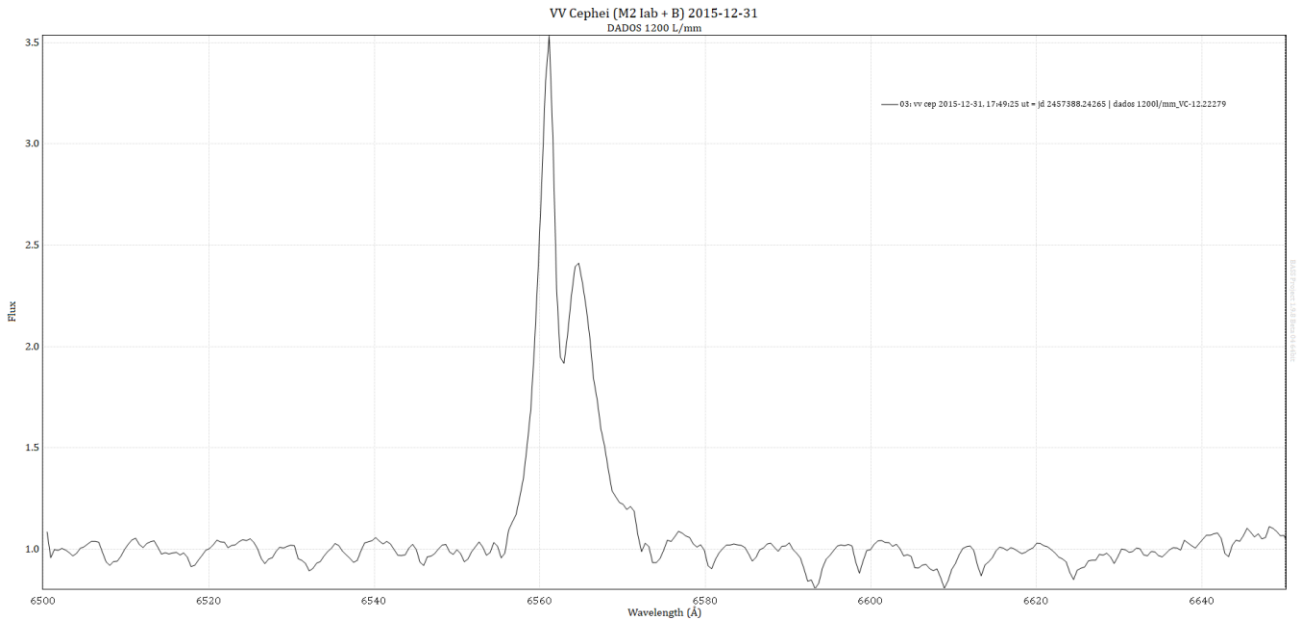
Kalibrierung eines 1200L/mm DADOS-Spektrums des spektroskopischen Doppelsterns VV Cephei (M2 Iab / B)

Wellenlängenkalibrierung – Normierung

Äquivalentbreite EW - V/R-Verhältnis



Tutorial 1.0

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

Inhalt

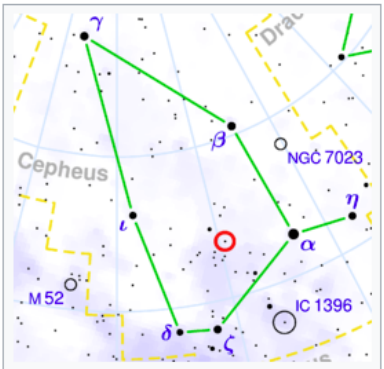
1. Der Bedeckungsveränderliche VV Cephei 2
1.1 Das Bedeckungsereignis 2017-2019 2
1.2 Definition der Messgrößen 3
2. Der vorliegende Datensatz: VV Cep und NeArH-Referenzspektrum 4
2.1 Vorbereitung der Spektren: Spektren beschneiden, um Datenmenge zu begrenzen 5
3. BASS starten 7
4. Spektren mit Flatfield kalibrieren und stacken ohne Alignment 8
5. Voreinstellungen vornehmen 11
6. Referenzspektrum öffnen 14
7. Sternspektrum und Referenzspektrum horizontal ausrichten. 16
8. Auswahl des Scanbereichs für Spektrum und Himmelshintergrund 18
9. Einzelne Spektralbereiche genauer betrachten 22
10. Wellenlängenkalibrierung 23
10.1 Das Spektrum der RELCO SC480 NeArH Referenz 23
10.2 Wellenlängenkalibrierung des Spektrums des Referenzspektrums 23
10.3 Übertragung der Wellenlängenkalibrierung auf das Spektrum von VV Cep 36
11. Normierung der relativen Intensität des Spektrums 38
11.1 Pseudokontinuum entfernen 38
11.2 Normierung auf „1“ 42
11.3 Manuelle Skalierung der Y-Achse (Flux, relative Intensität) 43
11.4 Durchführung einer genaueren Normierung in der Umgebung von Hα 44
12. Heliozentrische Korrektur und Dopplereffekt 47
12.1 Der FITS-Header 47
12.2 Objekt- und Beobachterdaten eintragen 48
12.2 Sinnvolle Messgrößen für den DADOS mit Gitter 1200 L/mm 55
12.3 Erfassung der Messgrößen 56
13 Beschriftung des normierten Spektrums 59
14 Notizen erstellen und einblenden 61
15. Speichern: Projekt und 1D-Profil 61
16. Übertragung des Projekts an einem anderen Ort („Bundles“) 62
17. Kurse zur Sternspektroskopie am CFG Wuppertal 63

1. Der Bedeckungsveränderliche VV Cephei

1.1 Das Bedeckungsereignis 2017-2019

VV Cep (HD 208816) ist ein bedeckungsveränderlicher Stern mit einer Umlaufzeit von 20,4 Jahren[1]. Mit 4,9 mag scheinbarer Helligkeit ist er zudem ein relativ helles, rötlich leuchtendes Objekt im Zentrum des Sternbildes Cepheus, ca. 4900 Lichtjahre von der Erde entfernt[2]. Die Komponente VV Cep A ist als M2-Überriese einer der größten Sterne in der Galaxis, der Sternradius beträgt zwischen 1050 und 1900 Sonnenradien, die Masse bis zu ca. 20 Sonnenmassen.

Der M2-Überriese füllt sein Roche-Volumen aus, wenn der ca. 8 Sonnenmassen schwere Begleiter, ein heißer B-Stern, den Überriesen im Periastron nahesteht. Der B-Stern vom Typ B0 bis B2 ist ein Hauptreihenstern mit ca. 25000K Oberflächentemperatur. Im System findet ein Massentransfer vom Überriesen zum B-Stern statt. Es bildet sich eine rotierende, leuchtende Materiescheibe aus, die weniger als 1/18 des Durchmessers der Photosphäre des Überriesen ausgedehnt ist und zudem keine sphärische Symmetrie aufweist[3].



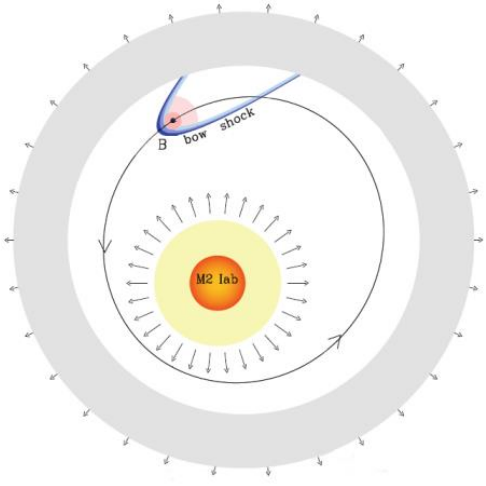
Location of VV Cephei in Cepheus constellation

Observation data	
Epoch J2000	Equinox J2000
Constellation	Cepheus
Right ascension	21h 56m 39.14385s[1]
Declination	+63° 37′ 32.0174″[1]
Apparent magnitude (V)	4.91[2] (4.80 - 5.36[3])
Characteristics	
U–B color index	+0.43[4]
B–V color index	+1.73[4]
Variable type	EA + SRc[3]
A	
Spectral type	M2 Iab[2]
U–B color index	+2.07[4]
B–V color index	+1.82[4]
B	
Spectral type	B0-2 V[2]
U–B color index	−0.52[4]
B–V color index	+0.36[4]
Astrometry	
Parallax (π)	1.33 ± 0.20[1] mas
Distance	4.9k ly (1.5k[5] pc)
Absolute magnitude (M_V)	−6.93[6]

Orbit	
Period (P)	7,430.5 days[7]
Semi-major axis (a)	16.2 ± 3.7[2]" (24.8[8] AU)
Eccentricity (e)	0.346 ± 0.01[7]
Inclination (i)	84[9]°
Semi-amplitude (K_1) (primary)	19.43 ± 0.33[7] km/s
Semi-amplitude (K_2) (secondary)	19.14 ± 0.68[7] km/s
Details	
A	
Mass	(2.5[10]–) 18.2[8] $M_\odot$
Radius	1,400[11], 1,050[9]-1,900[12] $R_\odot$
Luminosity	200,000[13] $L_\odot$
Surface gravity (log g)	0.0[14] cgs
Temperature	3,826[2] K
Metallicity [Fe/H]	−0.06[14] dex
B	
Mass	(8[10]–) 18.4[8] $M_\odot$
Radius	13[7]-25[15] $R_\odot$
Metallicity	−0.14[16]
Age	25[17] Myr
Other designations	
VV Cep, HR 8383, HIP 108317, HD 208816, BD+62°2007, WDS J21567+6338, 2MASS J21563917+6337319, IRAS 21552+6323, AAVSO 2153+63	

Der B-Stern pflügt durch den Wind des M2-Überriesen und bildet an der Vorderseite eine bogenförmige Schockfront aus, die sich stark aufheizt wird und Licht emittiert.

Der M2-Überriese verliert durch einen 20 km/s erreichenden Sternwind ca. $1.5 \cdot 10^{-6}$ Sonnenmassen pro Jahr[4].



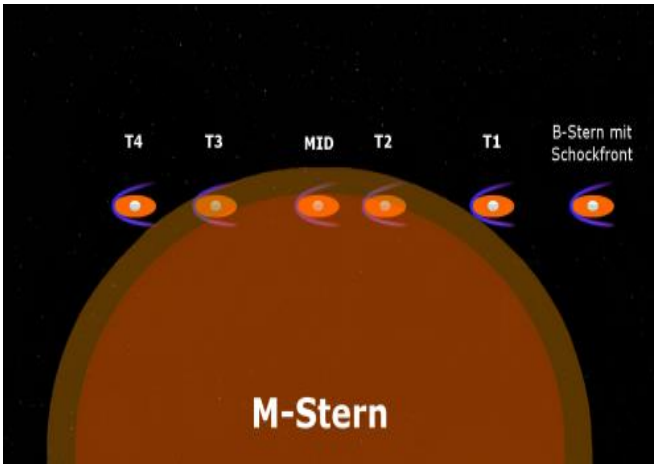
[1] "Giants of Eclipse: The zeta Aur Stars and Other Binary Systems" Springer 2015, by Ph. Bennett & Wendy Hagen Bauer, S. 87

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/VV_Cephei

[3] http://ibvs.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?6156

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

Der aktuelle Bedeckungszyklus findet vom 15.8.2017 bis Mitte Mai 2019 statt. Dabei scheint der Be-Stern durch die dünne Chromosphäre/Photosphäre des M2-Überriesen. Die Bedeckung der Gasscheibe des B-Sterns durch die halbtransparente Atmosphäre des M2-Überriesen wirkt dramatisch auf das Spektrum des B-Sterns aus.

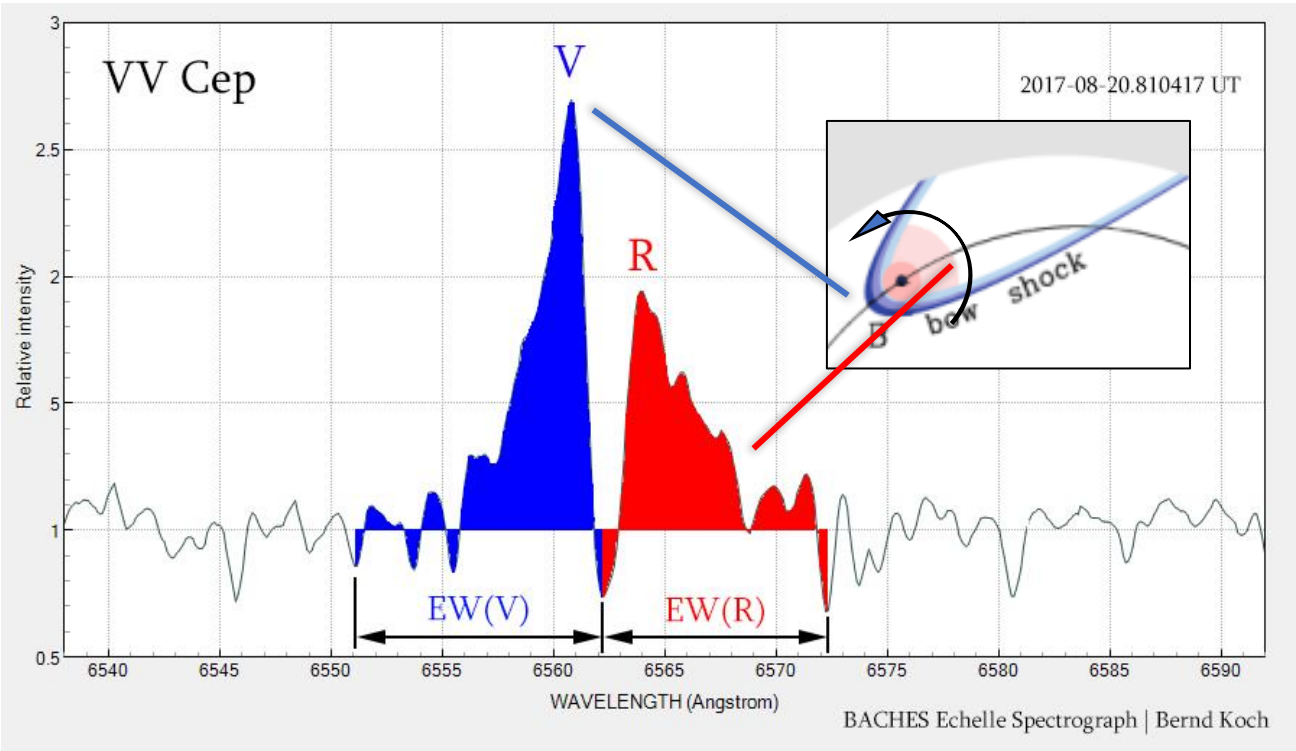


Die Bedeckung dauert rund 673 Tage[5].

