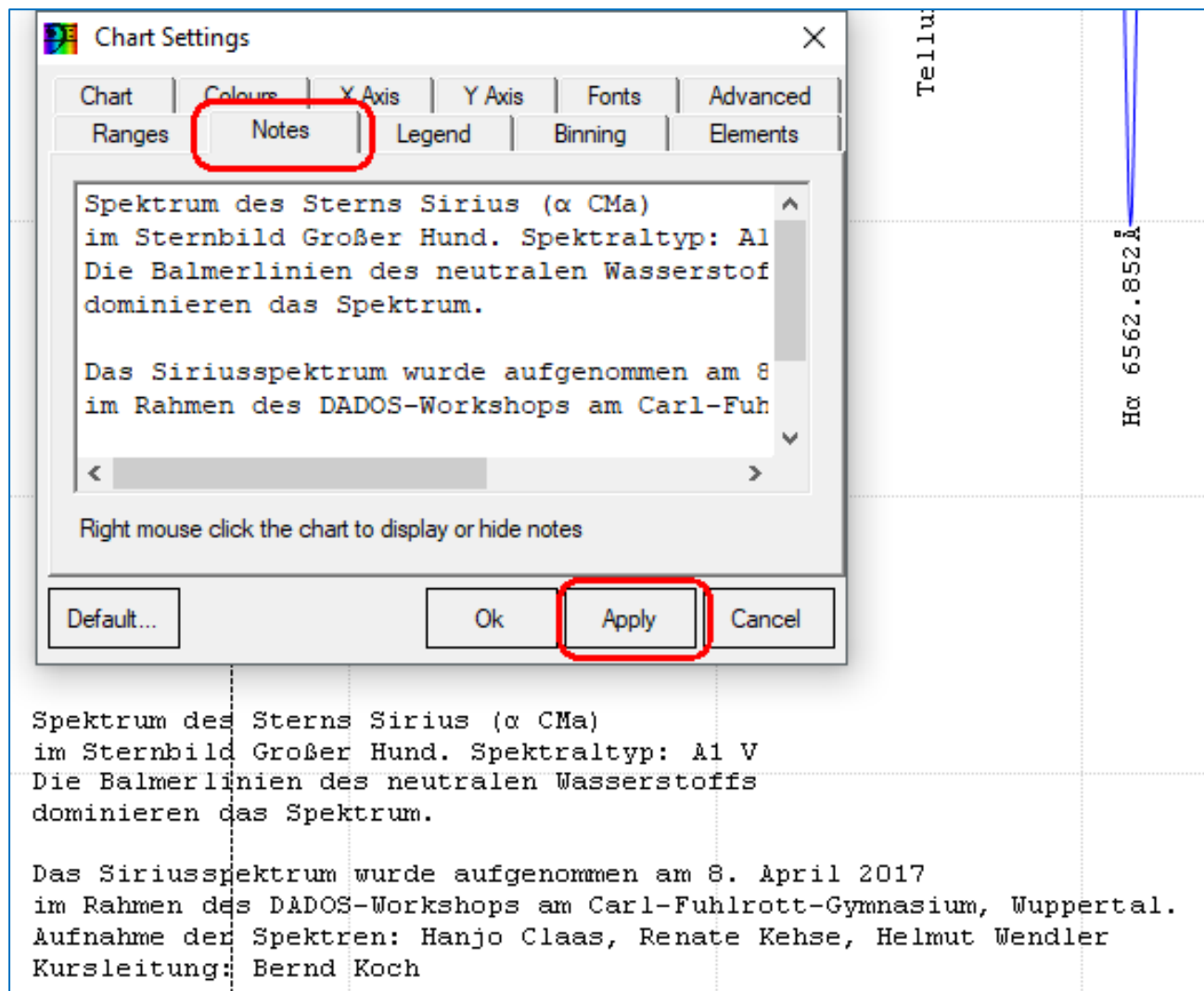
→ File -> Save Project File



Sirius.bass

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Notizen erstellen und einblenden:

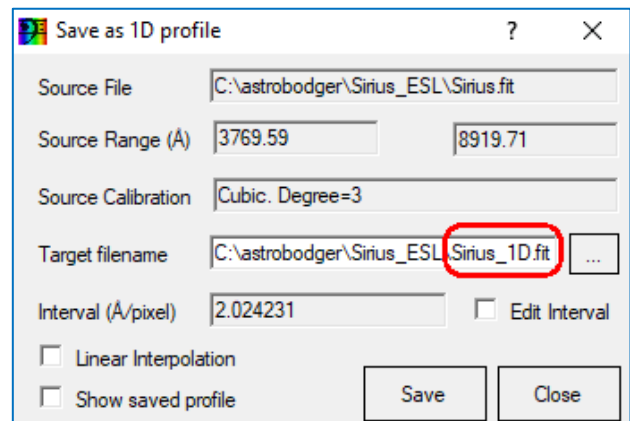


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

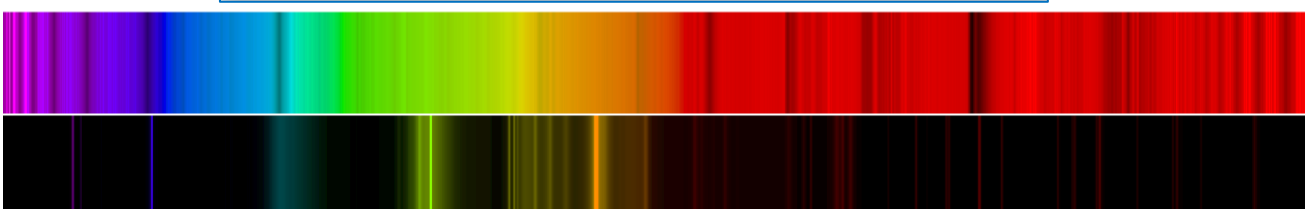
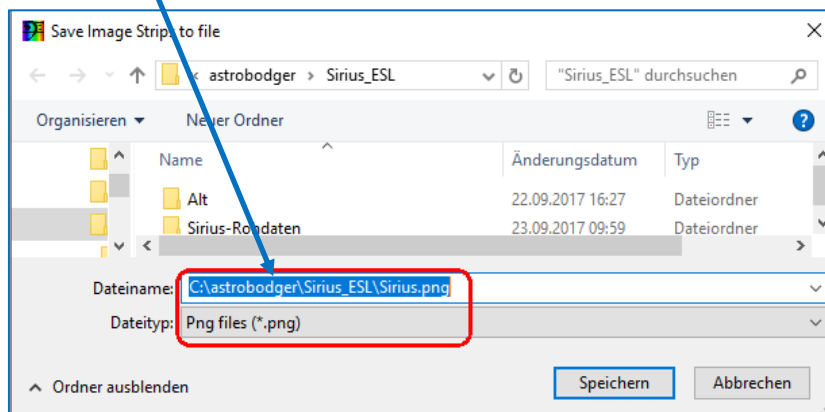
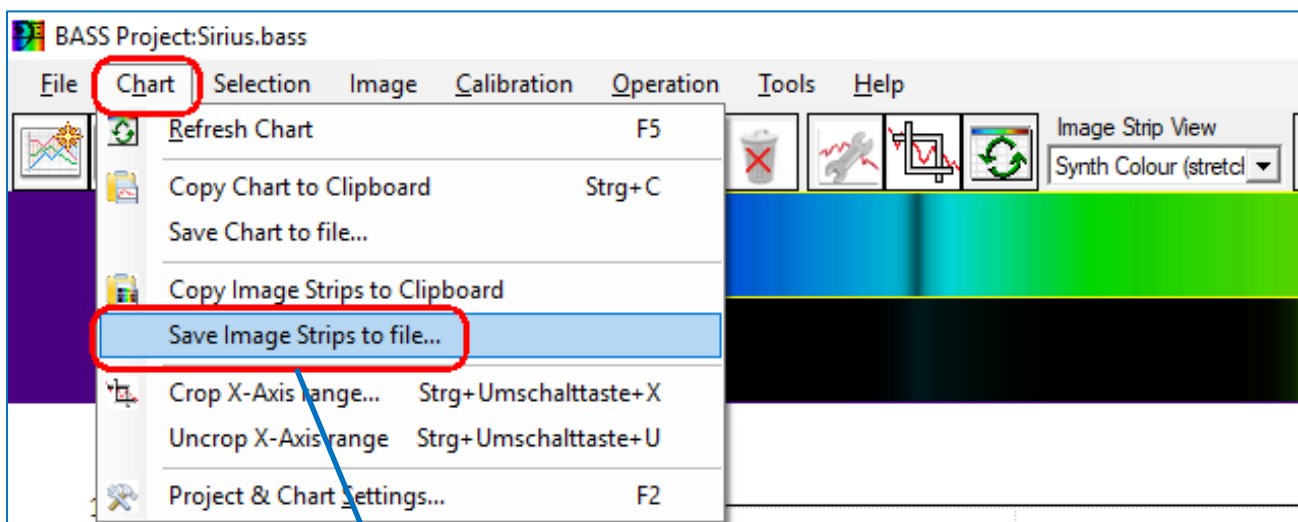
9.1.3 Speichern: Projekt – Profil – Chart – Image Strips

→ Speichern des Projekts mit allen Skalierungen und Beschriftungen:  *Sirius.bass*

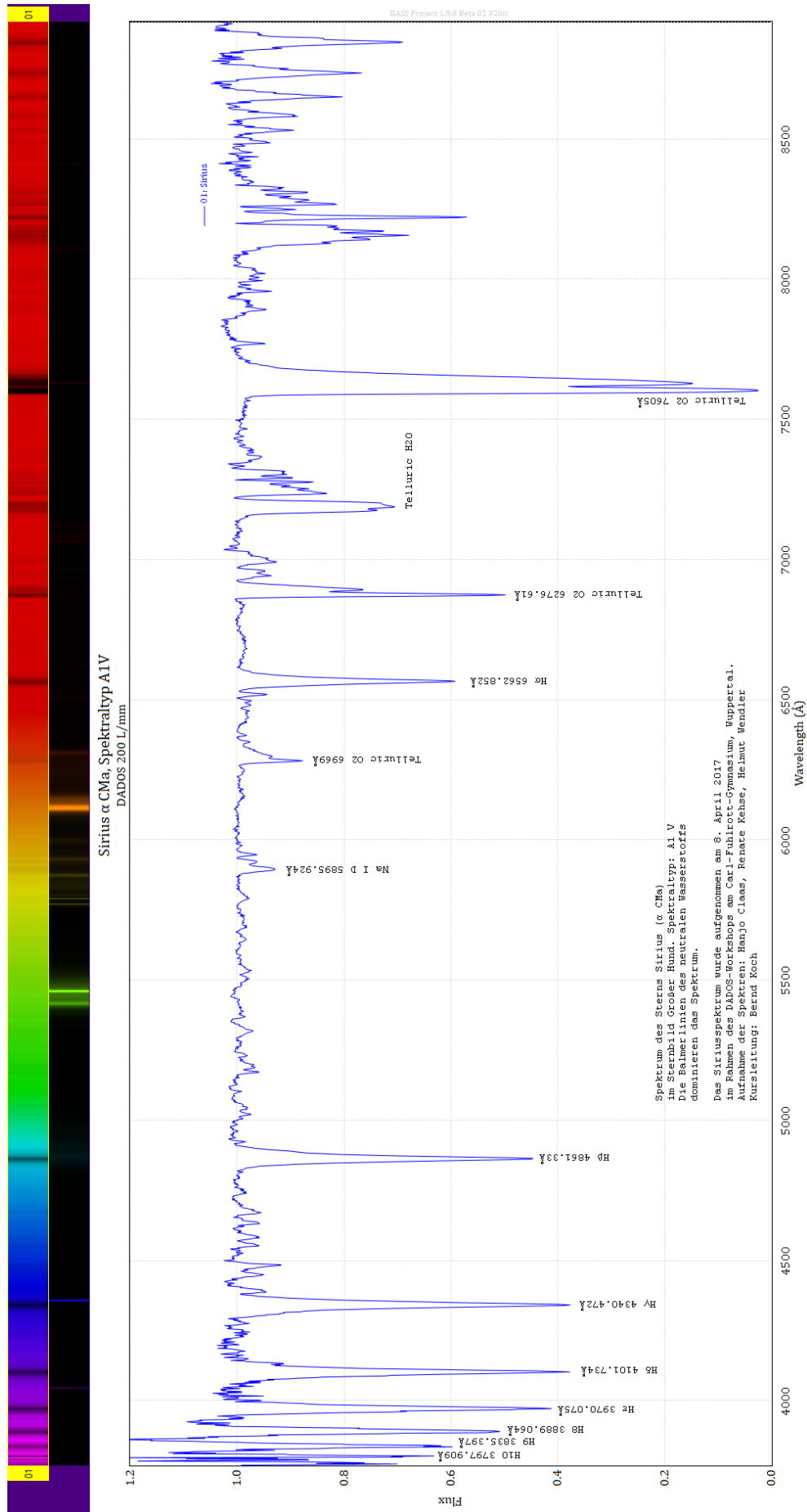
→ Speichern des Spektralprofils (_1D), um es bsp. in VisualSpec oder MIDAS zu verarbeiten: (*Sirius_1D.fits*)



→ Speichern des synthetischen Spektrums von Sirius und der ESL zusammen unter *Sirius.png*