t_1	2017-08-15
t_2	.....
t_m	MID ca. 2018-06-05
t_3	ca. 2019-02
t_4	ca. 2019-05

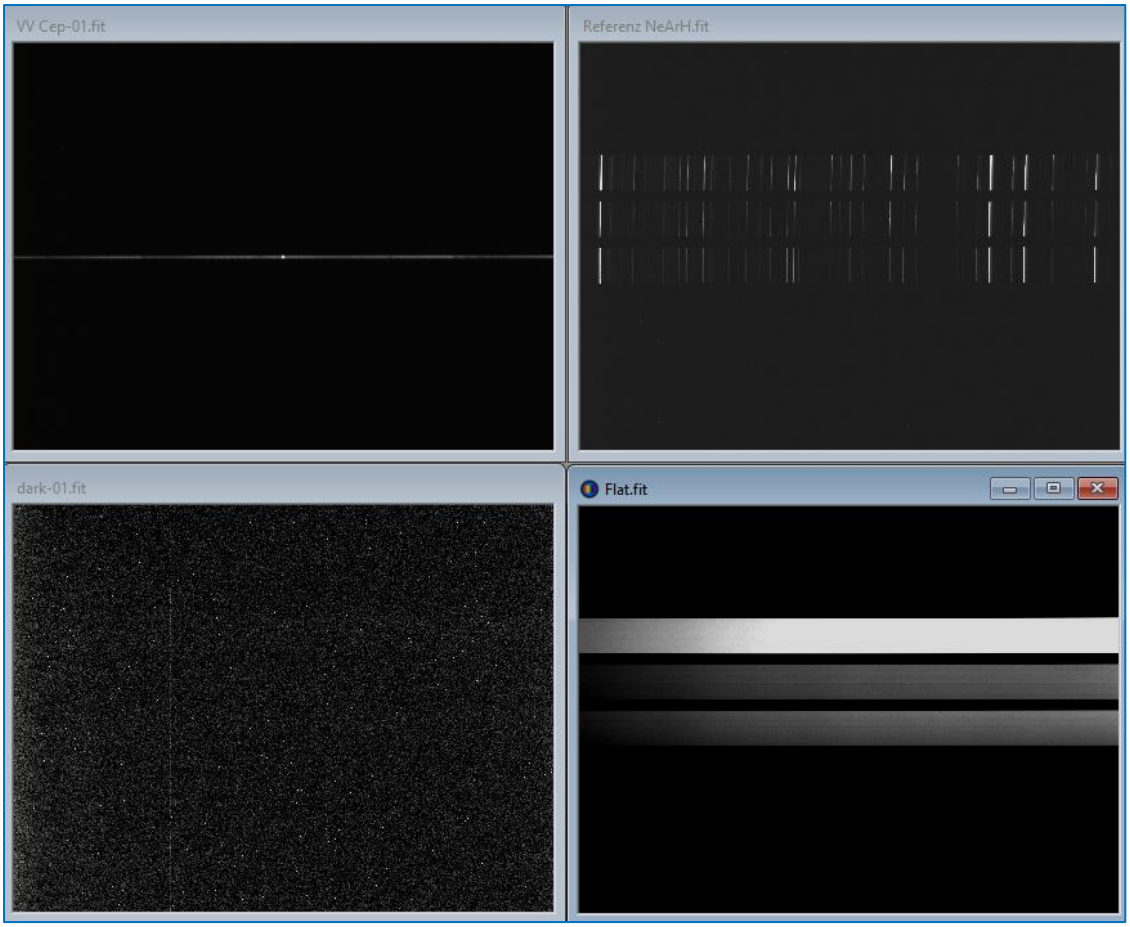
1.2 Definition der Messgrößen

Im Langzeitmonitoring[6] sind folgende Messgrößen bei der Hα-Linie zu ermitteln:
Hα-Äquivalentbreite EW(V) von (ca. 6551Å bis Hα-Absorptionsminimum)
Hα-Äquivalentbreite EW(R) von (Hα–Absorptionsminimum bis ca. 6572Å)
Intensität des Hα V-Peaks
Intensität des Hα R-Peaks
V/R-Verhältnis der Hα–Linie
Heliozentrische Radialgeschwindigkeit HRV des Hα-Absorptionsminimums



[5] http://www.astronomie.de/astronomische-fachgebiete/spektroskopie/projekte-kampagnen/das-vv-cephei-projekt/
[6] http://ibvs.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?6156

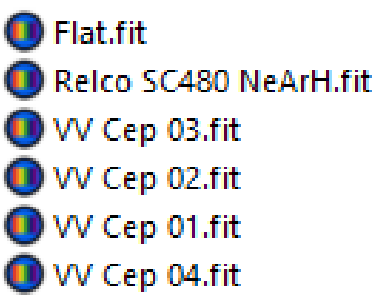
2. Der vorliegende Datensatz: VV Cep und NeArH-Referenzspektrum



Aufnahmen von VV Cep (je 300s belichtet, CCD-Kamera ST-8300M), eine Aufnahme des RelcoSC480 Neon/Argon/Wasserstoff-Referenzspektrums, ein Flatfield, beide jeweils 300s belichtet. Die Sternspektren wurden im Bereich des 35µm-Spalt aufgenommen. Teleskop: Celestron 14 EdgeHD. Referenzspektrum und Flatfieldspektrum wurden mit dem Alpy Calibration Module aufgenommen.
https://www.shelyak.com/produit.php?id_produit=92&id_rubrique=17

Folgendes ist bei der Aufnahme grundsätzlich zu beachten:

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 am Ende der Serie aufgenommen. Im niedrig auflösenden Anwendungsbereich ist das auch völlig ausreichend, weil thermische Driften in der vorliegenden Serie nicht zu erkennen sind. Außerdem sollte der Spektralfaden bereits möglichst exakt horizontal orientiert sein, blaues Ende links, rotes rechts.

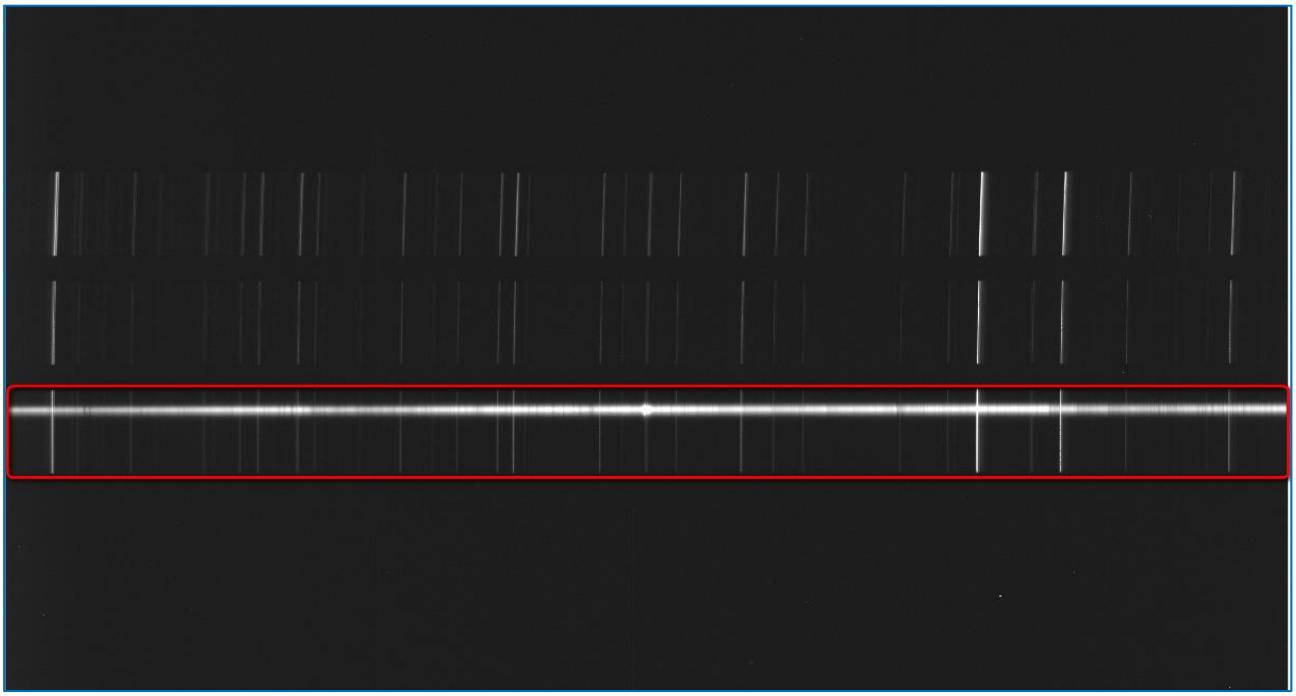


2.1 Vorbereitung der Spektren: Spektren beschneiden, um Datenmenge zu begrenzen

Referenz- und Sternspektren liegen vorbereitet in diesem beschnittenen Bildformat vor. Das Ausschneiden und Abspeichern erfolgte in unserem Beispiel mit MaxIm DL.

Wichtig ist hierbei, dass alle Spektren gleich ausgeschnitten werden. Andernfalls stimmt die Wellenlängenkalibrierung nicht.

Wo liegt der Spektralfaden VV cep in Bezug auf das Referenzspektrum? Zur Ansicht – nicht zur Auswertung – wurden beide Spektren überlagert. Der Spektralfaden von VV Cep hätte bei der Aufnahme besser etwas weiter unten platziert werden sollen, da nun Der Himmelshintergund oberhalb des Spektrums etwas knapp ist.



Hinweis: Die BASS 32-Bit-Version ist nicht in der Lage größere Datenmengen im RAM zu verwalten. 10 Spektren à 16MB Speichervolumen sind bereits zu viel. Für diese Version wird definitiv empfohlen, die Spektren vor der Weiterverarbeitung in BASS in Bezug auf die Höhe zu beschneiden. Dies muss jedoch für alle Spektren in selber Weise erfolgen! Jedes Programm zur Steuerung einer CCD-Kamera sollte in der Lage sein, dies vorzunehmen.

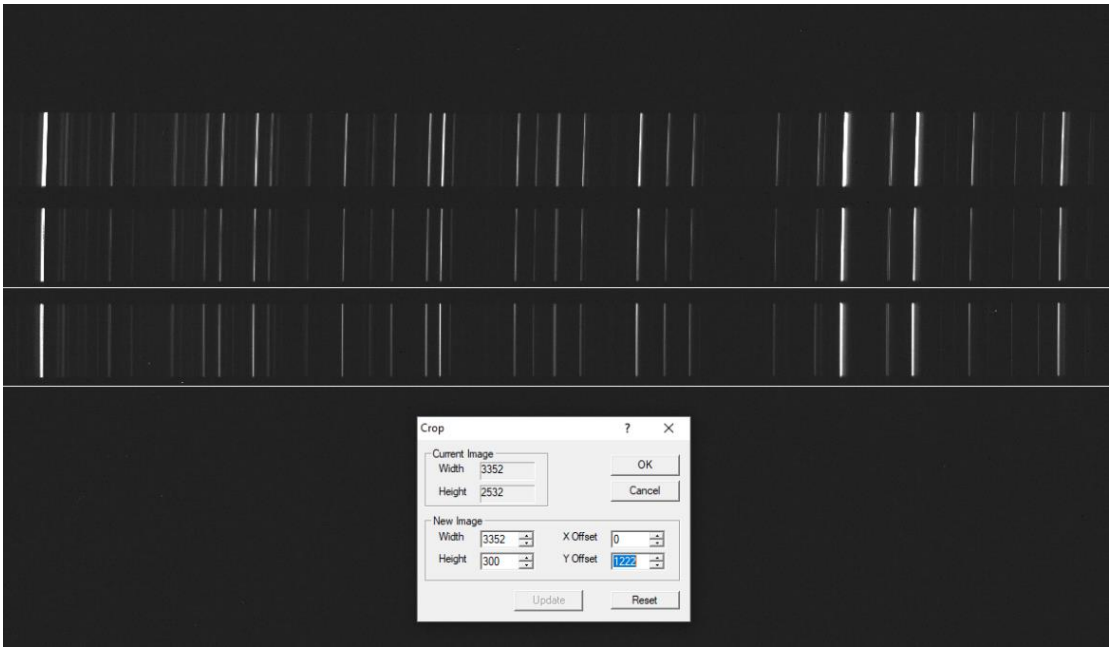
Hinweis: Die BASS 64-Bit-Version ist hingegen in der Lage, größere Datenmengen zu verwalten. Tritt dennoch ein Speicherfehler auf, sollten die Spektren vorher beschnitten werden.

Zunächst wird der Spektralfaden in der Höhe etwas beschnitten. Da VV Cep auf dem 35µm-Spalt liegt, wird nur der untere Spektralfaden ausgeschnitten.

Hinweis: Der Spektralfaden darf nicht zu eng ausgeschnitten werden. Ober- und unterhalb muss noch Raum sein, um später den Bereich des Himmelshintergrundes zu definieren.

Hinweis: Legen Sie vorher eine Kopie des Datensatzes an.