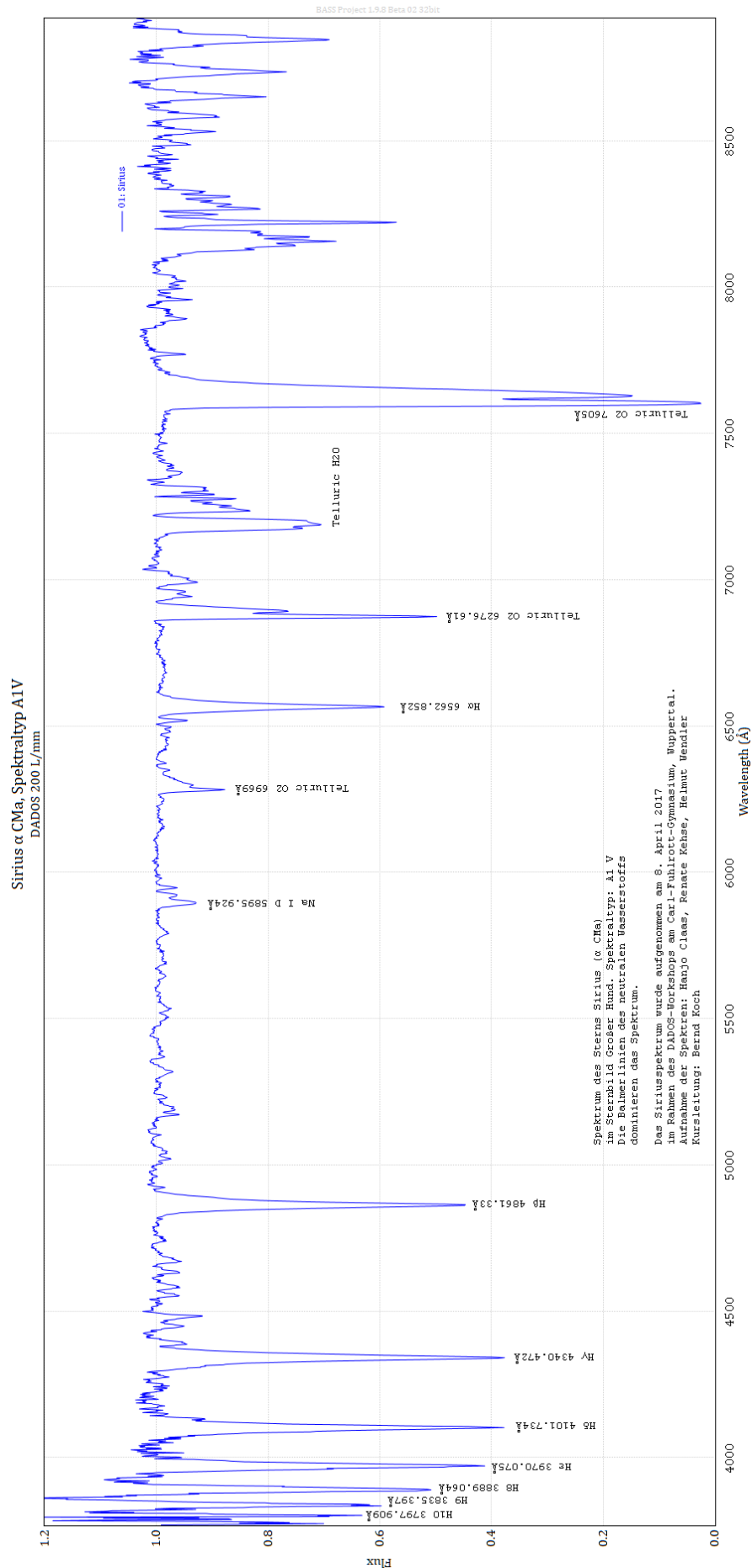


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



➔ Screenshot

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



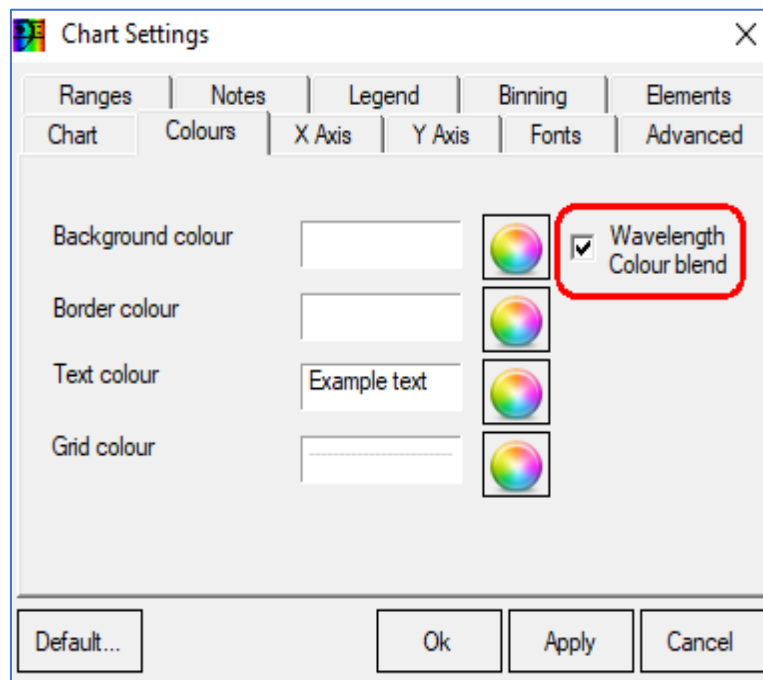
→ Chart

→ Save Chart to File

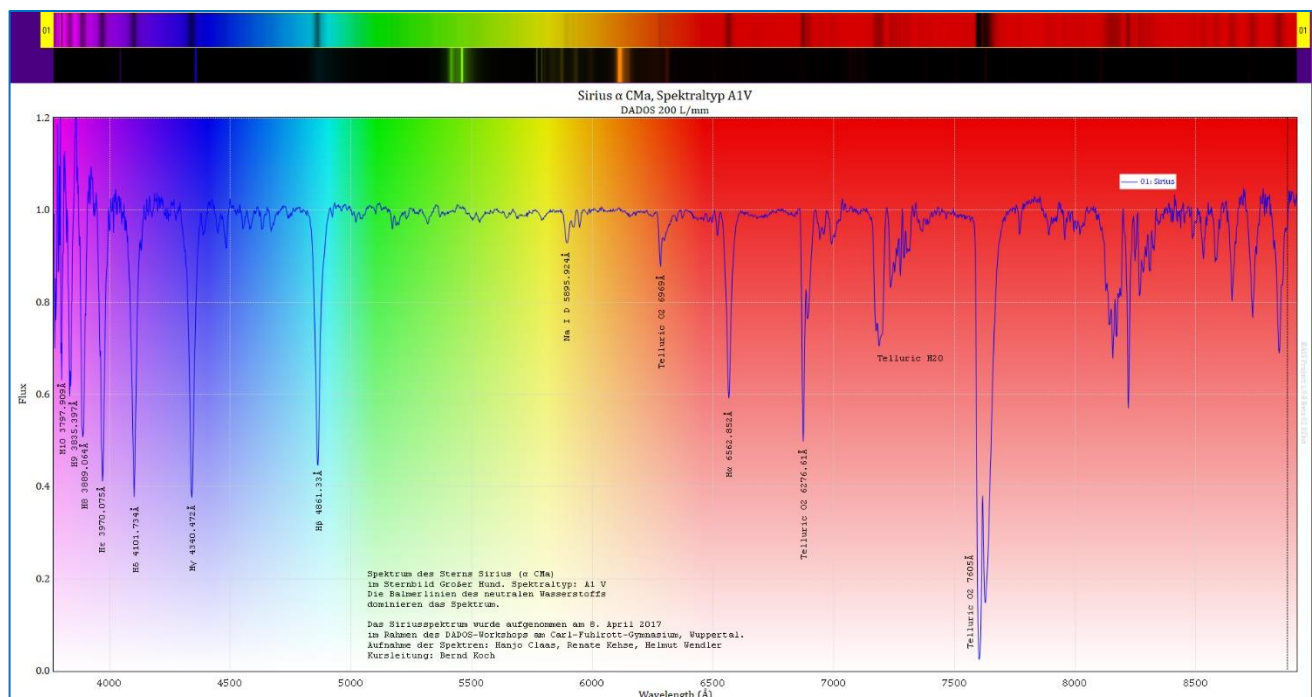
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Ein farbiges Spektralband im Hintergrund erzeugen

- ➔ Background colour
- ➔ Wavelength Colour blend



➔ Screenshot

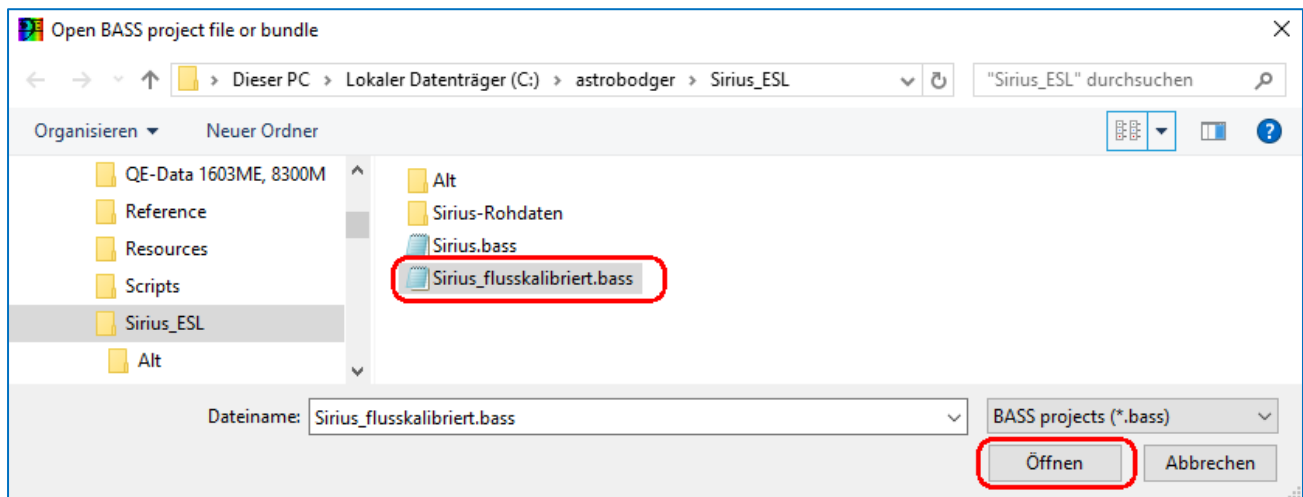


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

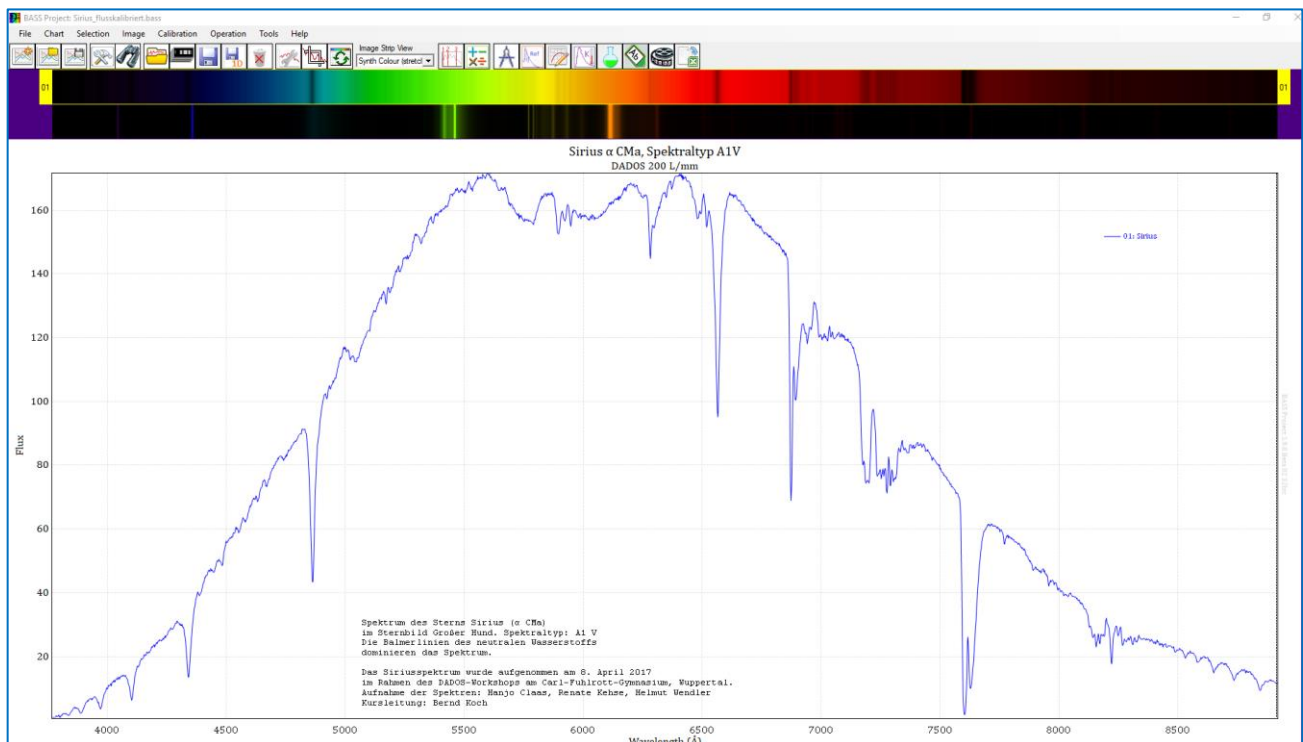
9.2 Flusskalibrierung mit einem kalibrierten Referenzstern

Unter dem Begriff der Flusskalibrierung versteht man eine Intensitätskalibrierung, die die relative Intensität bei der jeweiligen Wellenlänge korrekt wiedergibt. Relativ auf das Maximum bezogen, nicht in absoluten physikalischen Einheiten.