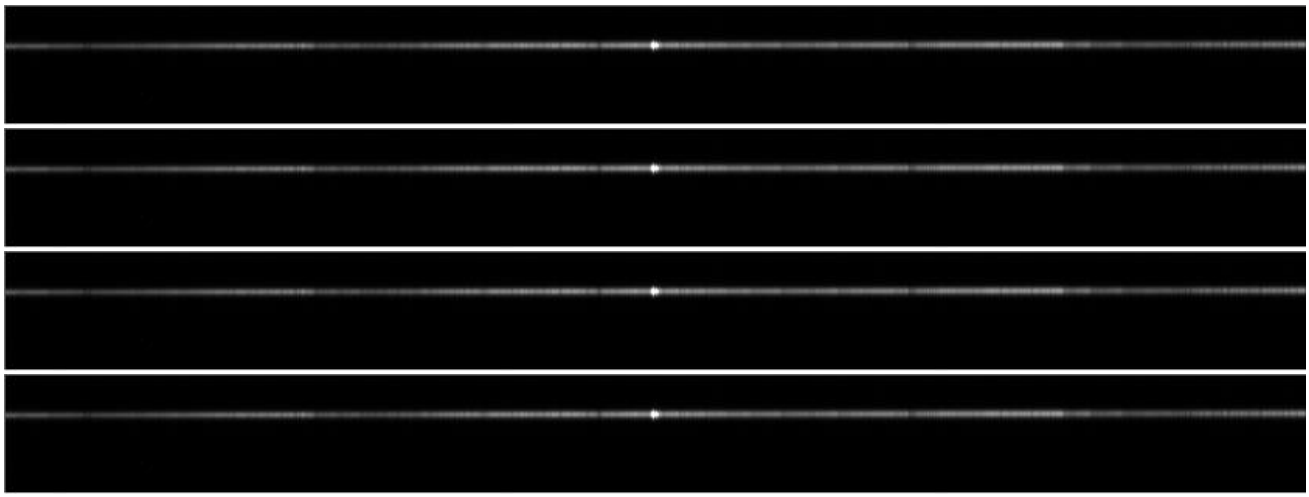
Ausschneiden des unteren Spektrums, hier mit der Funktion Crop in MaxIm DL:



Referenzspektrum NeArH, 300s, DADOS, 1200 L/mm, Spalt 35µm

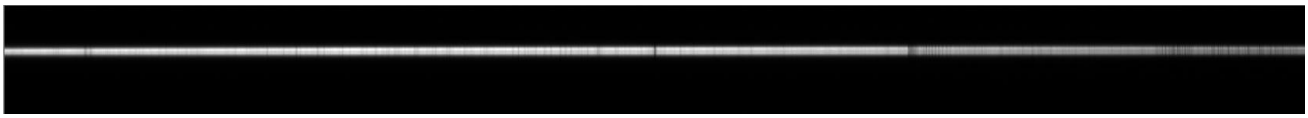
Flatfieldspektrum einer internen Halogenlampe, 300s, DADOS, 1200 L/mm, Spalt 35µm

Vier Spektren von VV Cep, je 300s mit Darkframe-Korrektur, 1200 L/mm, Spalt 35µm



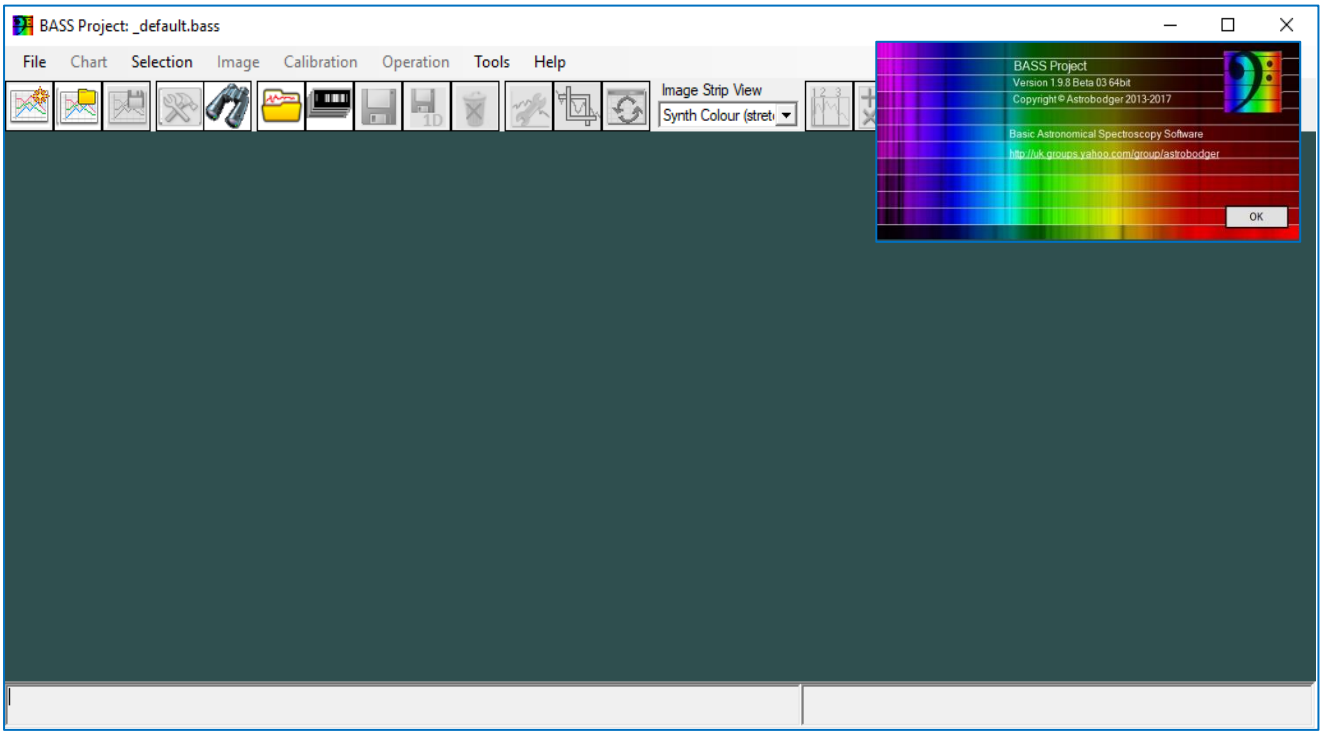
3. BASS starten

Dieses Tutorial setzt voraus, dass Rohspektren und Kalibrierspektren im Ordner *C:/astrobodger/VV Cep/2015-12-31/....* im Format FIT vorliegen. Diese wurden mit einem Celestron 14 EdgeHD-Teleskop und MaxIm DL aufgenommen; bei der Aufnahme wurden automatische Darkframes subtrahiert.



Start der aktuellen Version *BASSProject.exe* im Ordner C*:/astroboger*

Das leere Arbeitsfenster eines neuen Projekts in der BASS 64-Bit-Version:

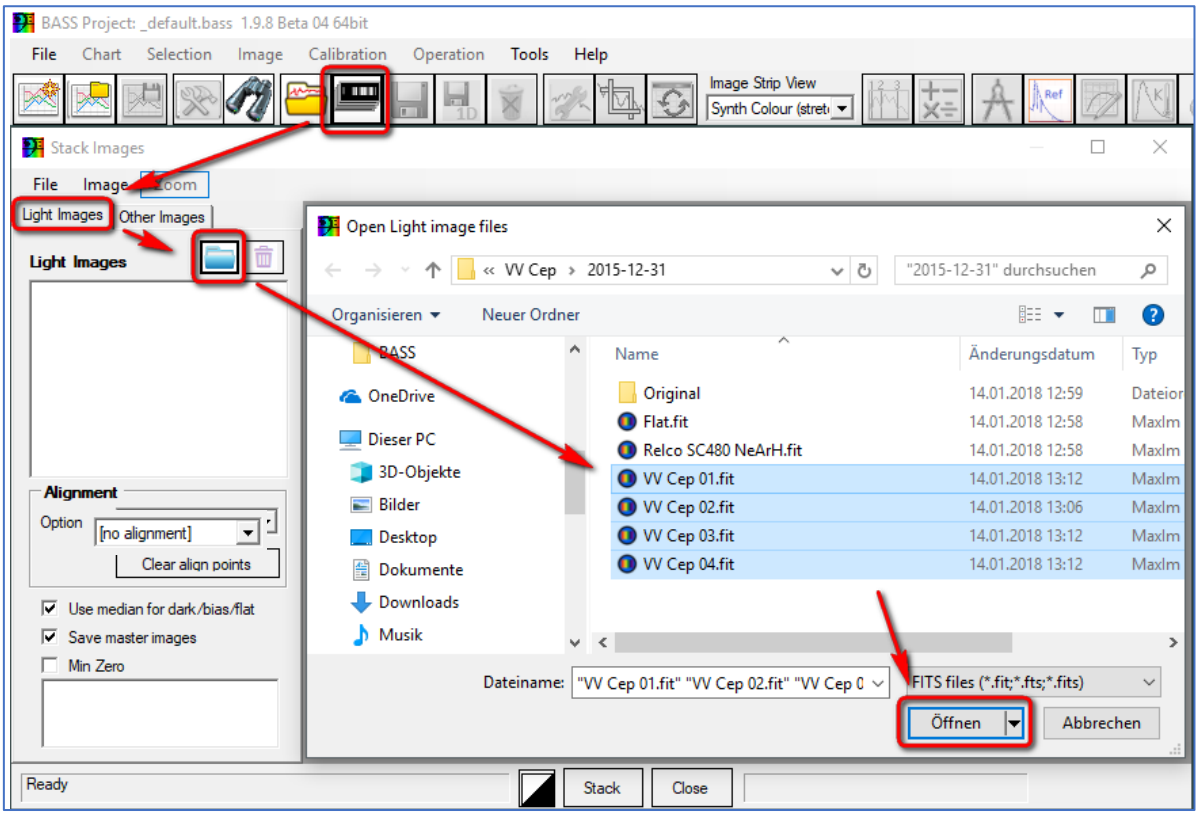


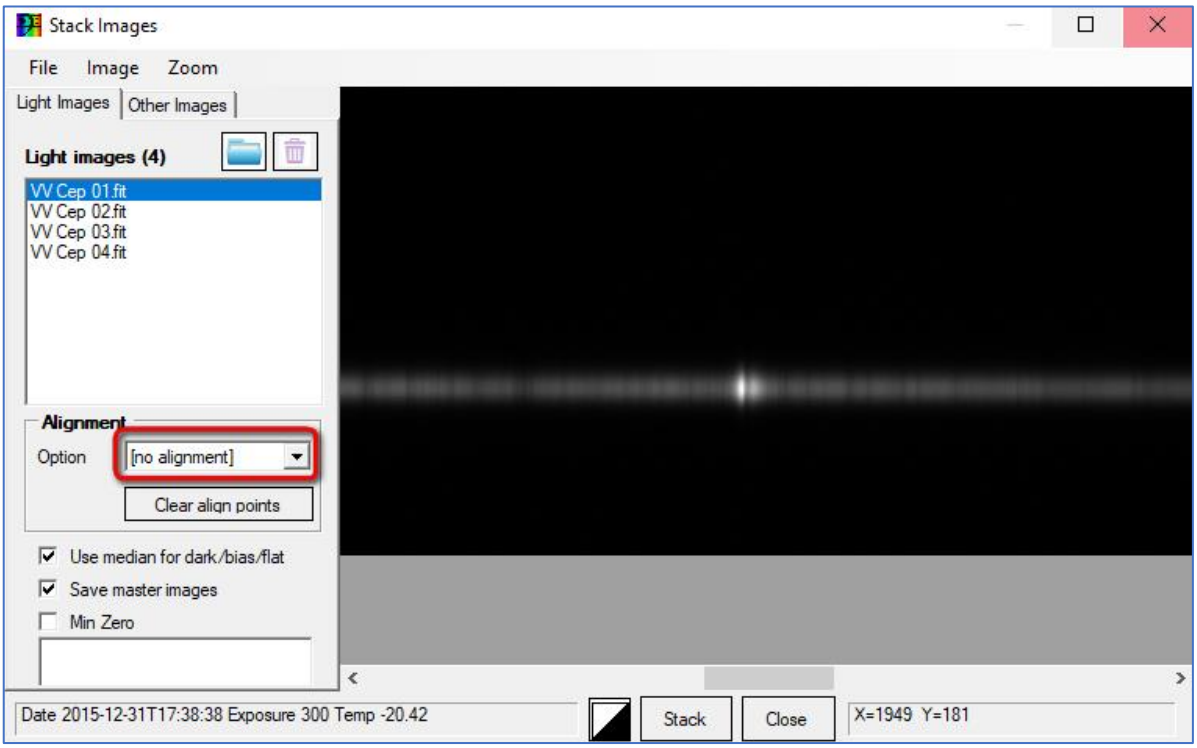
BASS arbeitet mit sogenannten „Projekten“, bei denen alle verwendeten 2D-Rohspektren, Ergebnisse und Beschriftungen gespeichert werden an einem festen Speicherort*, C:/astrobodger*. Projekte werden im Format ***.bass*** abgespeichert. BASS meldet sich, wenn Teile des Projekts (neue oder geänderte Spektralprofile) 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.

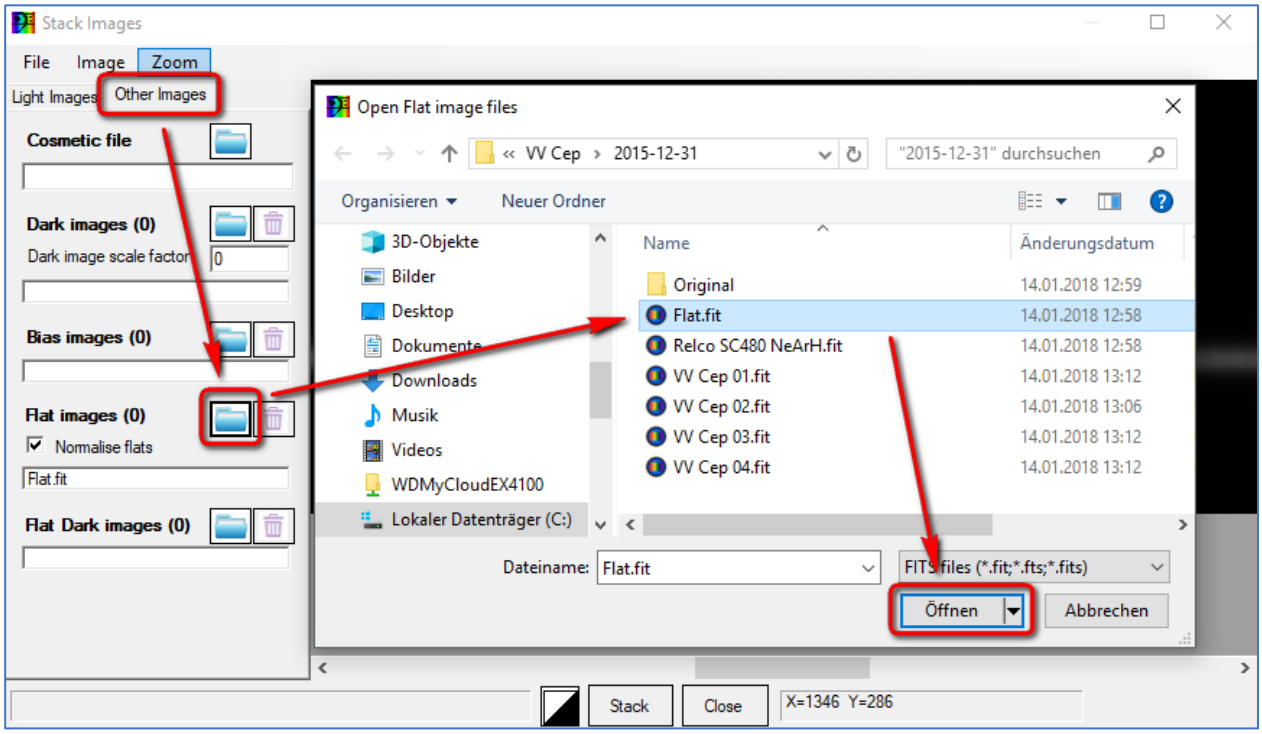
4. Spektren mit Flatfield kalibrieren und stacken ohne Alignment

➔ Stack Images
➔ Light Images öffnen
➔ [No alignment]

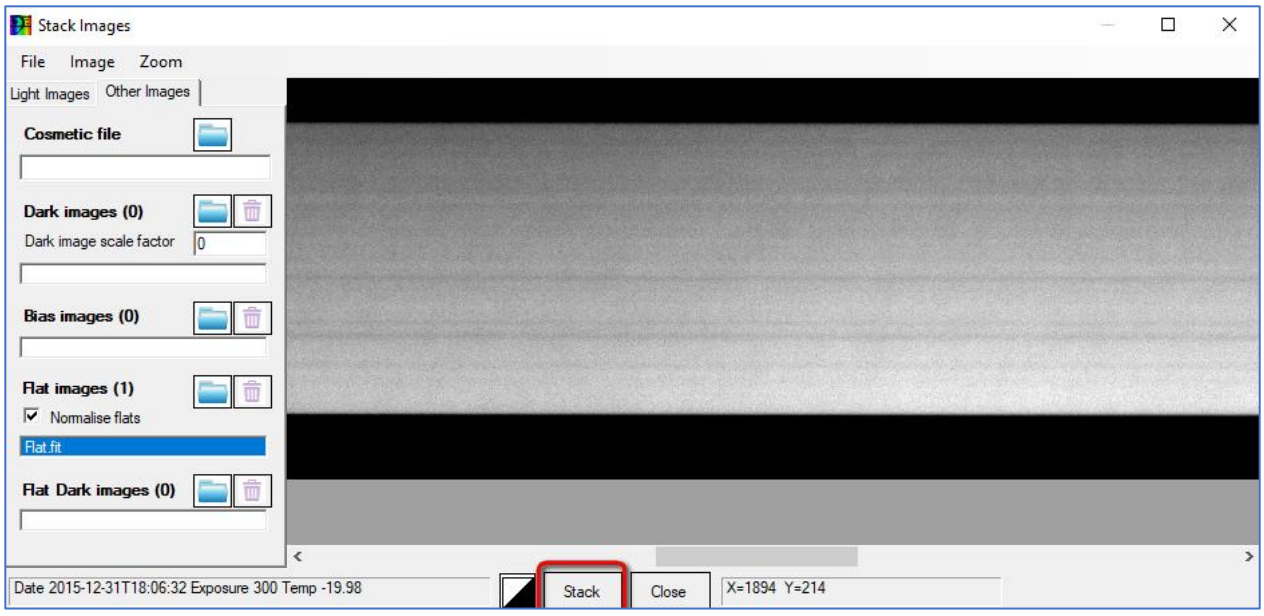




➔ Other Images auswählen: Flat.fit



➔ Stack



➔ Ergebnis: Summenbild von vier VV Cep-Spektren, mit Flatfieldkorrektur, aber ohne Subtraktion des Himmelshintergrundes

➔ Image Strip View -> Raw Image 50%

➔ Speichern des Projekts unter dem Namen C*:/astrobodger/VV Cep/2015-12-31/VV Cep.bass*

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. Die Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Pixelposition (x) und Wellenlänge (λ) in Form eines Polynoms höheren Grades λ=f(x) bezeichnet man als *Wellenlängenkalibrierung.*

Die y-Achse („Flux“) gibt die Intensität an einer bestimmten Pixelposition im 1D-Spektralprofil an. Diese Intensitätskurve wird in diesem Tutorial kalibriert: Beseitigung des Pseudokontinuums (Normierung auf „1“).

5. Voreinstellungen vornehmen

➔ Project Chart Settings: Hier alle Daten eingeben.

➔ Main Title und Sub Title speichern

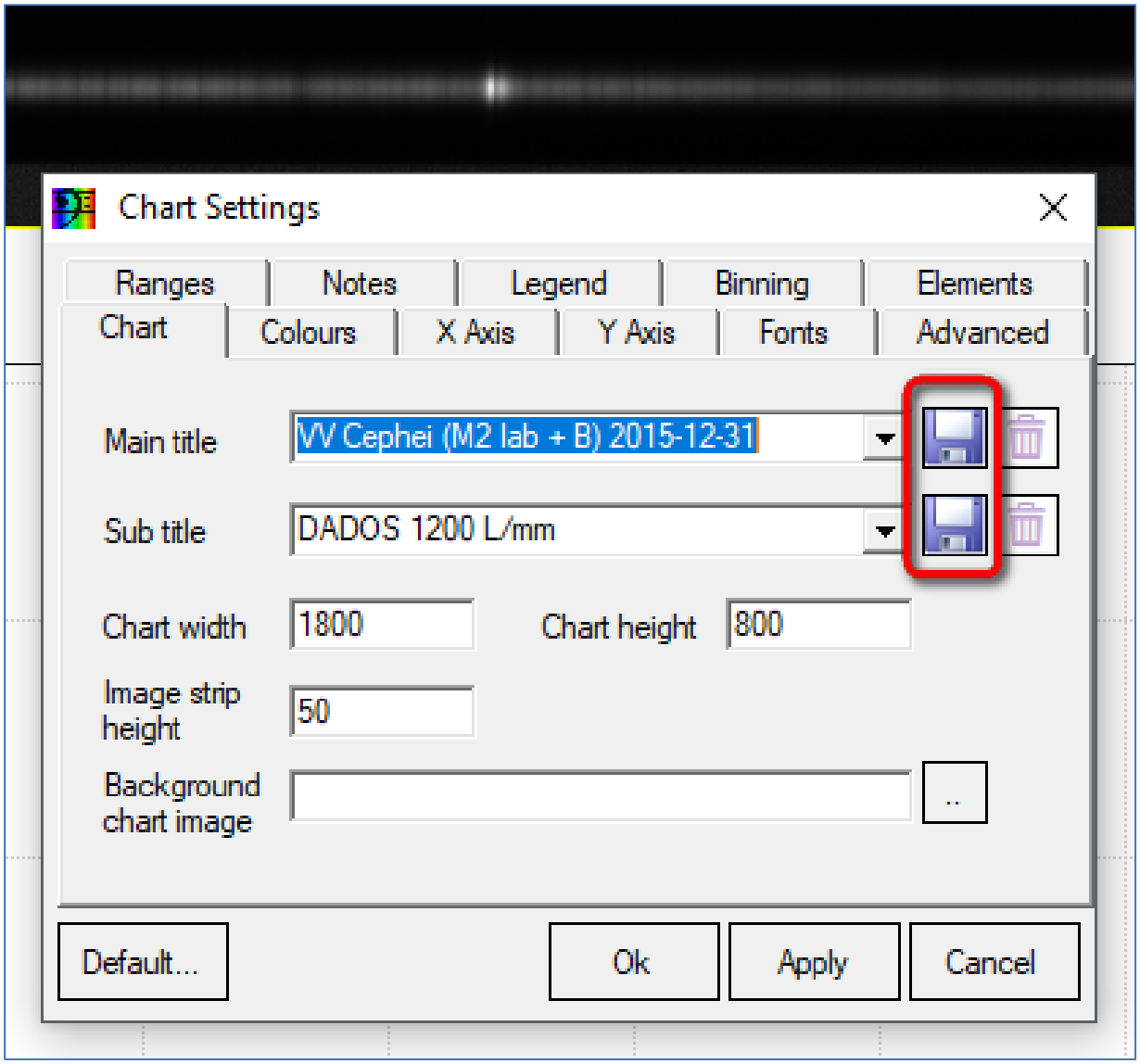
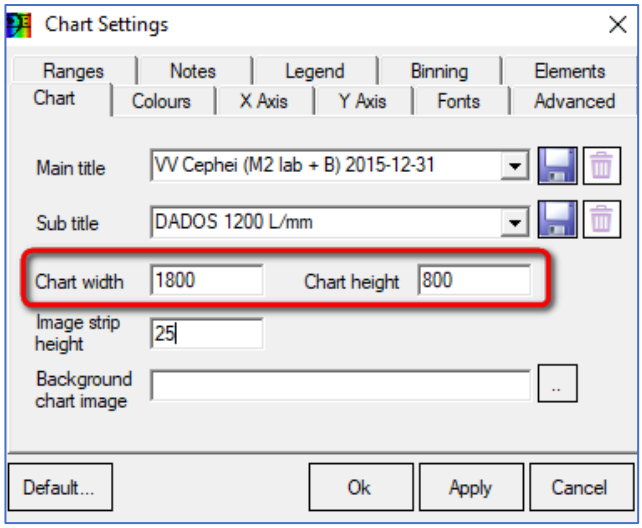
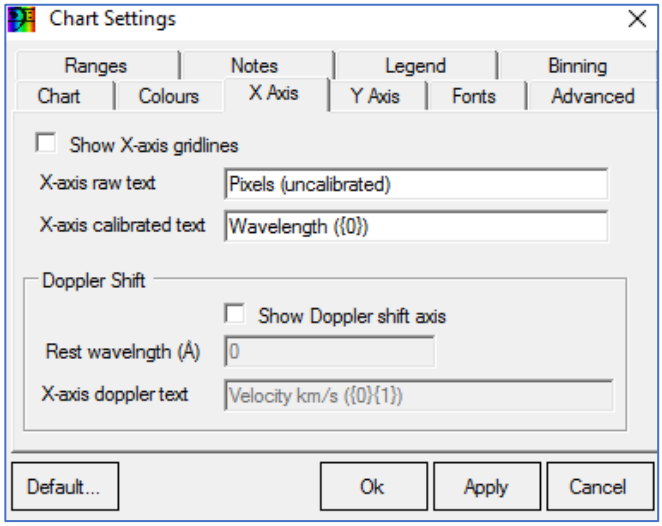
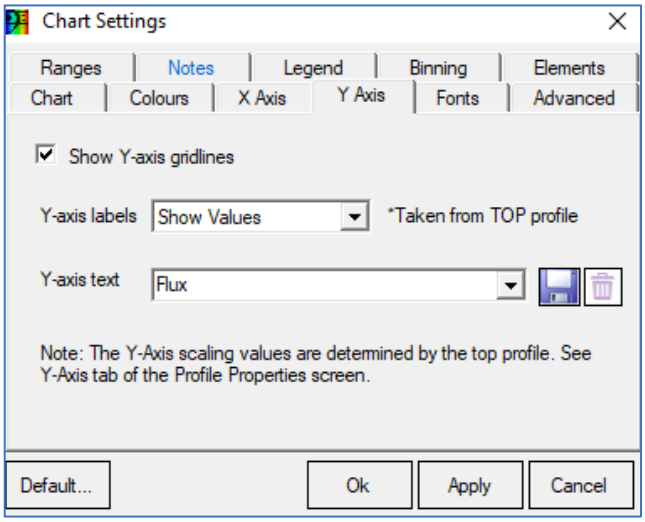
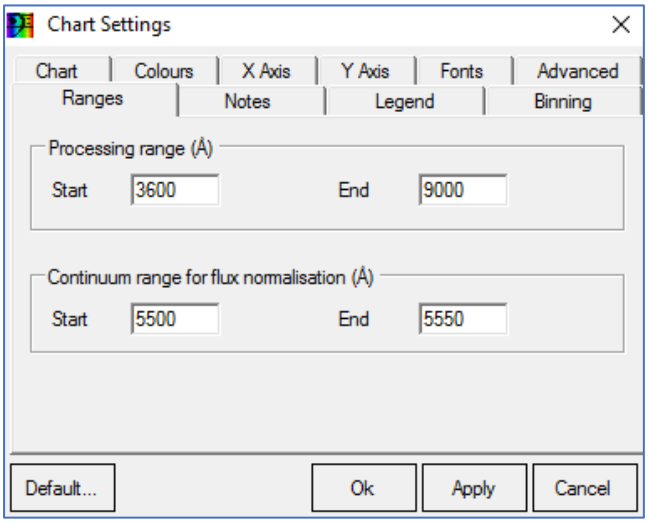


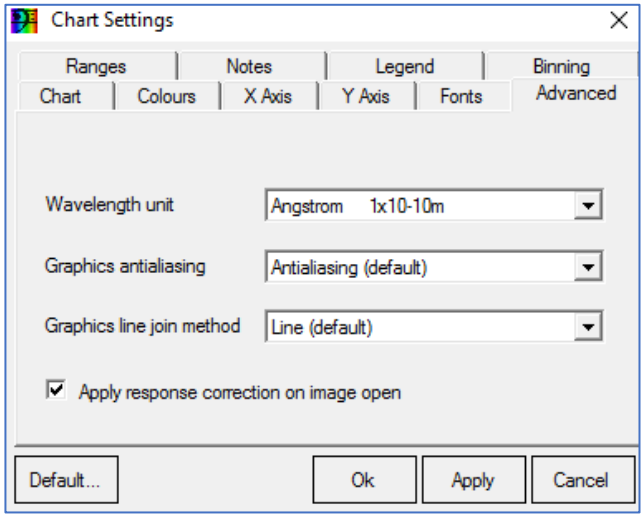
Chart width: CFG-Medion-Notebooks ca. 1150 / Chart height: 450 (hängt von der Größe des Bildschirms ab)