- ➔ Open BASS project file or bundle
- ➔ *Sirius_flusskalibriert.bass* ist eine Kopie der bisherigen wellenlängenkalibrierten Datei.



Wir laden als Ausgangsspektrum dieses wellenlängenkalibrierte, jedoch nicht intensitätskalibrierte Spektrum:

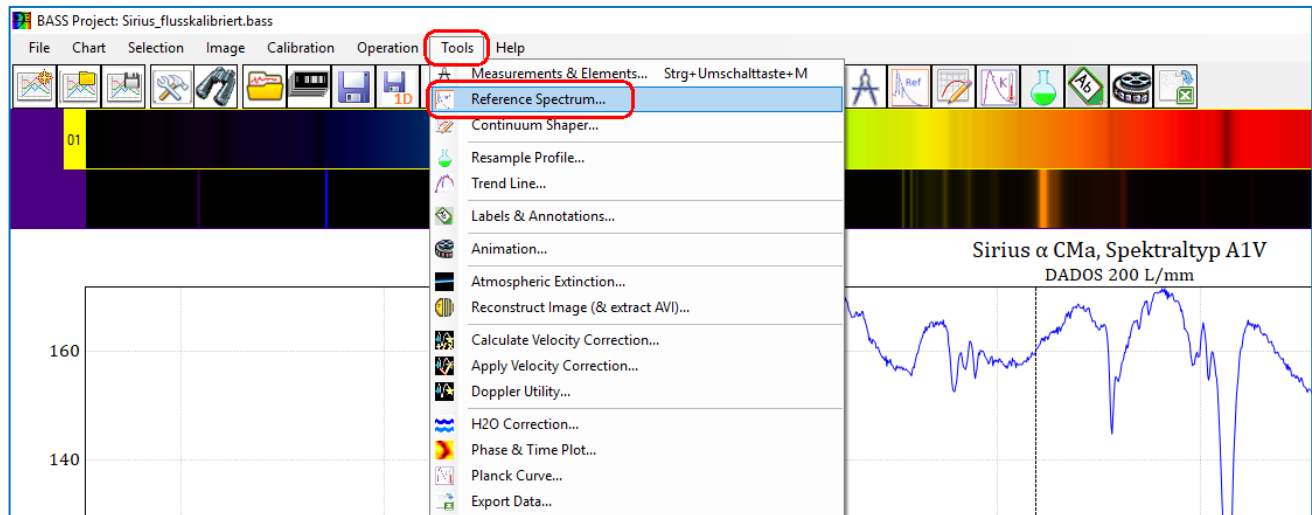


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

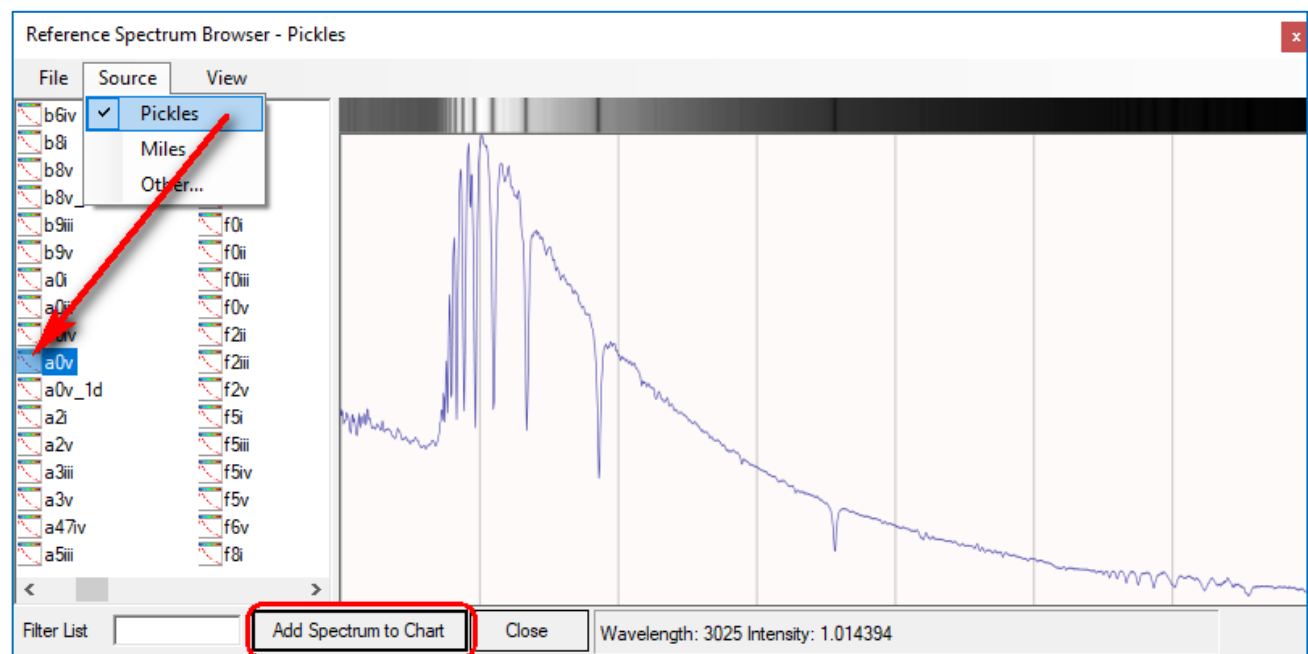
9.2.1 Öffnen eines flusskalibrierten Referenzspektrums (Pickles-Datenbank)

Um die Intensität absolut kalibrieren zu können, ziehen wir ein bereits flusskalibriertes Spektrum eines Sterns heran. Aber nicht ein beliebiges, sondern eines von einem Stern **desselben Spektraltyps** wie Sirius, **A1V**.

- ➔ Tools
- ➔ Reference Spectrum



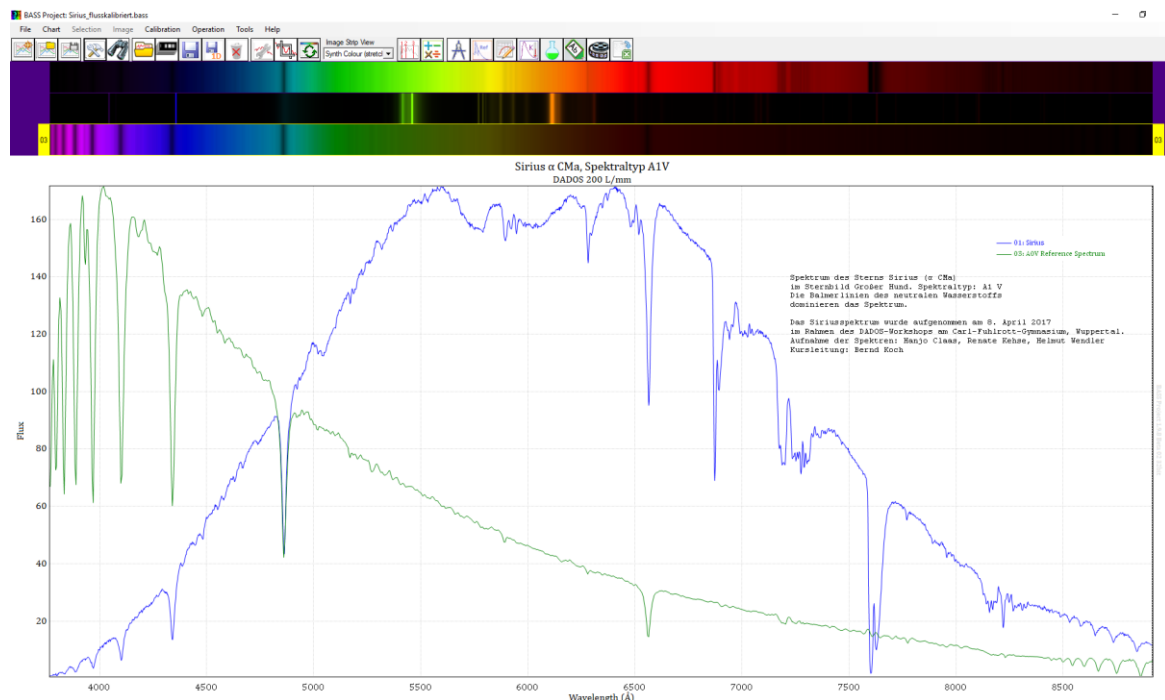
- ➔ **Pickles-Datenbank**. Wähle a0v. (Es gibt hier kein A1-Spektrum!). Wir nehmen es dennoch, weil es weiter in den IR-Bereich reicht als das MILES-Spektrum.



- ➔ Add Spectrum to chart
- ➔ Close

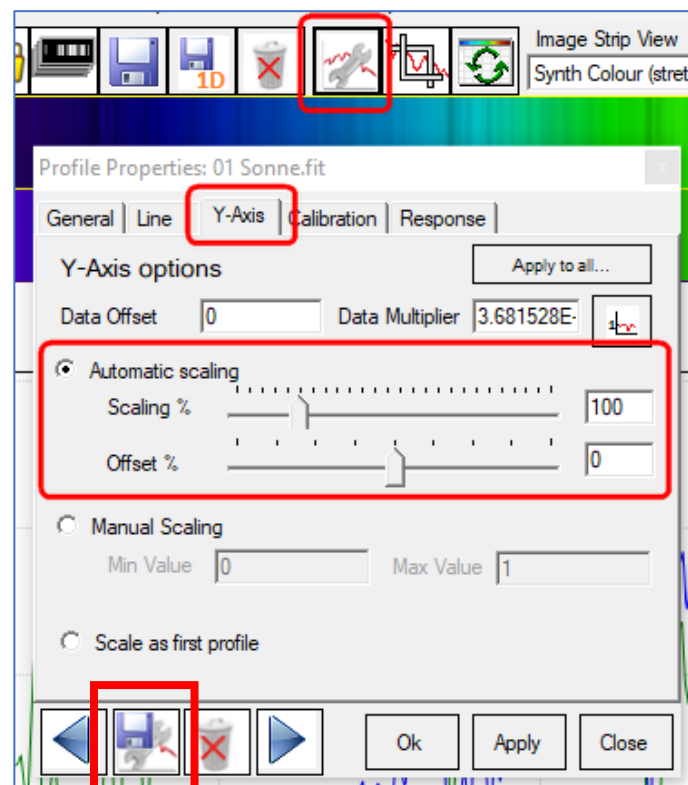
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Das hier grün dargestellte Spektrum #03 ist ein vollständig flusskalibriertes Spektrum aus der PICKLES-Datenbank, aus dem die auf Absorption in der Erdatmosphäre beruhenden tellurischen Linien/Banden des Sauerstoffs und Wasserdampfs bereits entfernt worden sind.



Skalierung der Y-Achse in Spektrum 01 und 02 stellen auf: Scale als first profile „Wie das erste Spektrum“ und speichern:

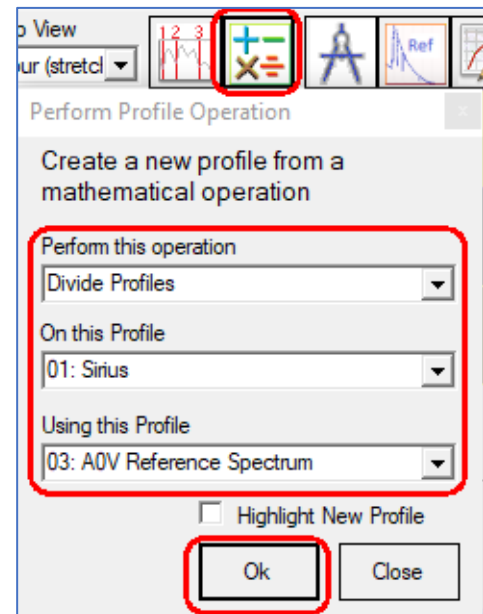
→ Profile Properties



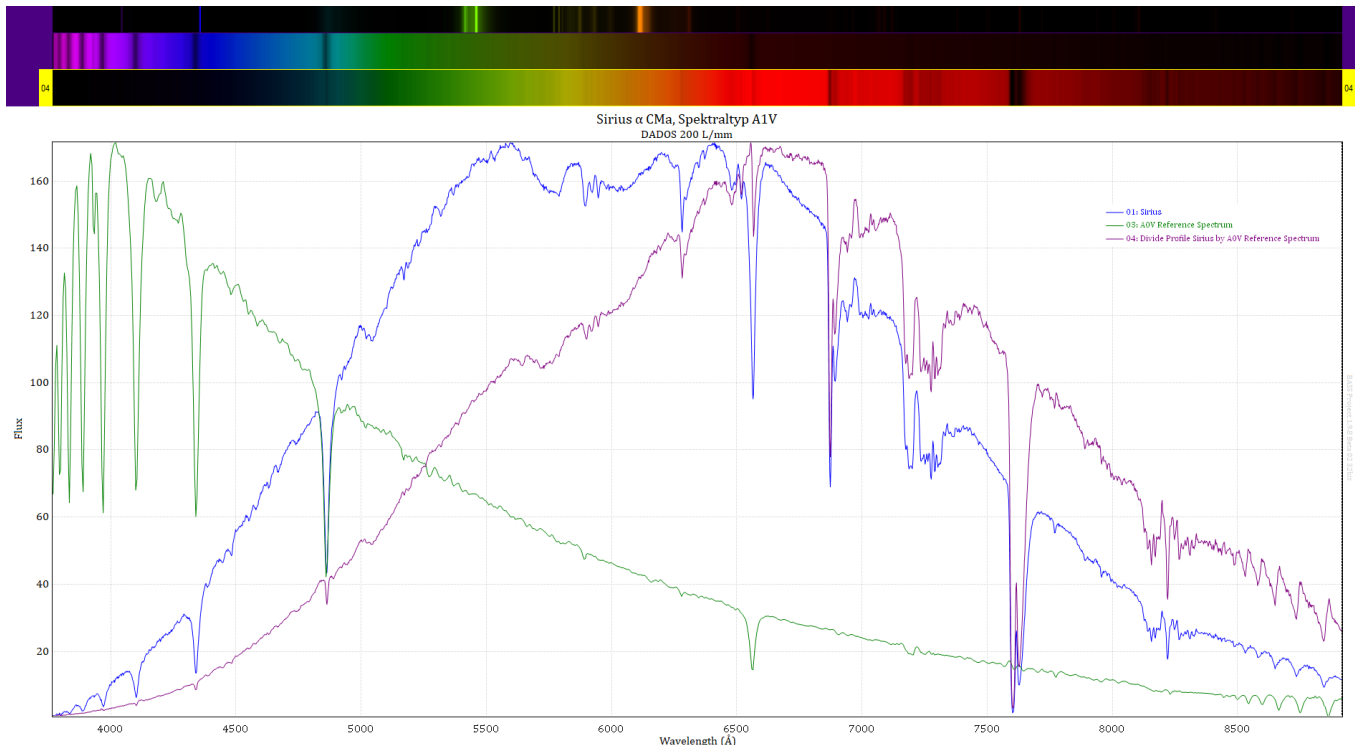
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Zur Ermittlung der Instrumentenfunktion („Response“) werden beide Spektren nun durcheinander dividiert:

- ➔ Perform this operation: *Divide Profiles*
- On this Profile: *01: Sirius.fit*
- Using this profile: *03 A0V Reference Spectrum*



Divisionsergebnis: *04 Divide Profile Sirius.fit by A0V Reference Spectrum*



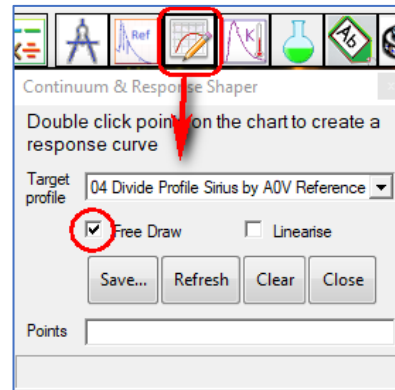
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

04 Divide Profile Sirius.fit by A0V Reference Spectrum muss aktiv sein.

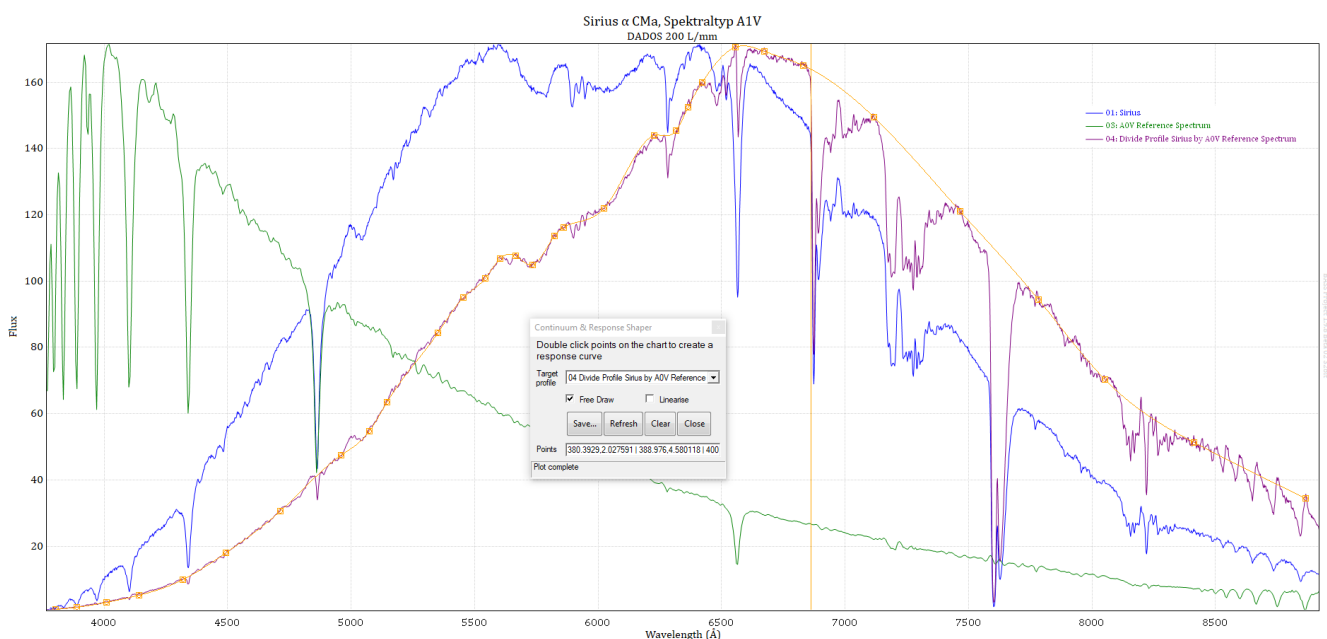
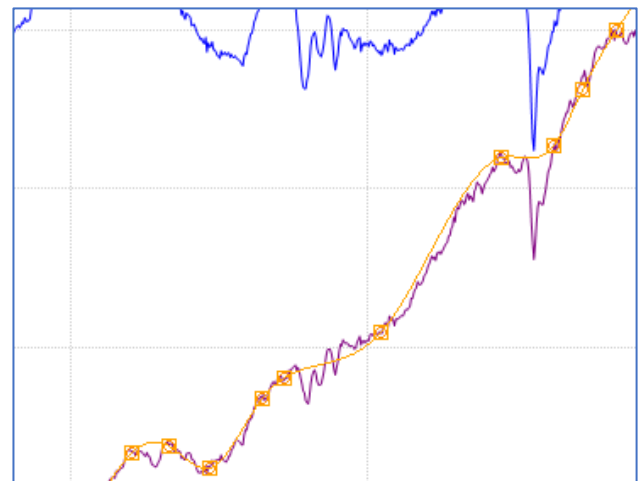


Nun wird das Divisionsergebnis #04 geglättet mit einem Polynom. Wir benötigen nur den Kontinuumsverlauf. Falls im Folgenden dazu aufgefordert, wird das Spektrum gespeichert.

→ Continuum & Response Shaper:

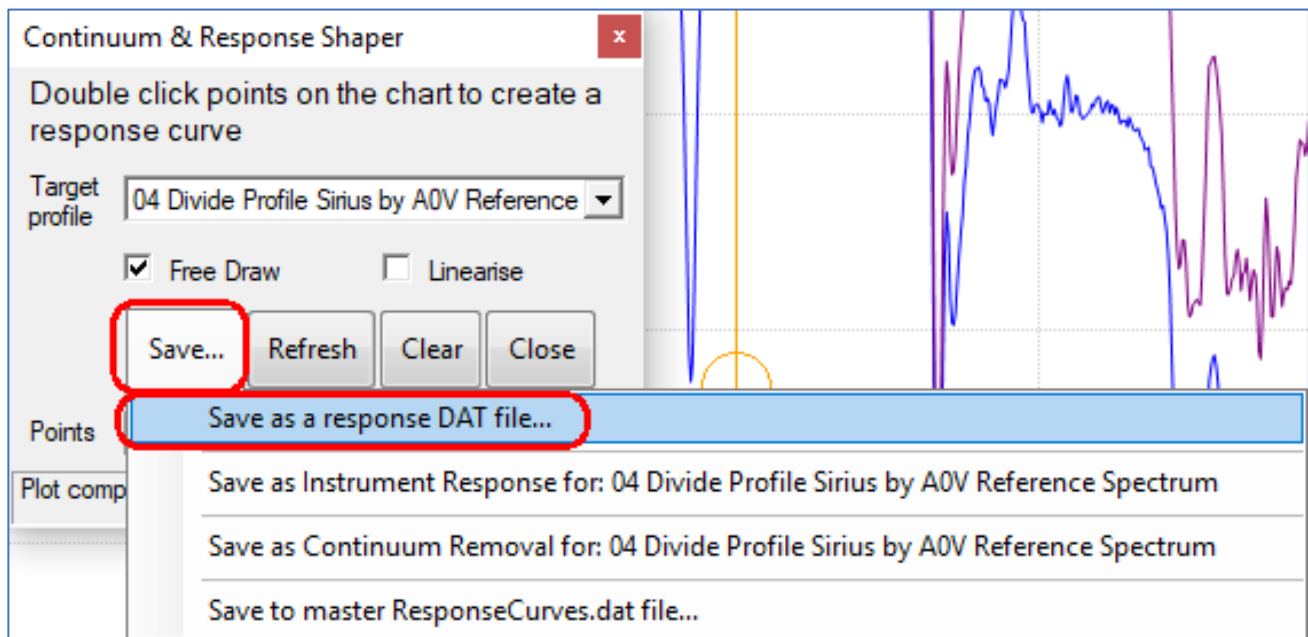


→ Punkte setzen entlang des Kontinuums des Spektrums 04 Divide Profile Sirius.fit by A0V Reference Spectrum. Das berechnete Polynom mit den gesetzten Stützstellen ist hier in der Farbe Orange sichtbar.



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

→ Save Save as response DAT file...

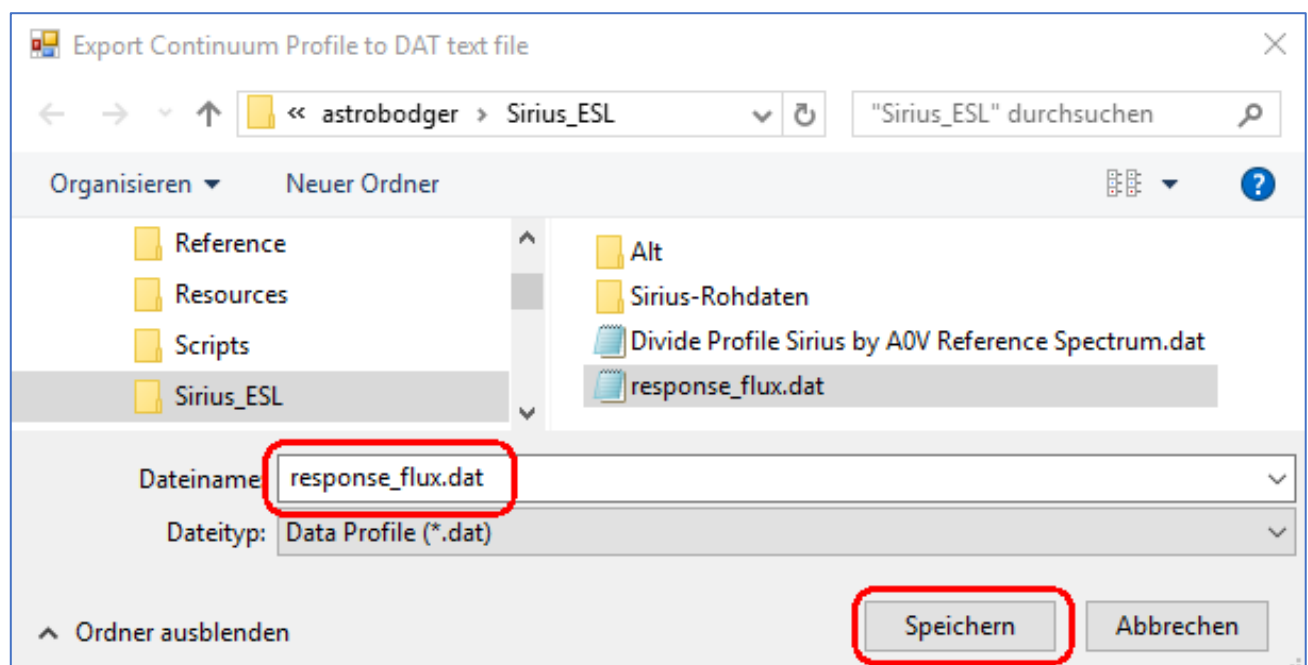


→ Save

→ Save as response DAT file ...