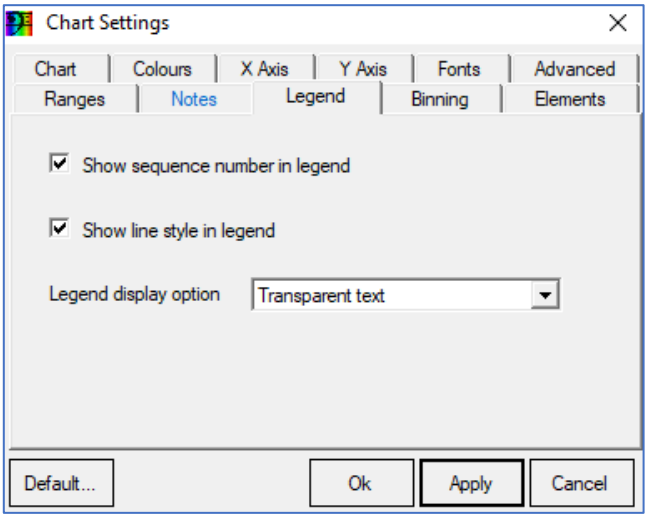
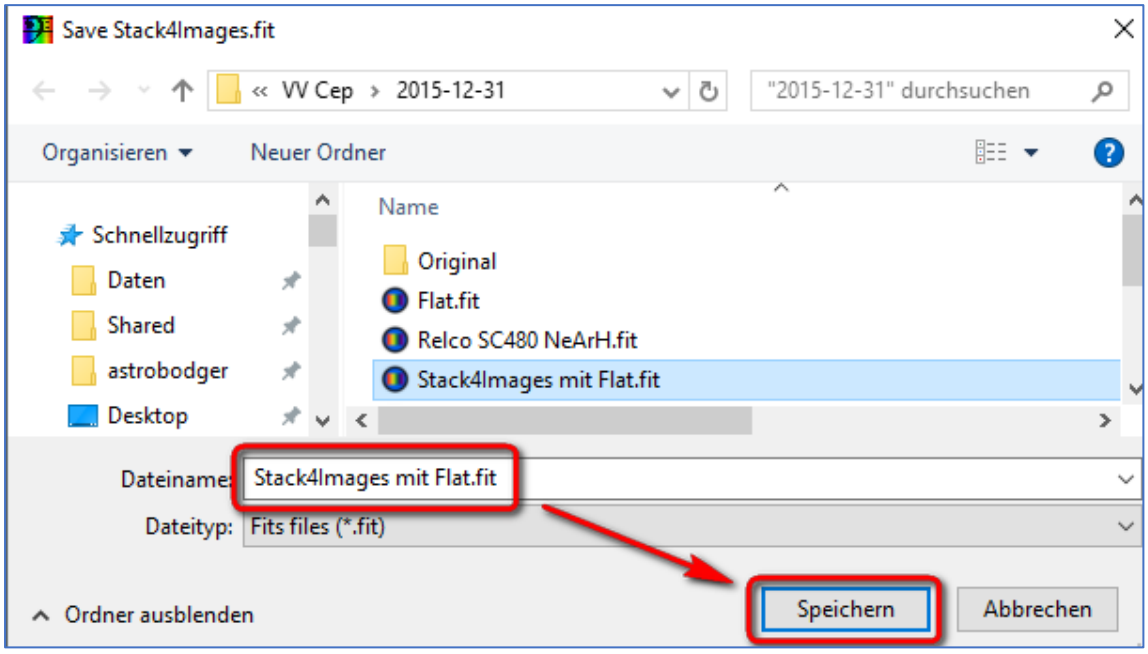


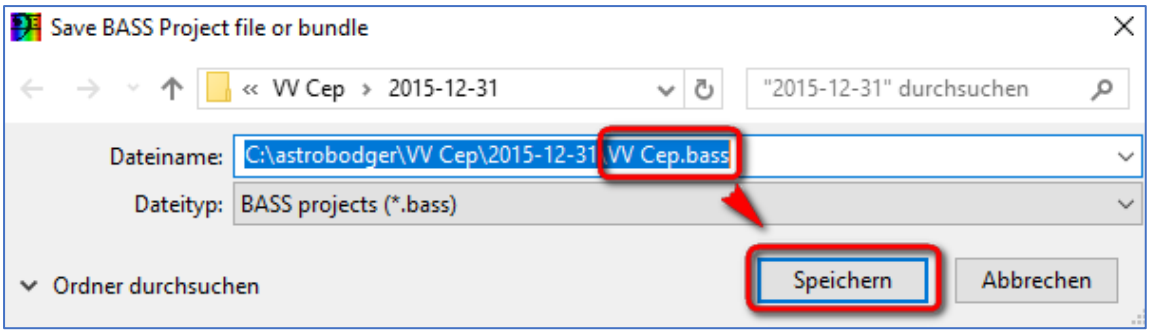
Chart width: CFG Medion-Notebooks ca. 1150 / Chart height: 450 (hängt von der Größe des Bildschirms ab)

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

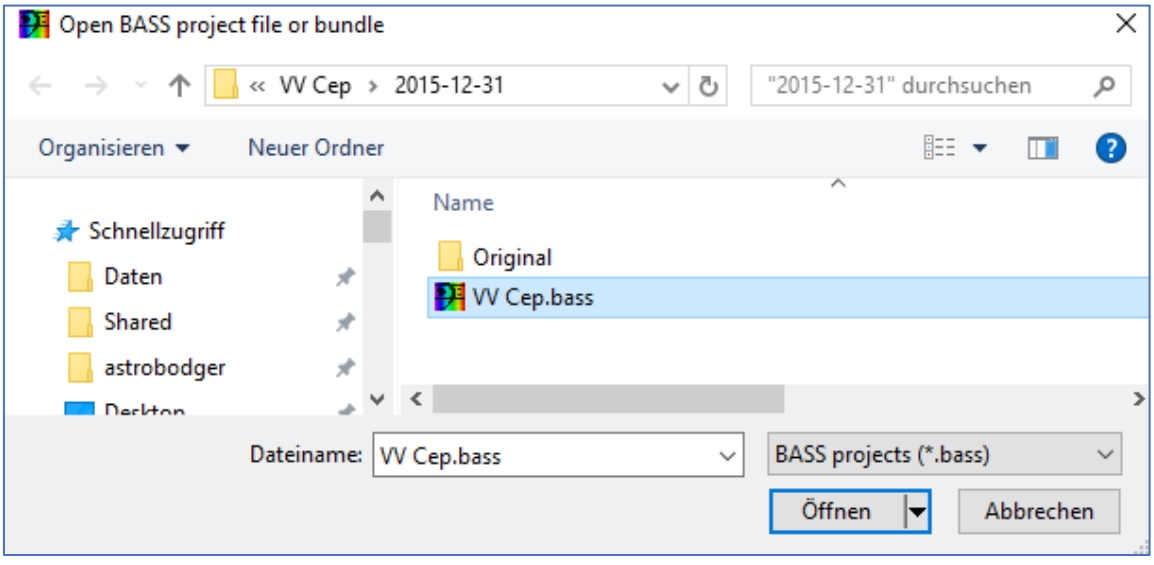
➔ Speichern des gestackten Bildes: C:/*astrobodger/VV Cep/2015-12-31/VV Cep.fit*



➔ Speichern des Projekts unter dem Namen C:/*astrobodger/VV Cep/2015-12-31/VV Cep.bass*



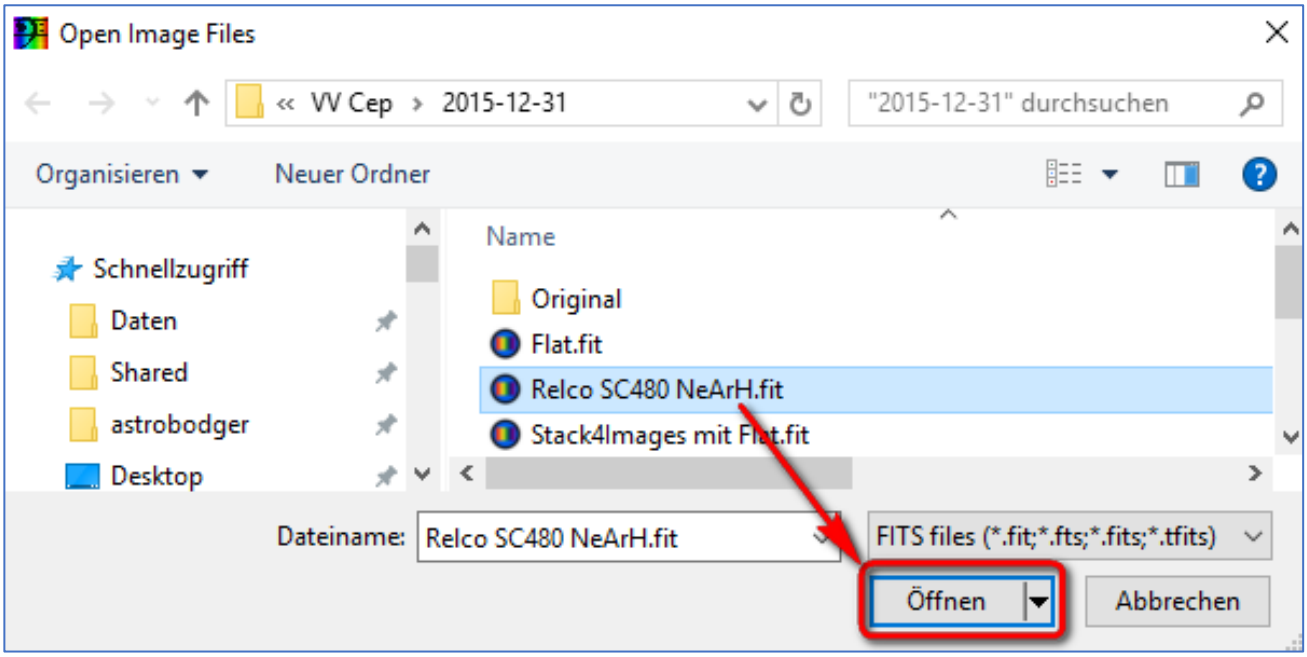
➔ Prüfen, ob Projekt korrekt gespeichert ist: New Projekt ➔Open Project



6. Referenzspektrum öffnen

➔ Open Image Files

➔ *Relco SC480 NeArH.fit*

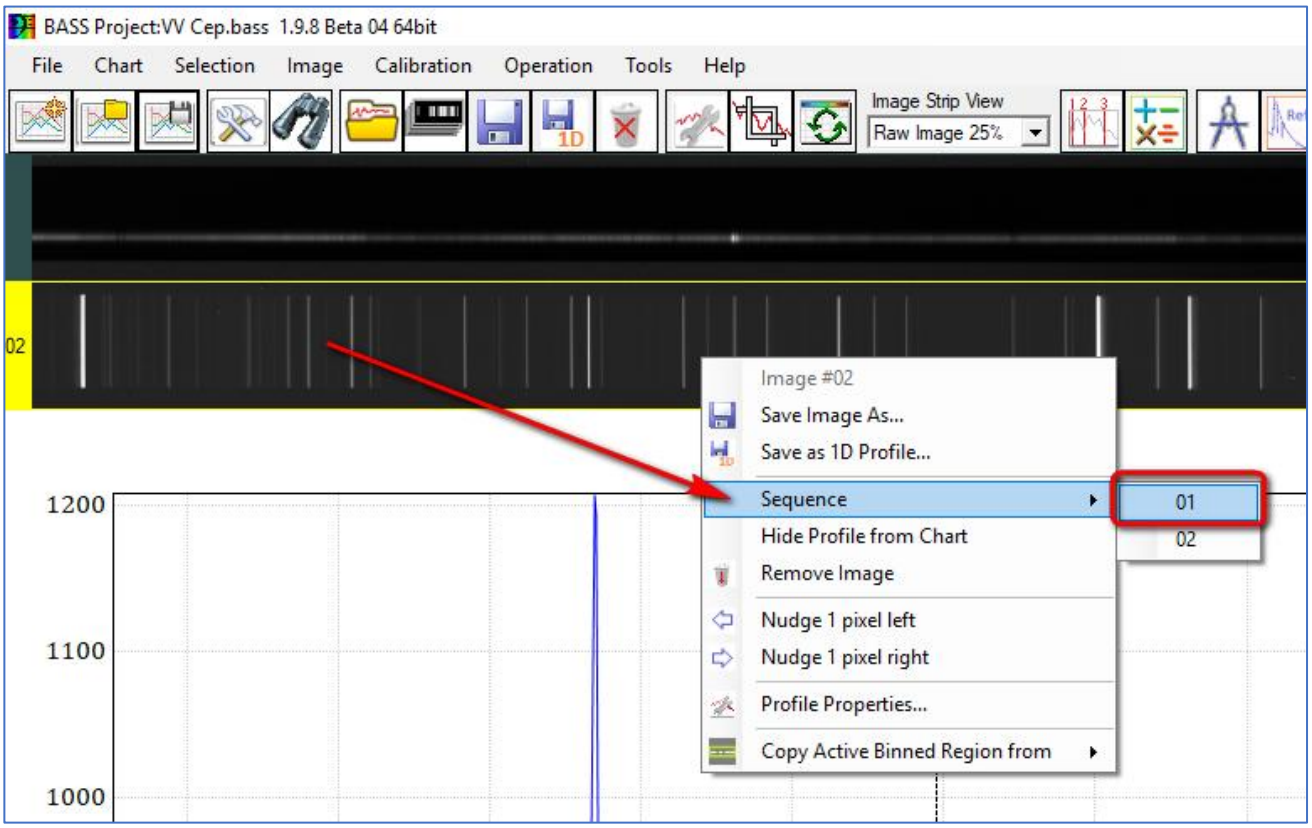


#01 (Blau): Spektrum VV Cep, #02 (Grün): Referenzspektrum der NeArH-Lampe Relco SC480.