→ **response_flux.dat**

→ close



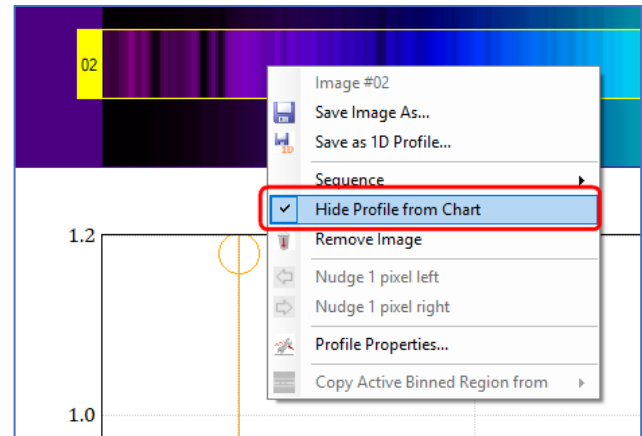
Die Datei **response_flux.dat** ist das geglättete Divisionsergebnis und stellt nun eine Korrektur dar, die wir auf das Spektrum von 01 Sirius anwenden müssen:

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

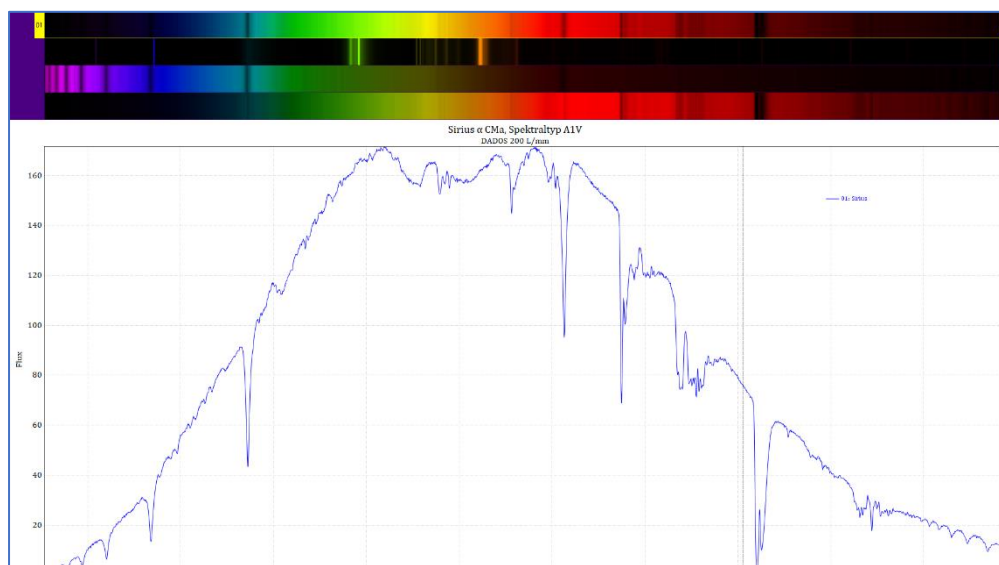
9.2.2 Flusskalibrierung mit Datei *response_flux.dat*

Bildschirm aufräumen: Spektren Nr. 02 und Nr. 03 ausblenden (Hide Profile from Chart):

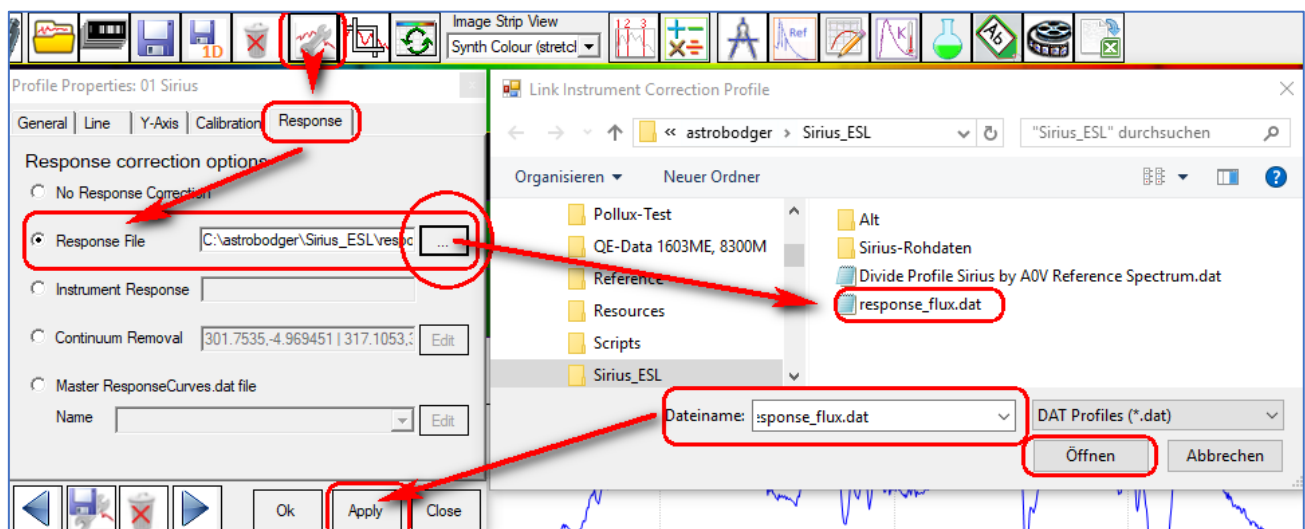
- ➔ Nr. 2 ausblenden: *Hide Profile from Chart*
- ➔ Nr. 3 ausblenden: *Hide Profile from Chart*
- ➔ Nr. 4 ausblenden: *Hide Profile from Chart*



- ➔ Nr. 1 muss aktiviert sein

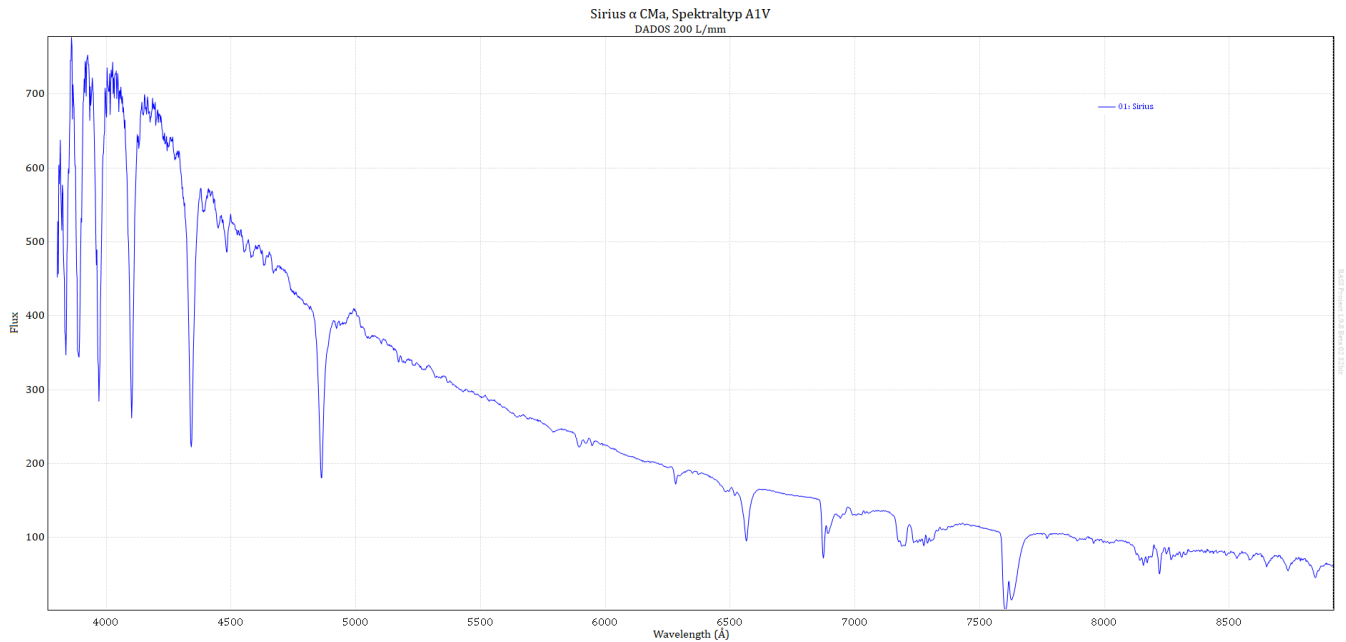


- ➔ Profile Properties: **01 Sirius.fit**
- ➔ Response -> Response File: *response_flux.dat* öffnen
- ➔ Apply



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

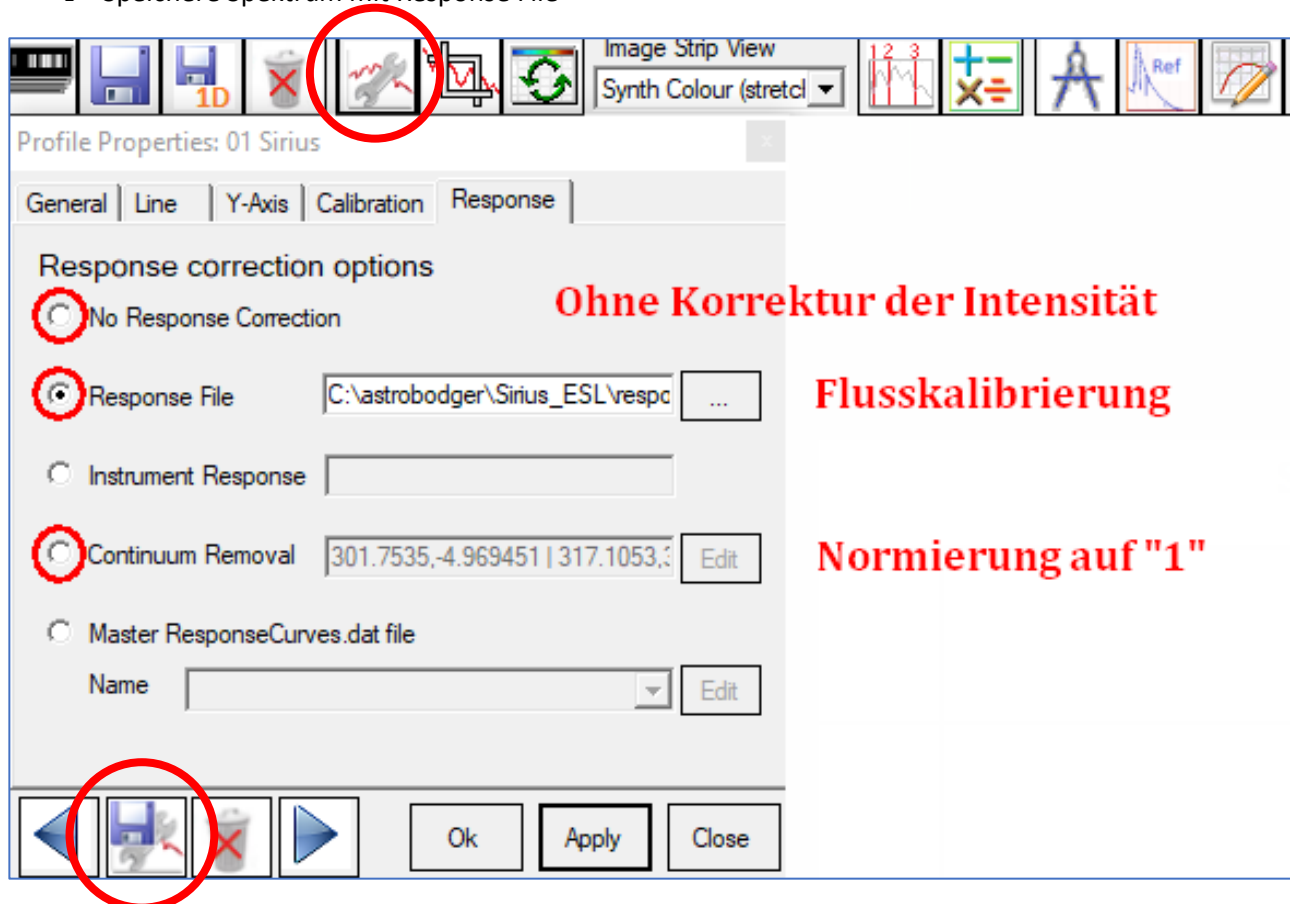
Ergebnis: Das eigene flusskalibrierte Siriuusspektrum



Profile properties: 01 Sirius

Man kann nun hin- und herschalten zwischen:

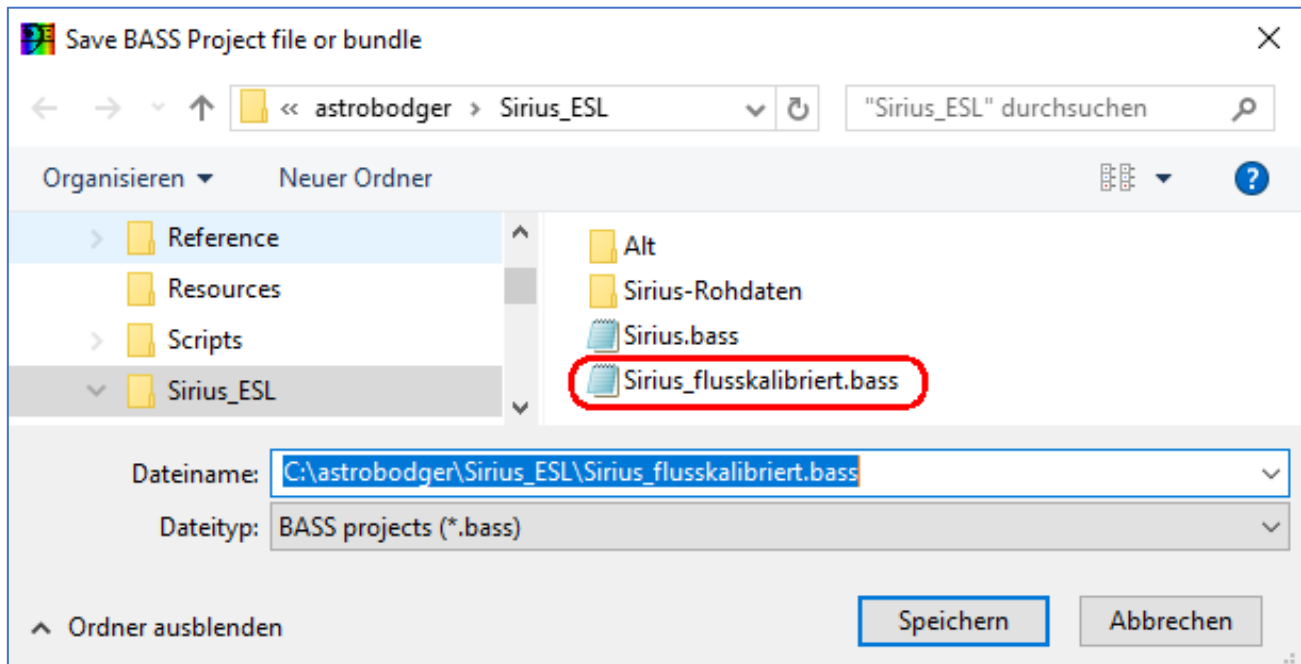
- Profile properties: 01 Sirius
- No Response Correction (unkalibriertes Siriuusspektrum)
- Response File (flusskalibriert, Flux)
- Continuum Removal (Normierung)
- Speichere Spektrum mit Response File



Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

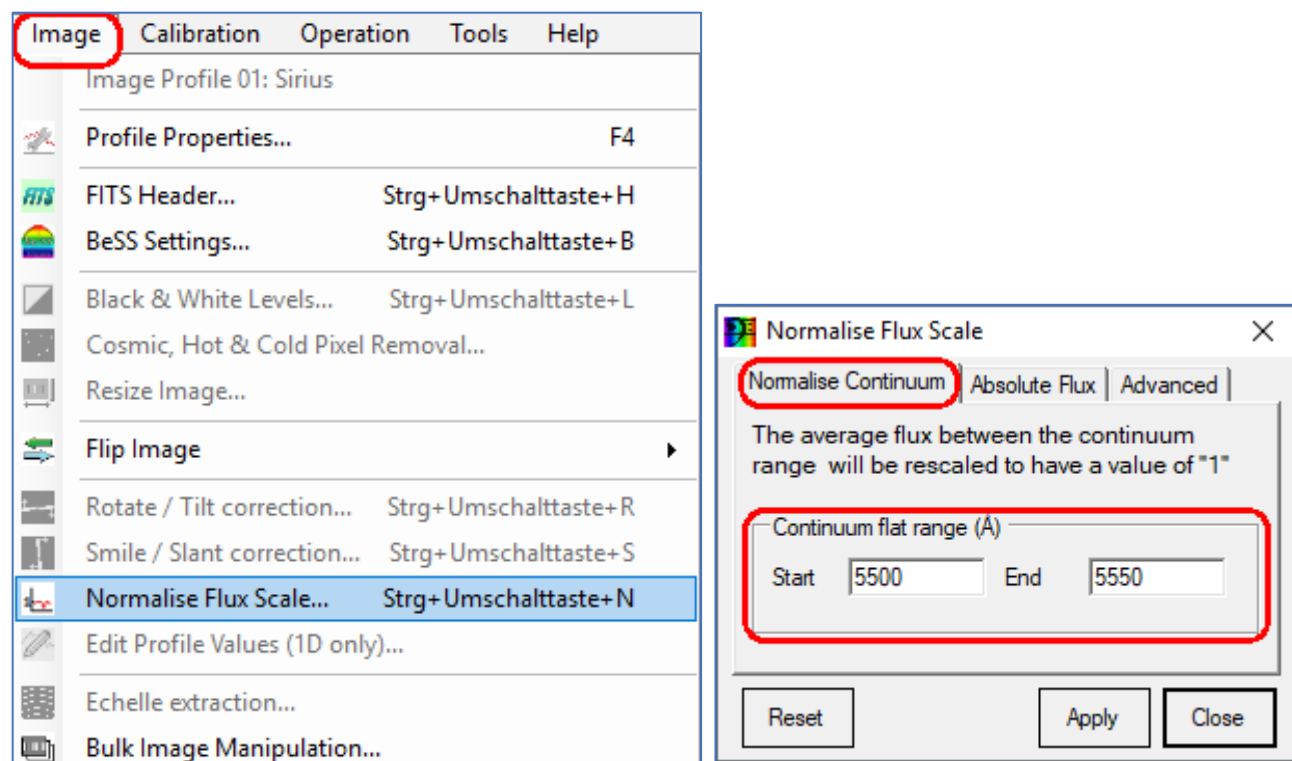
9.2.3 Speichern: Projekt – Profil – Chart – Image Strips

➔ Save Project File



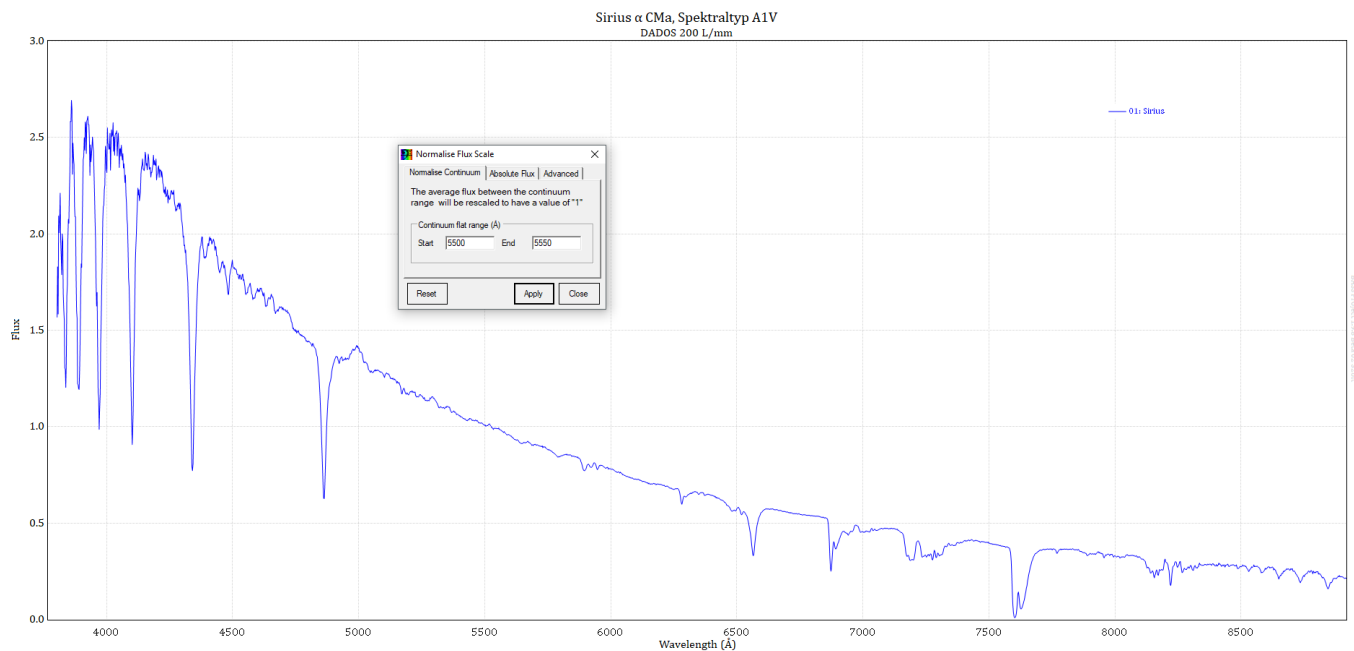
Hinweis: Falls eine andere Speicheraufforderung kommt, bitte erst mit **Diskettensymbol**  speichern:

Normierung des Spektrums im Bereich 5500Å bis 5550Å



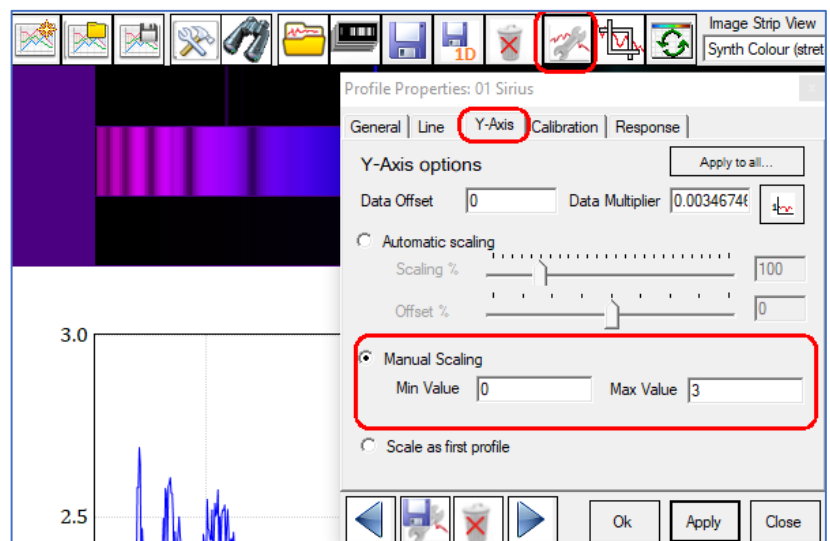
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

Ergebnis: Flusskalibriertes Spektrum von Sirius

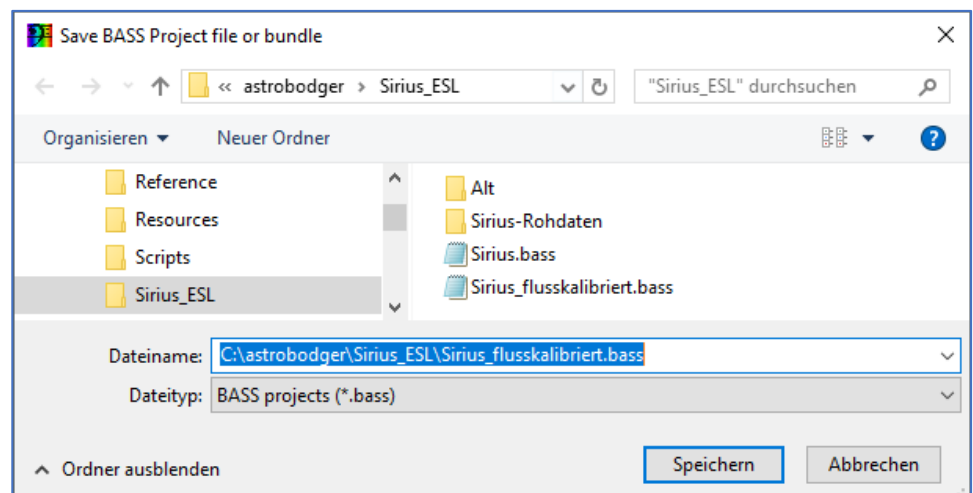


Skalierung der Y-Achse von 0 bis 3:

- Profile Properties 01: Sirius
- Y-Axis
- Manual Scaling 0 bis 3
- Apply
- Ok



→ Speichern:

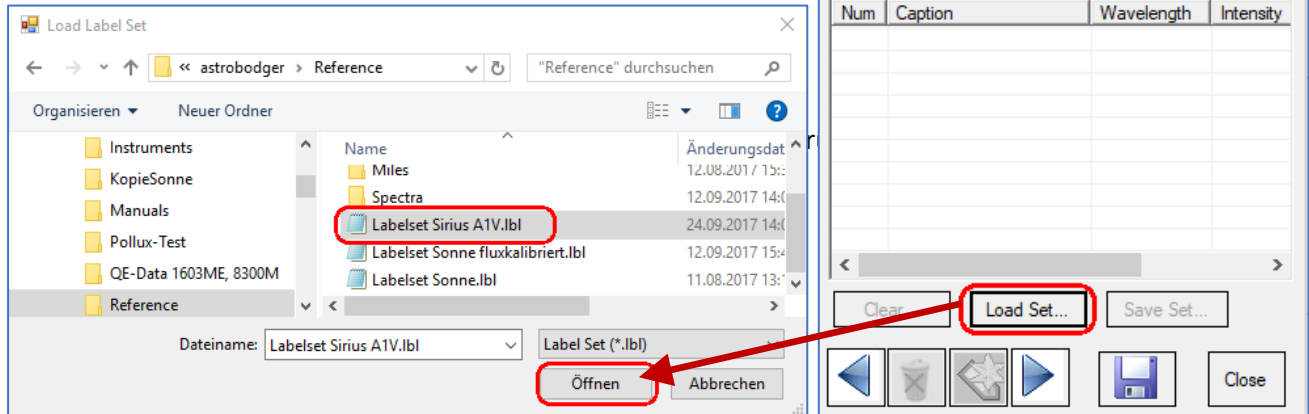


Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

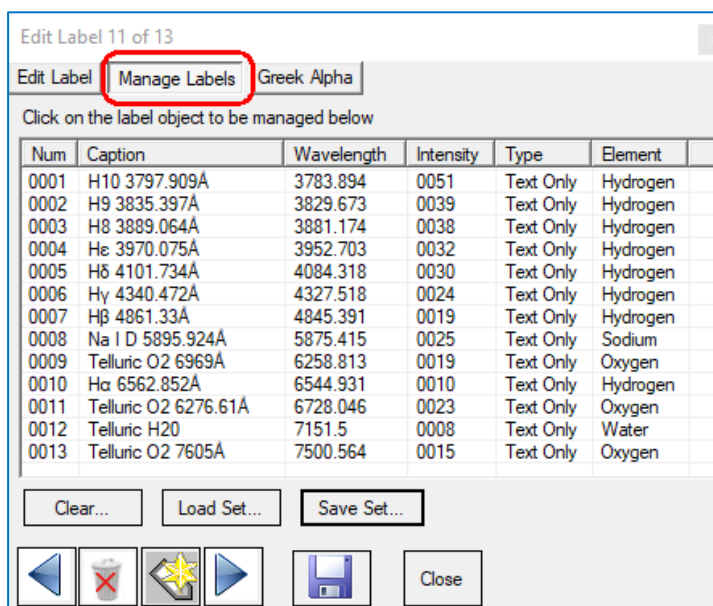
9.2.4 Beschriftung des flusskalibrierten Spektrums