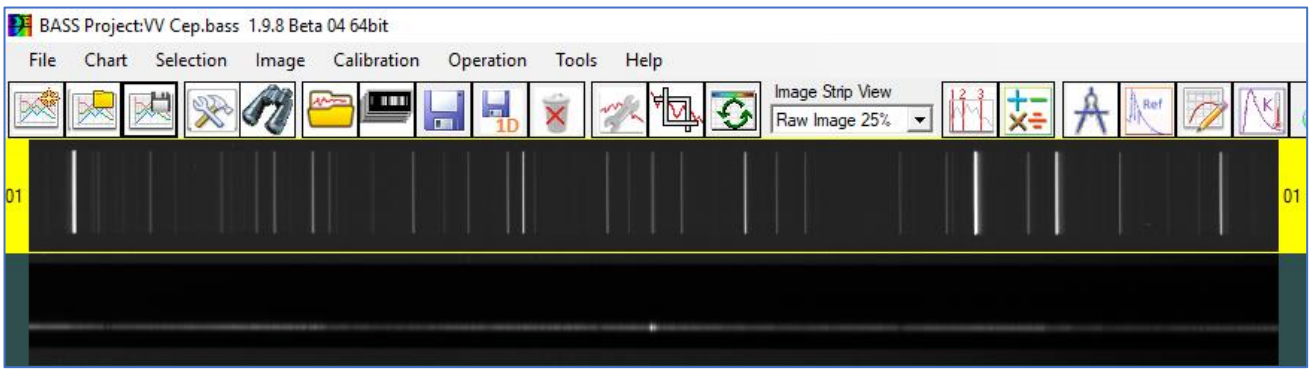
➔ Speichern des Projekts unter dem Namen C*:/astrobodger/VV Cep/2015-12-31/VV Cep.bass*

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

➔ #02 aktivieren ➔ Rechte Maustaste Sequence ➔ 01



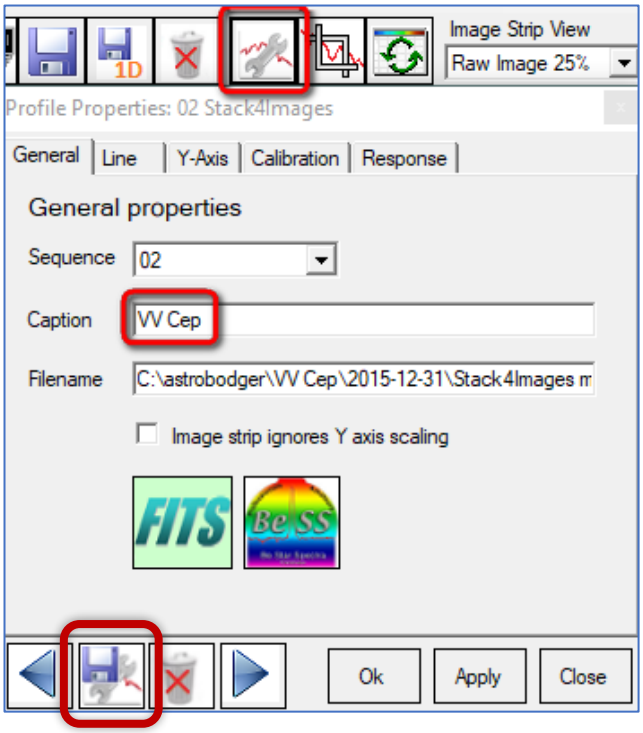
Nach dem Tausch der Position ist dies die neue Reihenfolge:

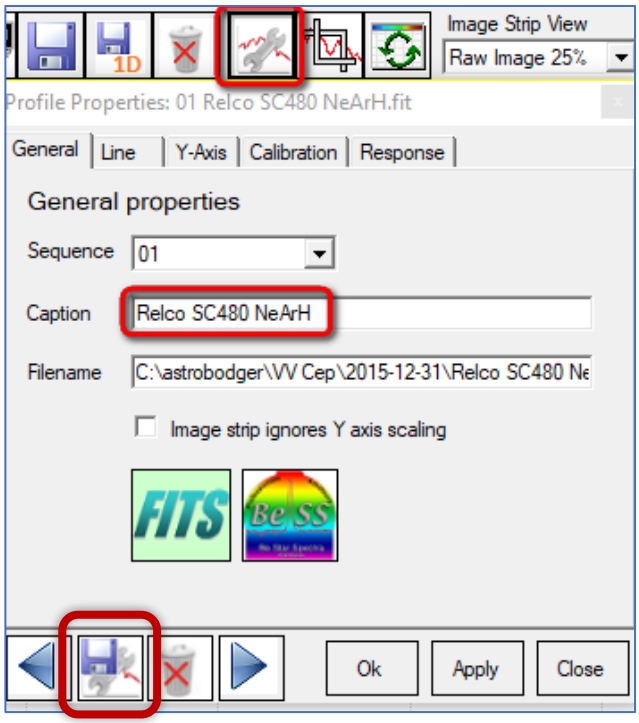


7. Sternspektrum und Referenzspektrum horizontal ausrichten.

Zuerst werden die Captions (Namen) der Scans geändert

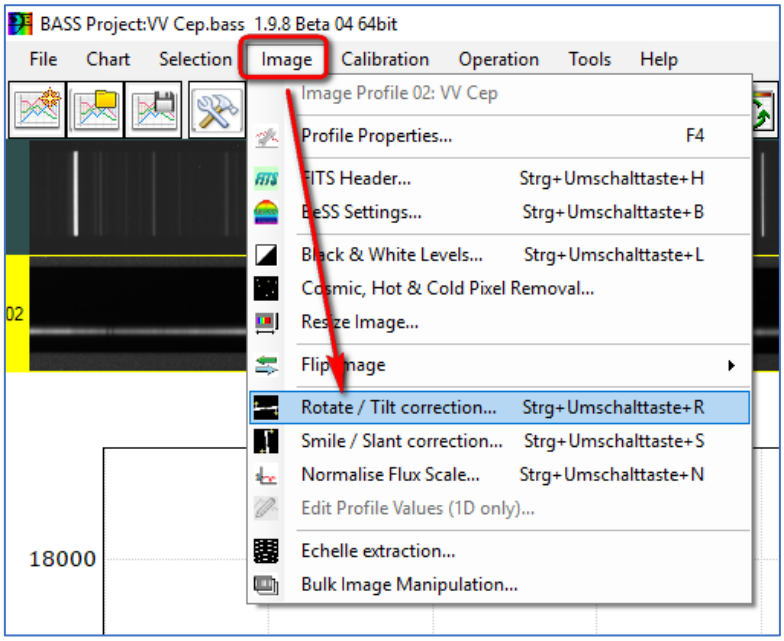
- ➔ *Relco SC480 NeArH.fit* umbenennen in *Relco SC480 NeArH*
- ➔ Spektrum *Stack4Images* umbenennen in *VV Cep*



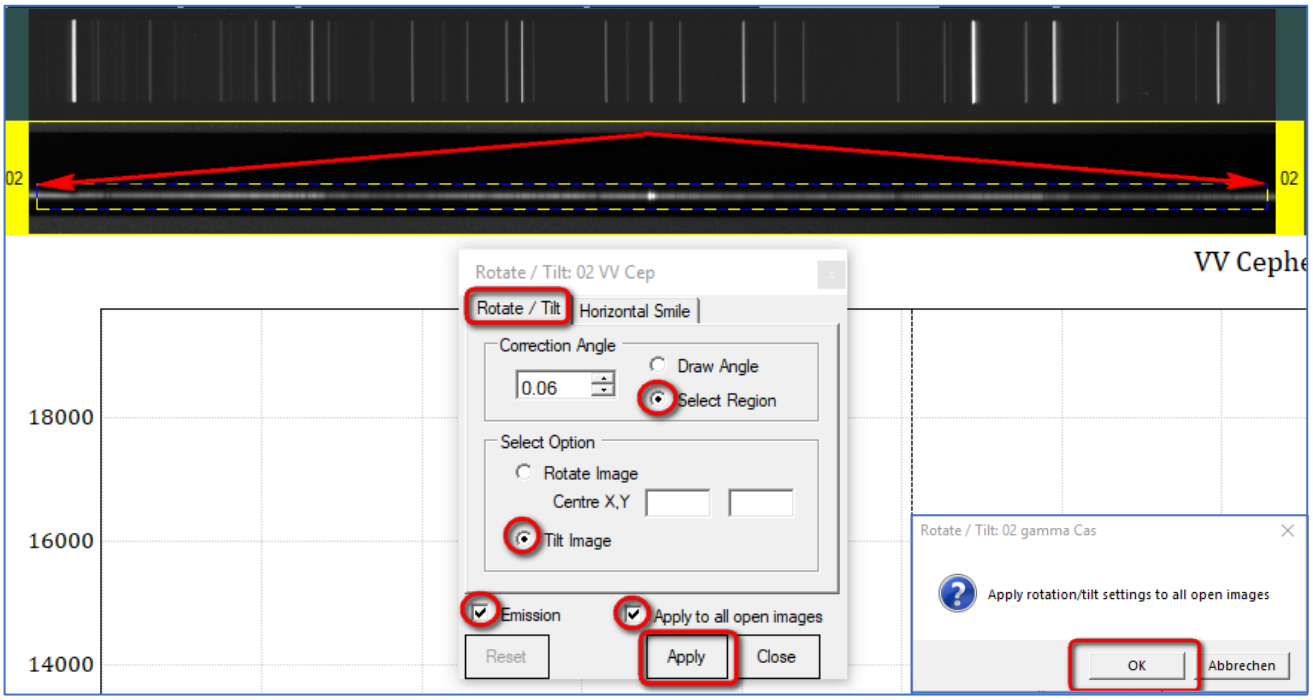


Rotate/Tilt correction

- ➔ Spektrum *02: VV Cep* aktivieren
- ➔ Image ➔ Rotate/Tilt correction



➔ Rotate/Tilt ➔ Select Region, Tilt Image, Emission, Apply to all open images wählen.
➔ Dann mit der Maus einen Rahmen aufziehen entlang des Spektrums.

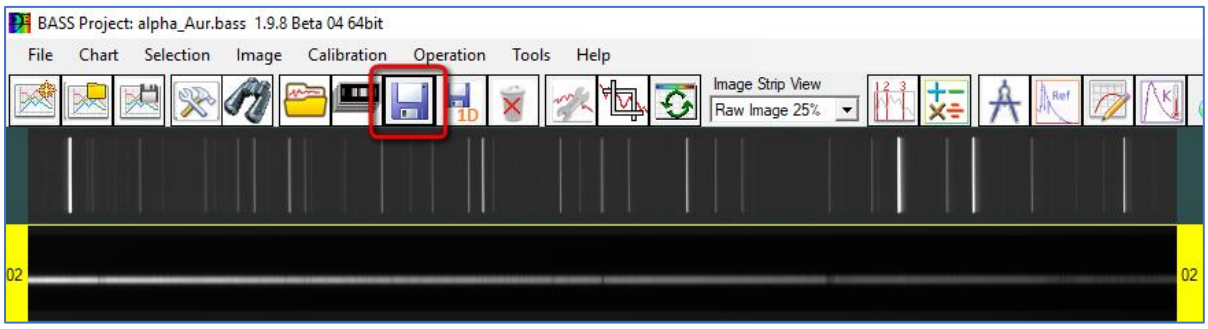


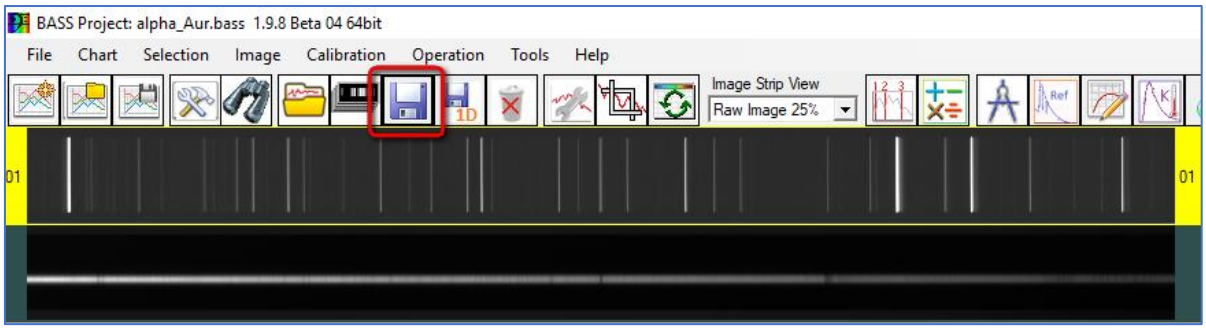
➔ Apply ➔ Close

Nun sind alle Spektren gleichermaßen um einen Winkel von 0.06° horizontal ausgerichtet.

Eine Smile/Slant-Korrektur wird hier nicht vorgenommen.