➔ Add Label to chart  -> Manage Labels -> Load Set

➔ Labelset Sirius A1V.lbl öffnen

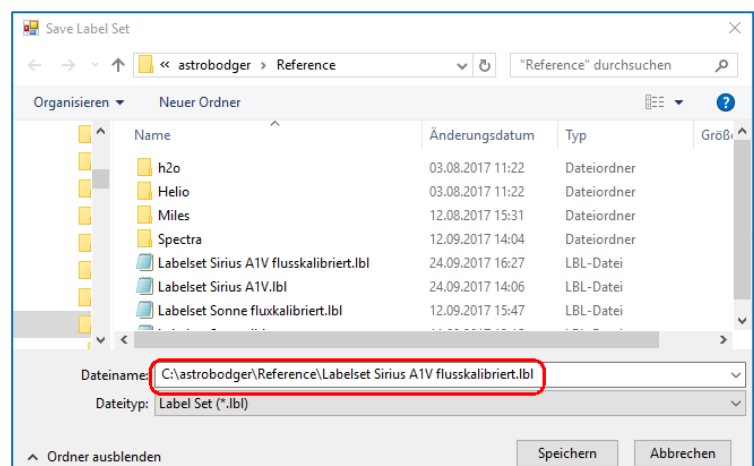


Die Einträge in diesem Labelset sind editierbar! Man kann weitere Einträge vornehmen.

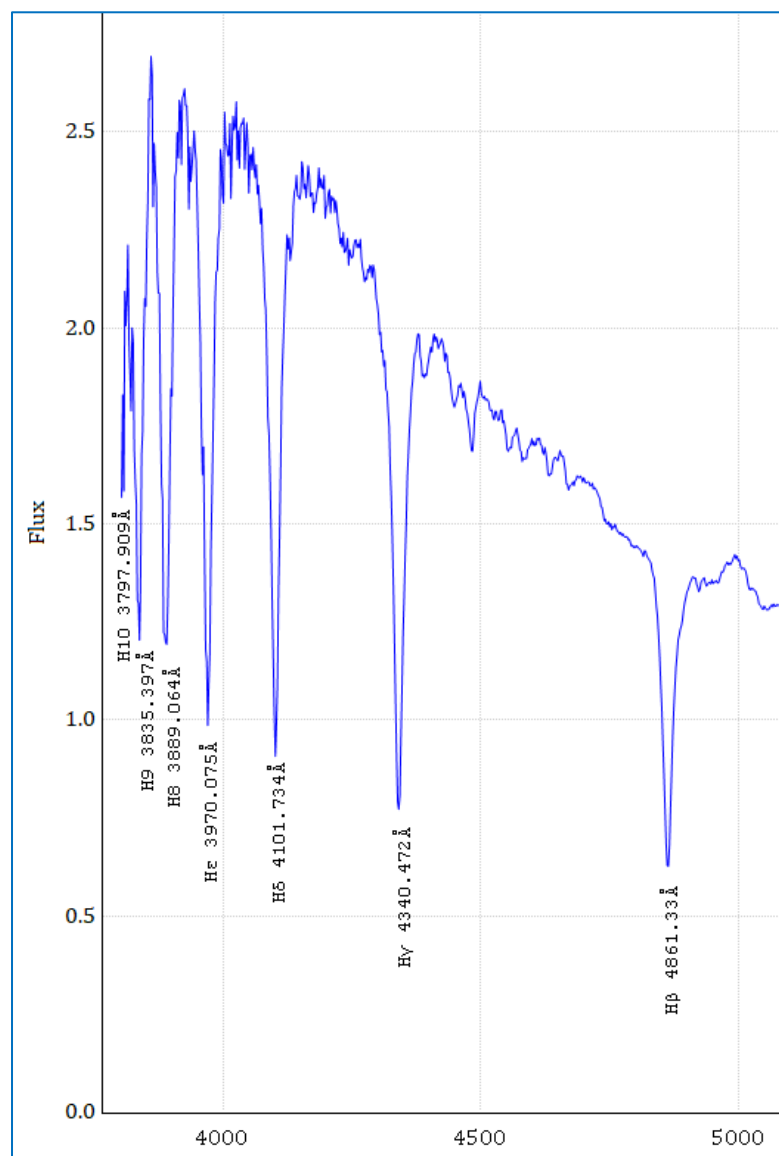
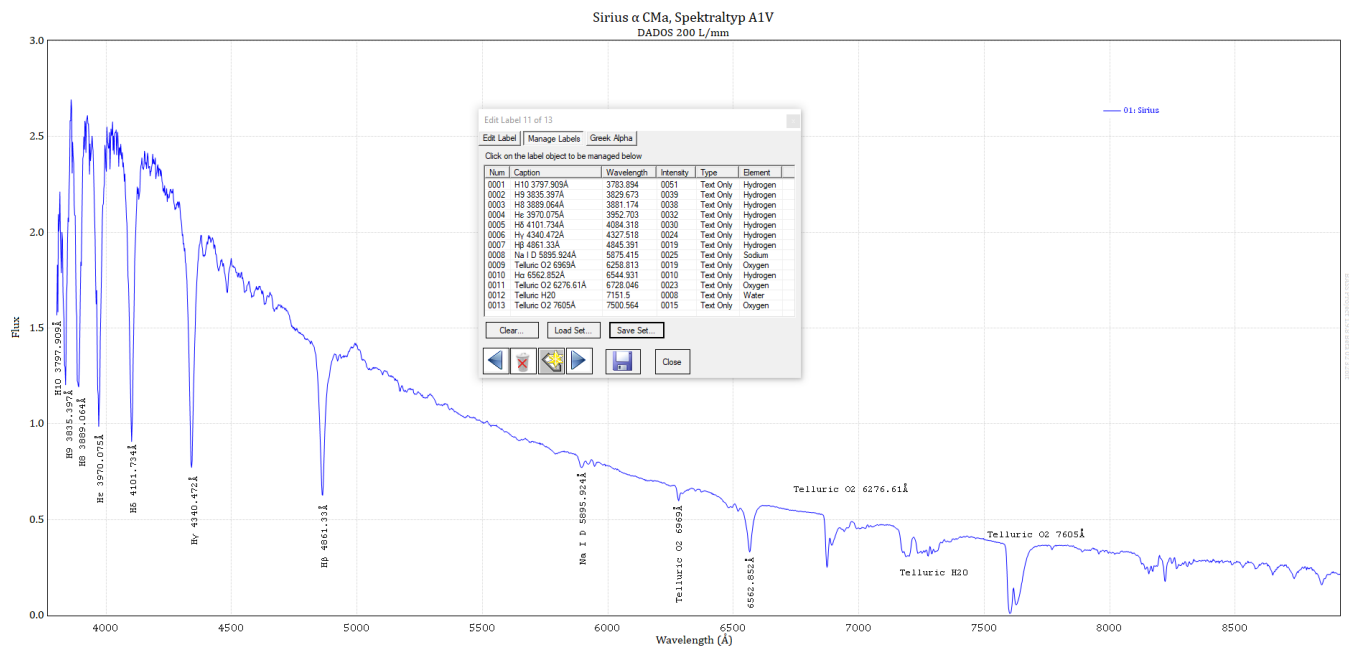


➔ Save Set:

➔ Labelset Sirius A1V flusskalibriert.lbl



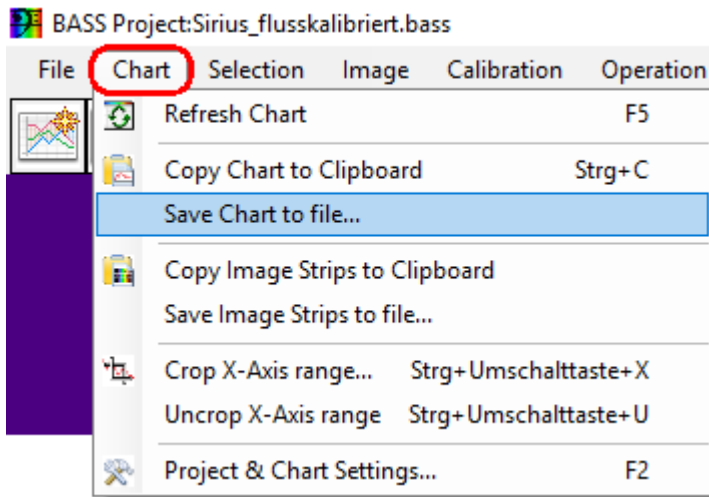
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



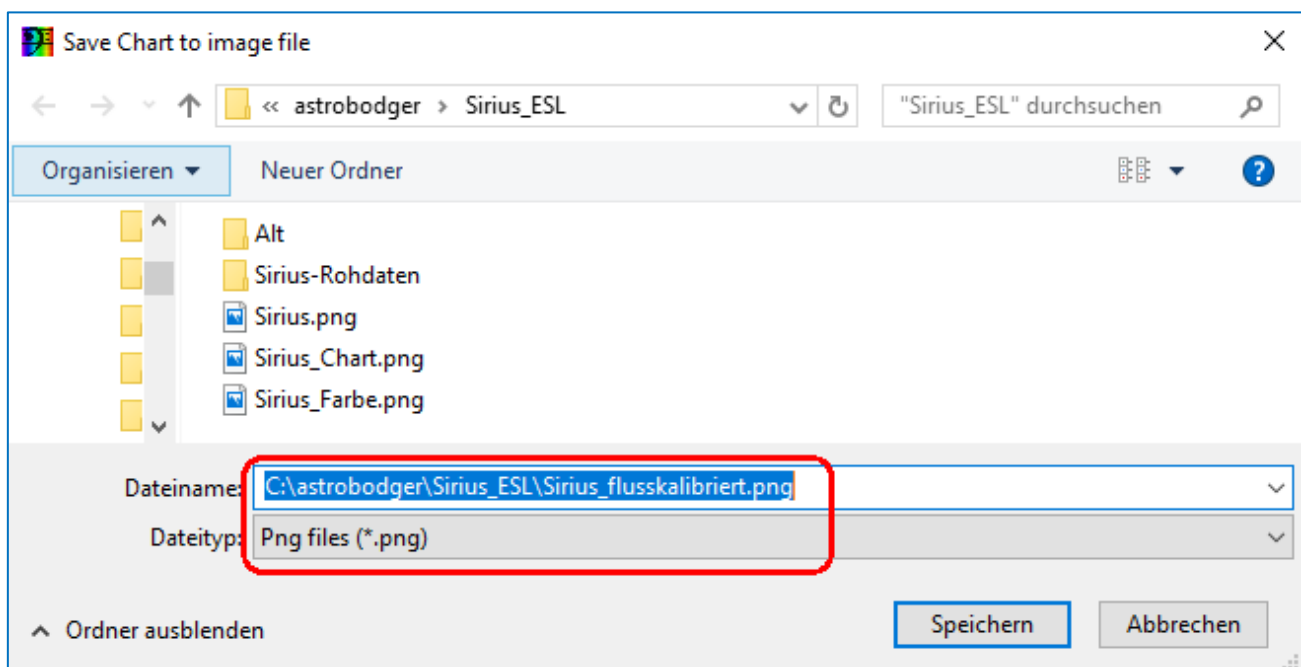
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