➔ Abspeichern gedrehten beiden Spektren: Save the selected image strip (selbe Namen)

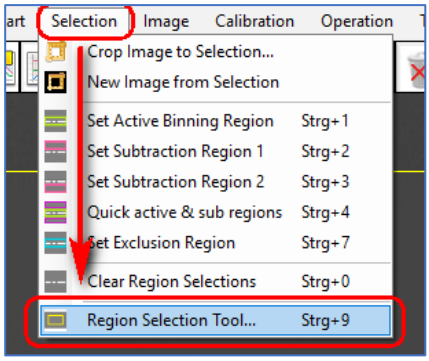




➔ Speichern des Projekts: Unter dem selben Namen *VV Cep.bass*

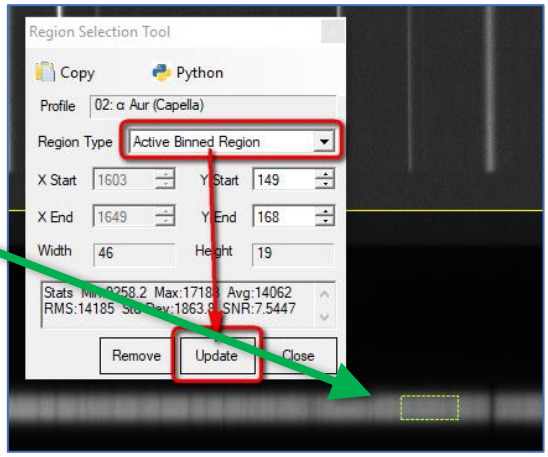
8. Auswahl des Scanbereichs für Spektrum und Himmelshintergrund

- ➔ Sternspektrum #02 auswählen
- ➔ Image Strip View: 100%
- ➔ Selection ➔ Region Selection Tool

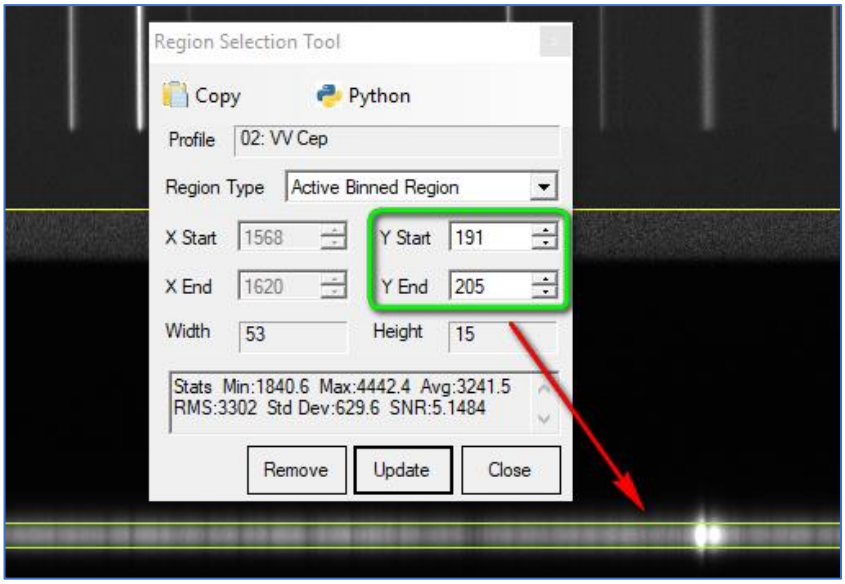


Es erscheint das Menüfenster Region Selection Tool.

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



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



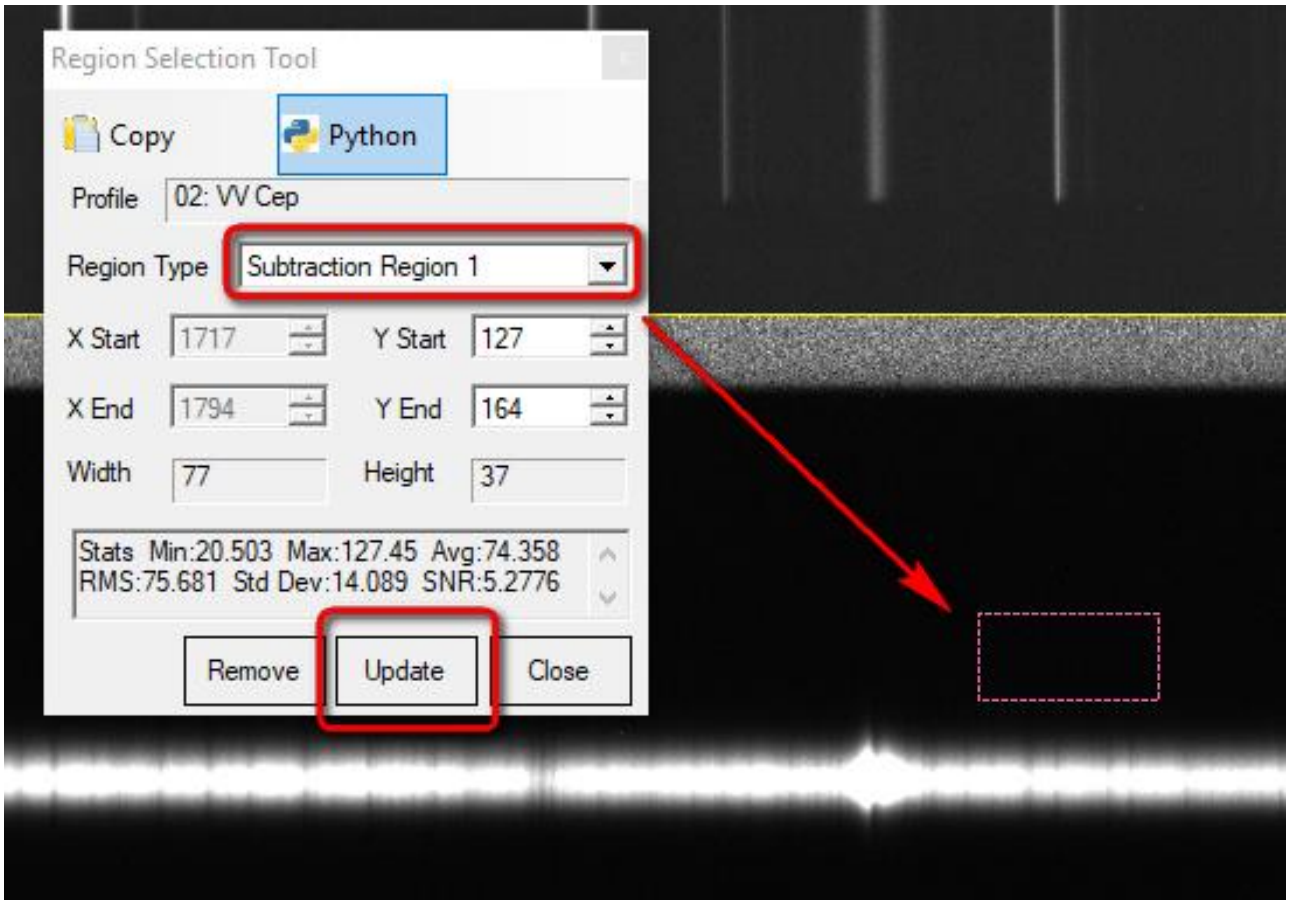
- ➔ Update ➔ Bildschirm-Refresh ➔ Close

Hinweis: Unklar ist, inwieweit die Statistik der aktiven Binning-Zone hinsichtlich der Erzielung eines optimalen SNR innerhalb des Scanbereichs verwendet werden kann.

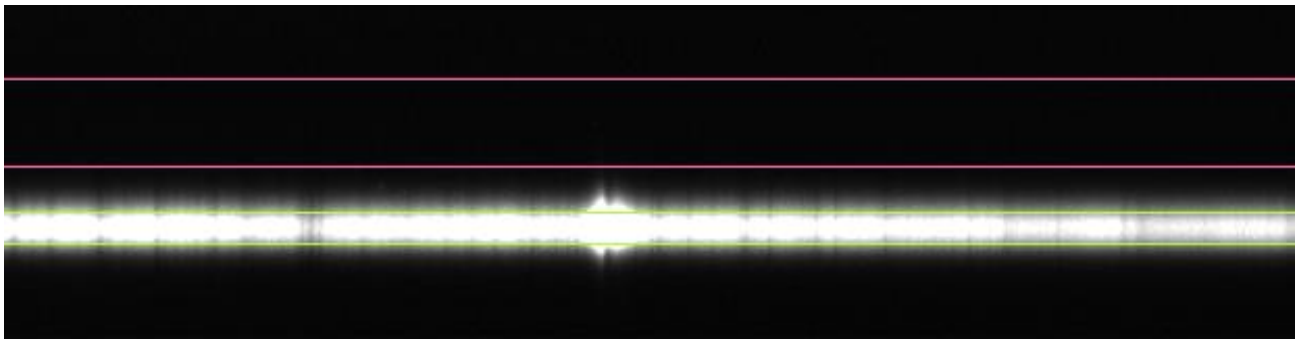
Nun werden die beiden Regionen für den Himmelshintergrund oben/unten definiert:

Manuelle Festlegung der beiden Himmelshintergrundbereiche oben/unten:

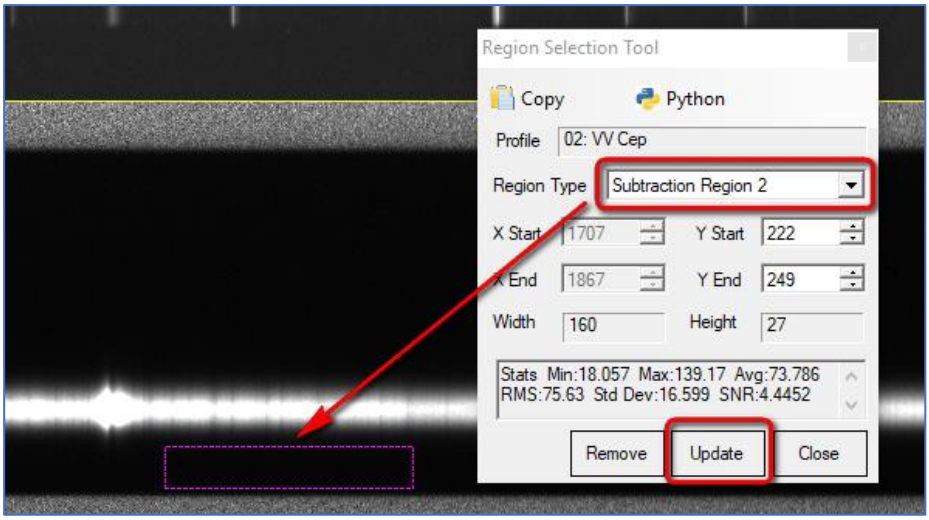
➔ Substraction Region 1 (für Himmel „oben“, also oberhalb des Sternspektrums)
➔ Rahmen aufziehen für Himmel „oben“



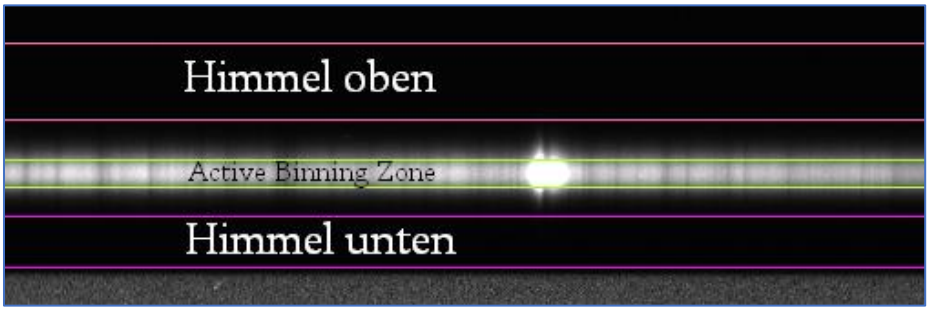
➔ Update. Der Rahmen wird automatisch über die ganze Breite aufgezogen.



➔ Substraction Region 2 (Himmel „unten“, also unterhalb des Sternspektrums)
➔ Rahmen aufziehen für Himmel „unten“



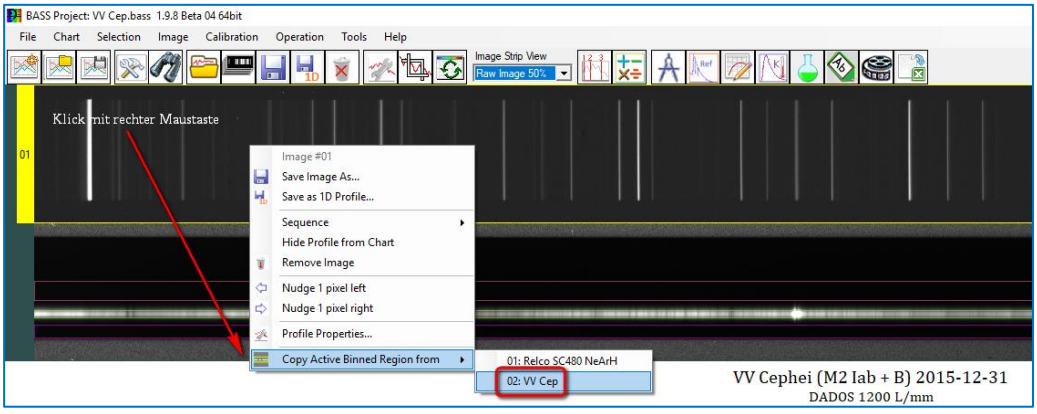
Und das ist das Ergebnis der Festlegung der Bereiche:



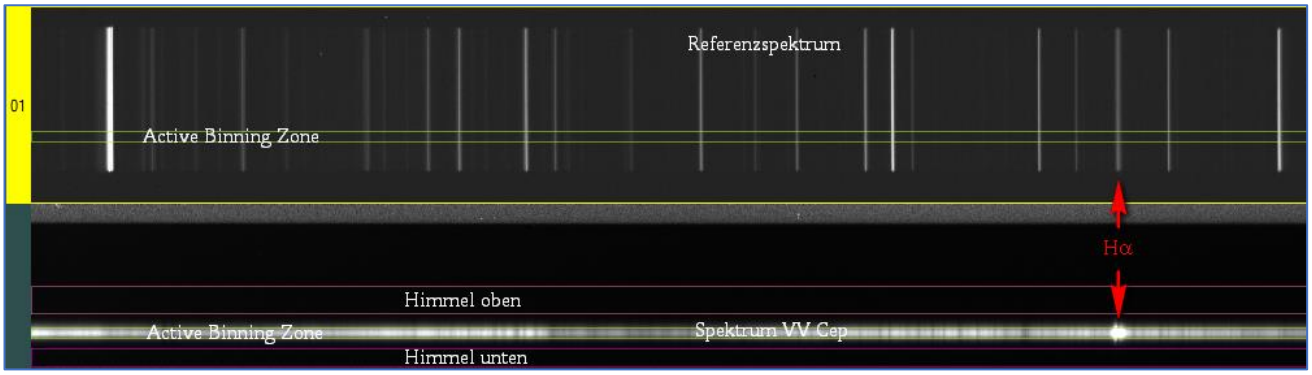
➔ Update ➔ Close
➔ Bildschirm-Refresh nicht vergessen!!