9.2.5 Abspeichern des beschrifteten Spektrums (Save Chart to file)

- Chart
- Save Chart to file

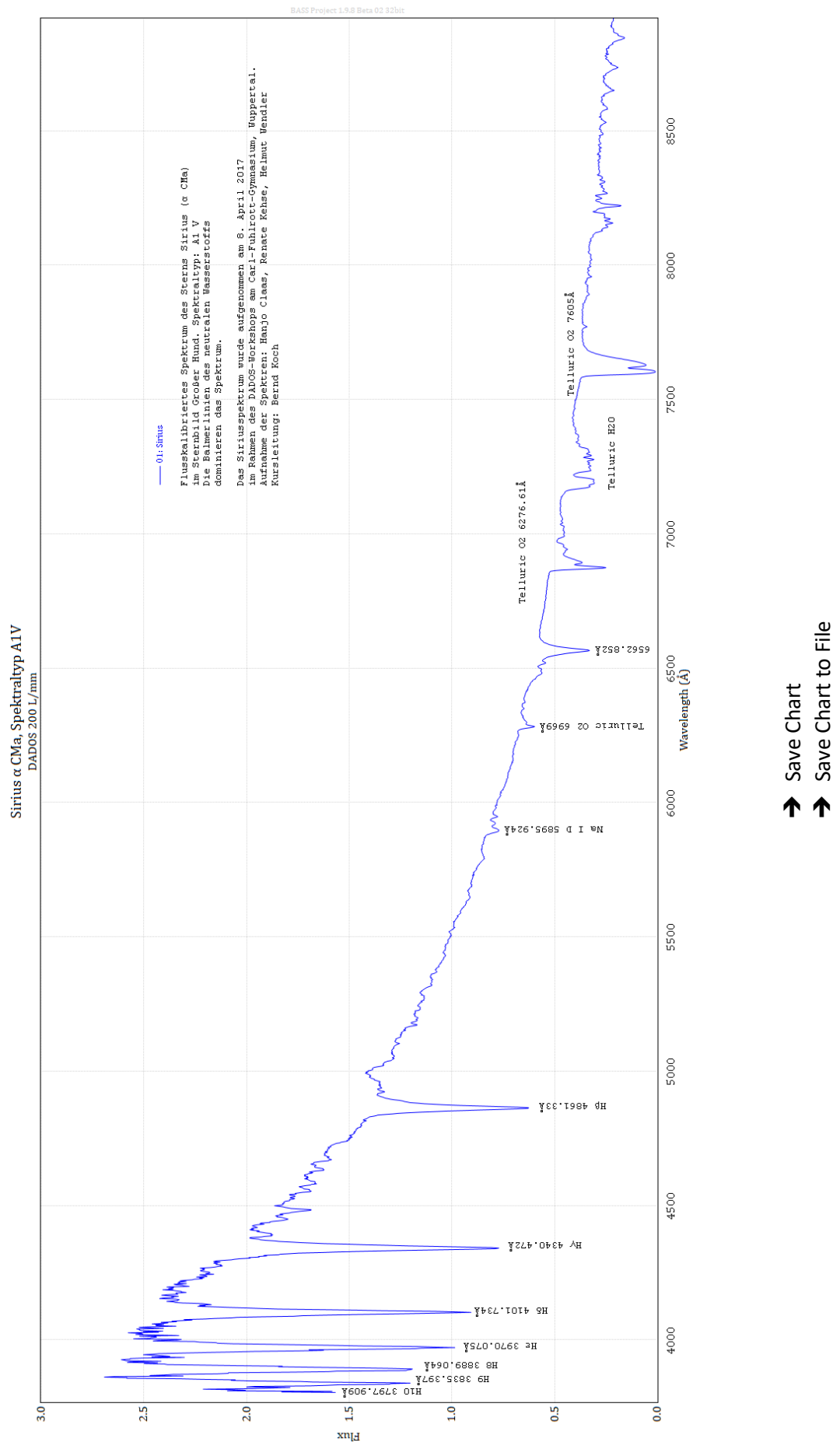


Vorsicht: Dateiendung png oder jpg, ABER NICHT .bass



- Rechte Maustaste: Show Notes here (an gewünschte Stelle setzen)

Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight



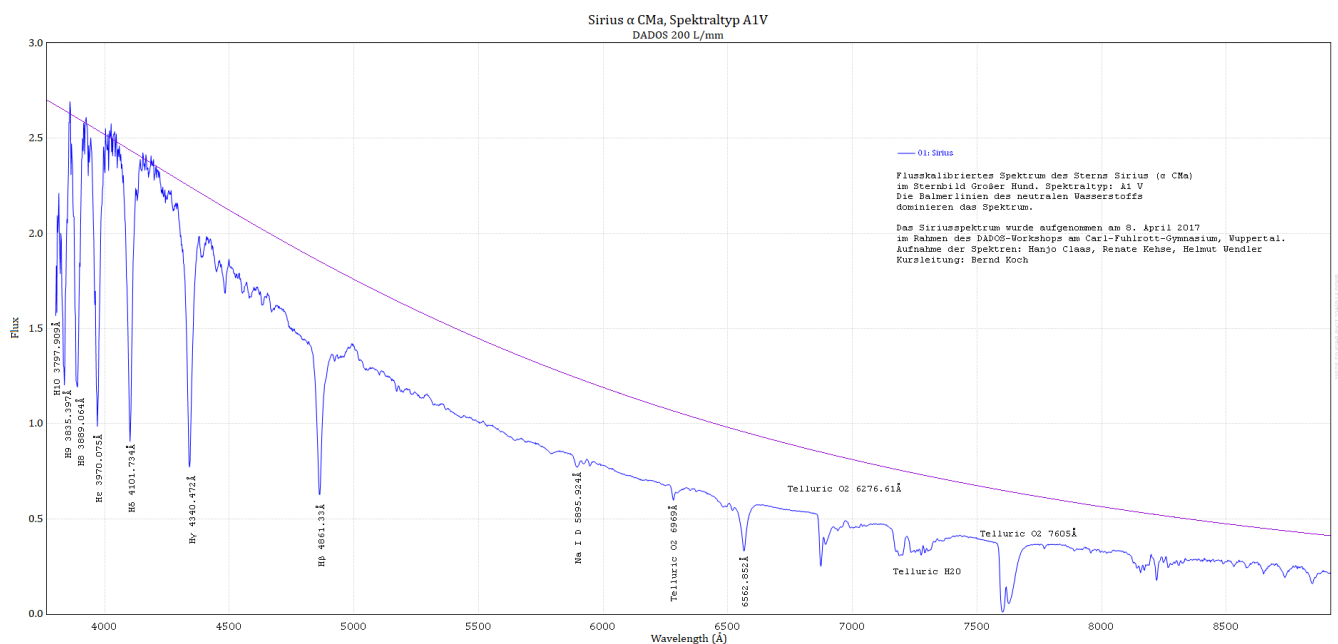
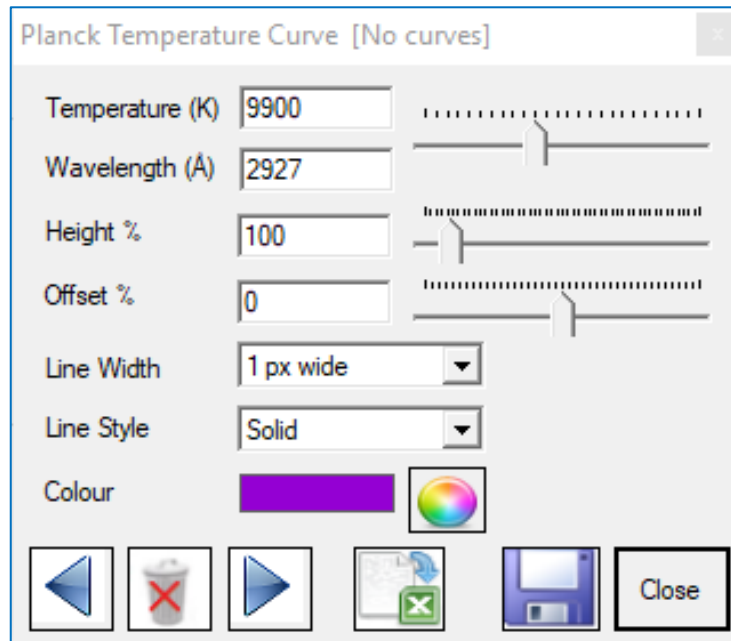
Kalibrierung eines 200L/mm-DADOS-Spektrums des Sterns Sirius A (α CMa, A1V) mit der Energiesparlampe ESL Megaman/Ormalight

9.2.6 Anpassung einer Planckschen Strahlungskurve

Sirius, genauer Sirius A, hat eine Oberflächentemperatur von $9900\text{K} \pm 200\text{K}$ ¹

➔ Add a Planck temperature curve 

Die Wellenlänge ist die Lage des Strahlungsmaximums gemäß dem Wienschen Verschiebungsgesetz. „Height“ und „Offset“ sind willkürliche Parameter für die relative Anpassung, die niemals optimal gelingen kann: Sterne sind keine perfekten Schwarzen Strahler.



¹ <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2003/35/aa3846.pdf>

10. Übertragung des Projekts an einem anderen Ort („Bundles“)

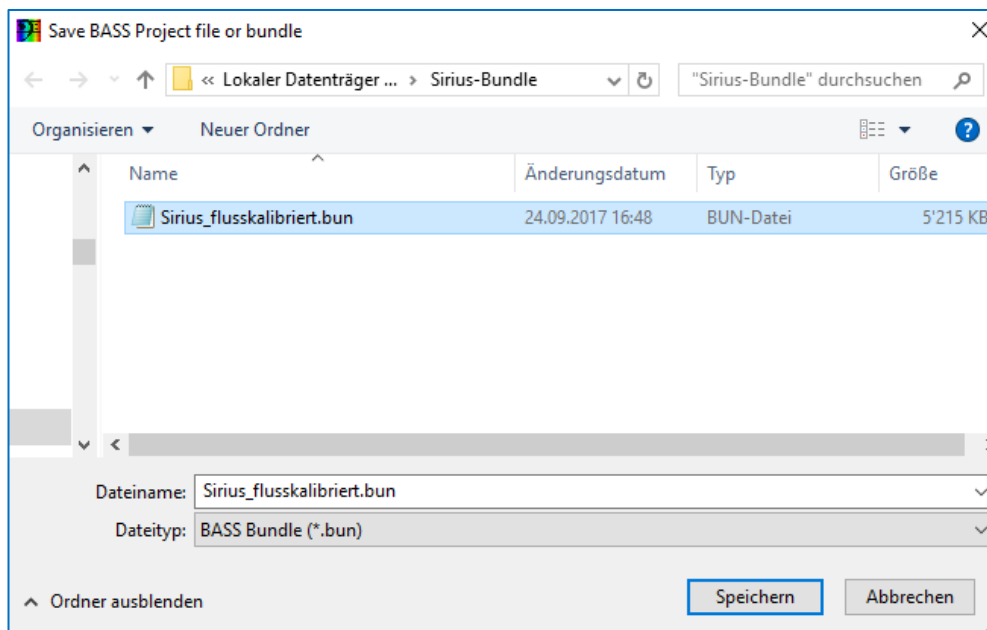
BASS arbeitet projektbezogen. Das bedeutet, dass alle für das Projekt benötigten oder erstellten Dateien **einen festen Pfad besitzen** und in einem festen Ordner, hier `C:/astrobodger/ ...` vorhanden sein müssen. Deshalb findet die Kalibrierung gemäß Tutorial ausschließlich im Ordner `c:/astrobodger/Sirius_ESL` statt.

Frage: Wie überträgt man die ursprüngliche Kalibrierung `.bass` von `C:/astrobodger/ ...` auf eine andere Festplatte und/oder in einen anderen Ordner, um sie von dort aus aufrufen zu können?

Antwort: Man öffnet wie gewohnt in `C:/astrobodger/Sirius_ESL` die BASS-Datei (Beispiel: `Sirius_flusskalibriert.bass`) und speichert das Projekt im neuen Ordner wie folgt als „Bundle“ ab:

Speichern als Bundle:

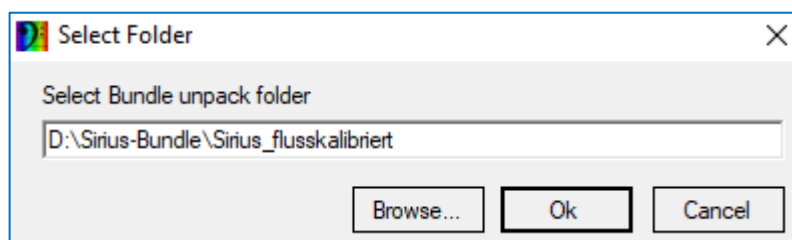
- File
- **Save Project or Bundle**
- `D:/.../Sirius_flusskalibriert.bun`



Entpacken des Bundles **am neuen Ort**

- File
- **Open Project or Bundle**
- `D:/.../Sirius_flusskalibriert.bun`

Dort öffnet man die `.bass`-Datei des Projekts und arbeitet wie gewohnt weiter.



11. Kurse zur Sternspektroskopie am CFG Wuppertal

Das Tutorial zur Kalibrierung eines Sonne-, bzw. Sternspektrums werden in den Kursen des Autors (rechts im Bild) am Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal zur Sternspektroskopie eingesetzt. Im Rahmen des Kurses wird u.a. das Tageslichtspektrum mit insgesamt sieben zur Verfügung stehenden DADOS-Spektrografen und ebenso vielen STF-8300M CCD-Kameras aufgenommen und für die Kalibrierung mit BASS vorbereitet.

Die seit 2011 verwendete Software VisualSpec wird nur noch hin- und wieder herangezogen.

Aktuelle Kursinformationen finden Sie unter:

<http://www.baader-planetarium.com/de/blog/aktuelle-spektroskopie-kurse-am-schuelerlabor-astronomie-2017-und-2018/>