Nun wird NUR die „Active Binning Zone“, also der Bereich des Sternspektrums VV Ceps, der gescannt wird, auf das Referenzspektrum übertragen:

➔ Mit linker Maustaste in das Spektrum *01: Relco SC480 NeArH* aktivieren
➔ Mit rechter Maustaste in das Spektrum *01: Relco SC480 NeArH* klicken
➔ Copy Active Binned Region from
➔ *02: VV Cep*



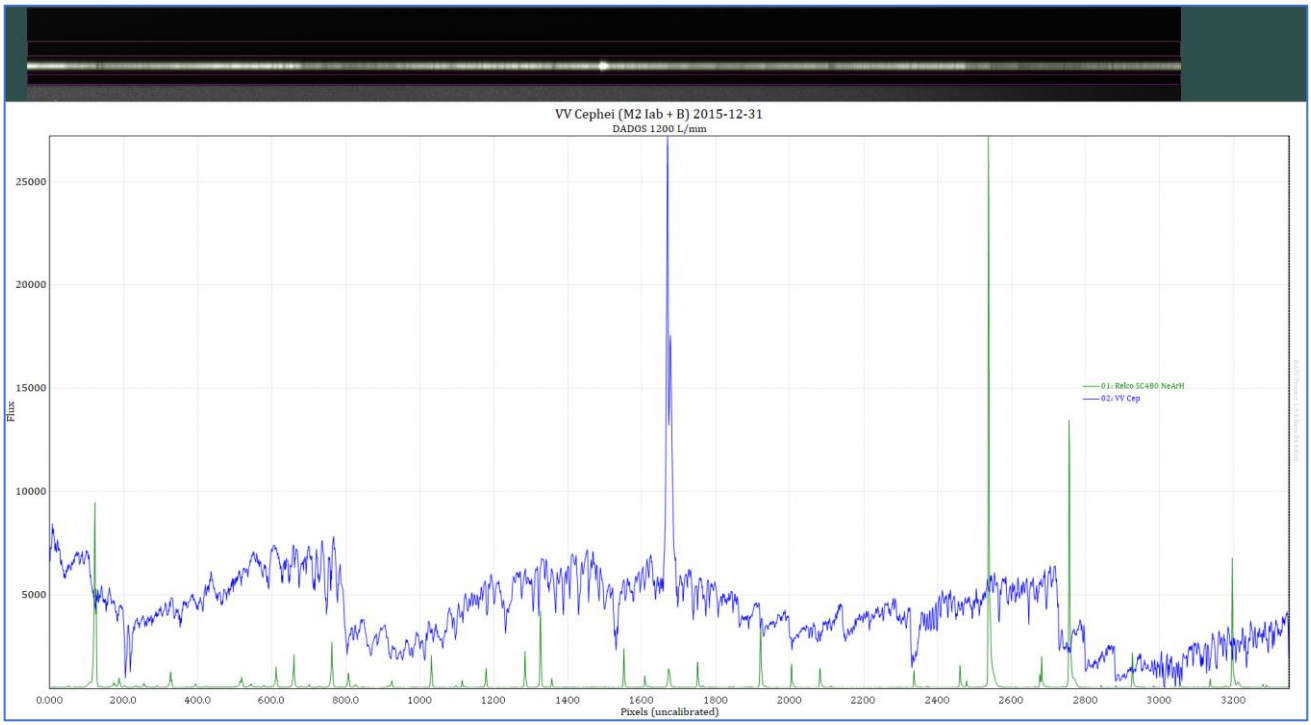
Ergebnis: Es sind alle benötigten Bereiche in beiden Spektren definiert:



➔ Speichern des Projekts unter dem selben Namen *VV Cep.bass*

Das blaue Spektrum von VV Cep ist das Resultat folgender Operation:

Intensität des Spektrums von VV Cep = Intensität der Active Binning-Zone – Intensität (Himmel oben + Himmel unten)/2

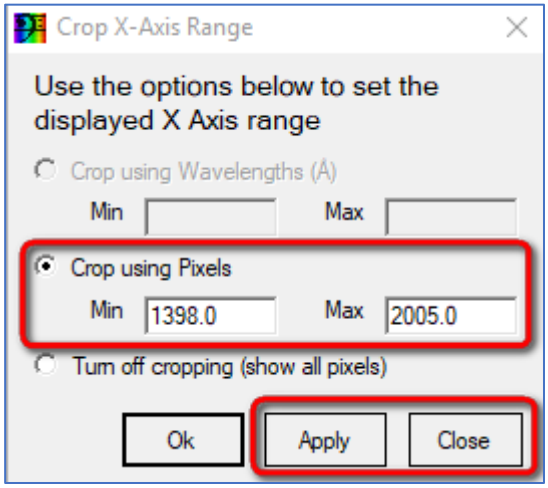


9. Einzelne Spektralbereiche genauer betrachten

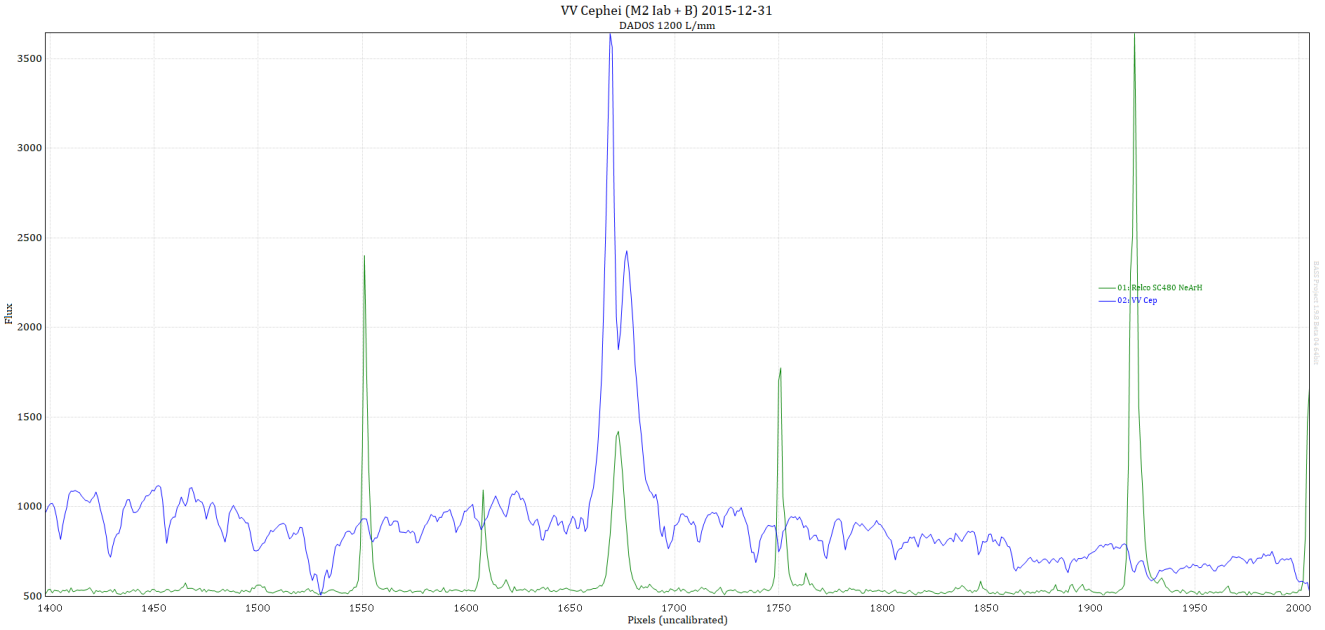
➔ Beispiel: Hα-Linie

➔ Ziehe mit der linken Maustaste einen Bereich von ca. 1400px bis 2600px auf

➔ Crop X-Axis Range



➔ Apply ➔ Close ➔ Ok

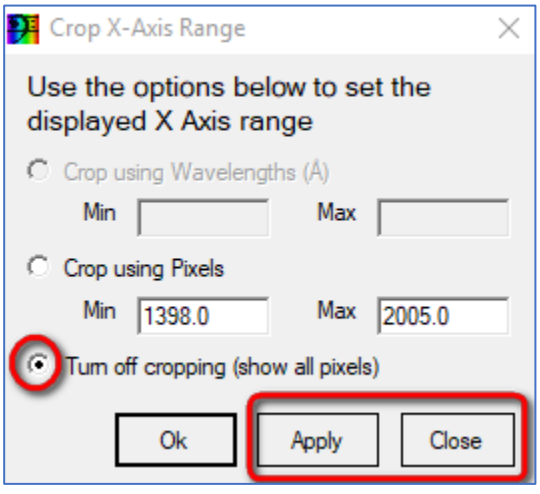


➔ Zurück zur Gesamtansicht

➔ Crop X-Axis Range

➔ Turn off cropping ➔ Apply ➔ Ok

➔ Projekt speichern

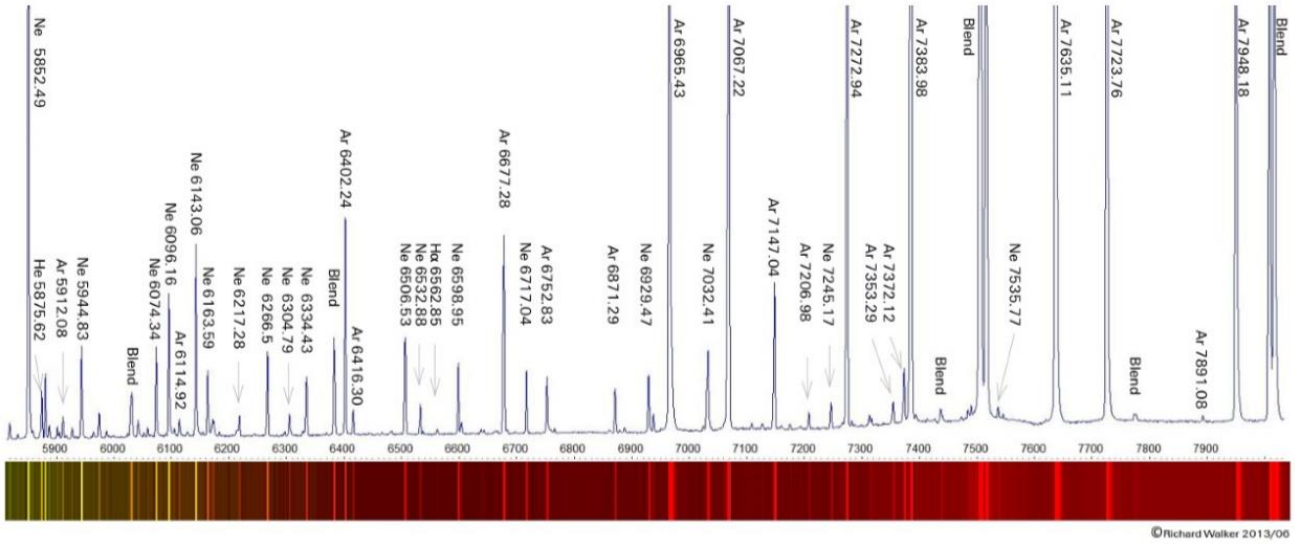


10. Wellenlängenkalibrierung

10.1 Das Spektrum der RELCO SC480 NeArH Referenz

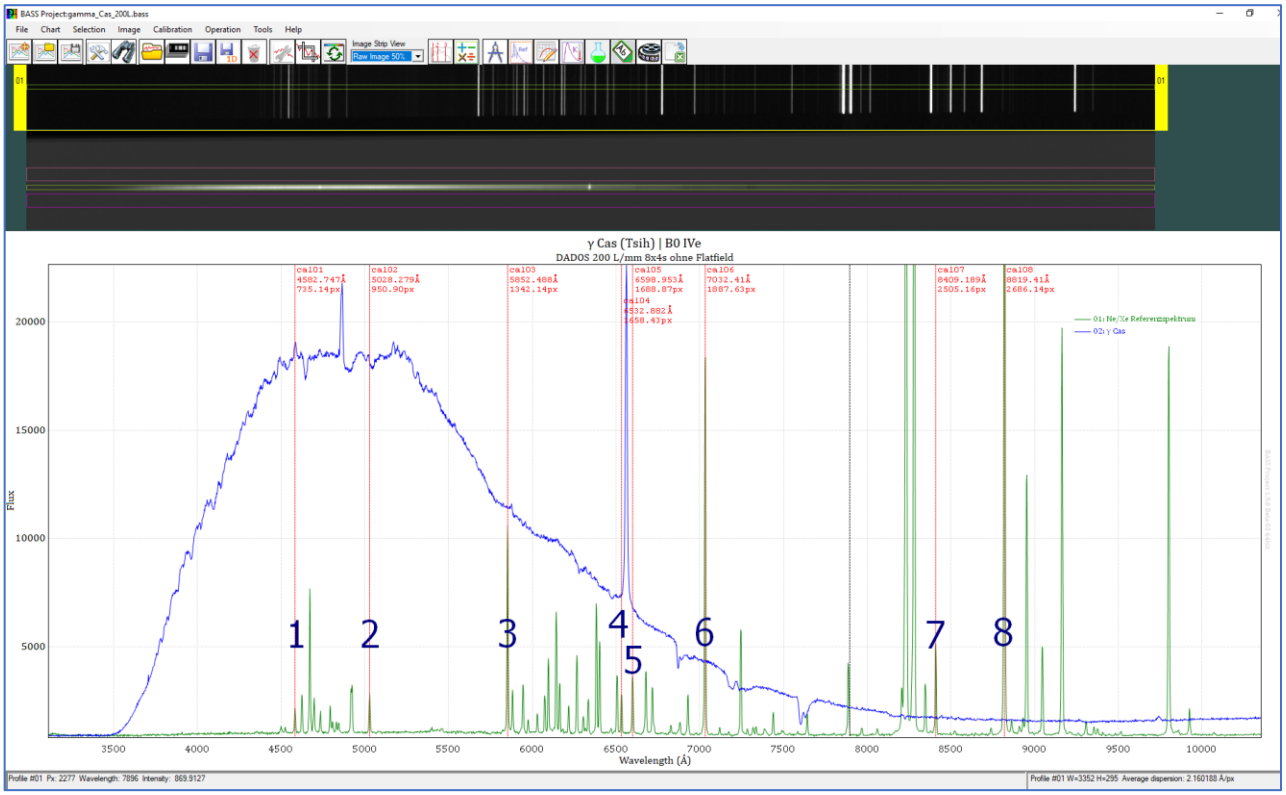
Die Wellenlängendatei befindet sich im Ordner *c:/astrobodger/Reference/RelcoSC480.dat*

Dieses beschriftete Spektrum ersetzen



10.2 Wellenlängenkalibrierung des Spektrums des Referenzspektrums

Dies sind die hier verwendeten acht Referenzlinien mit Ergebnis der Kalibrierung.



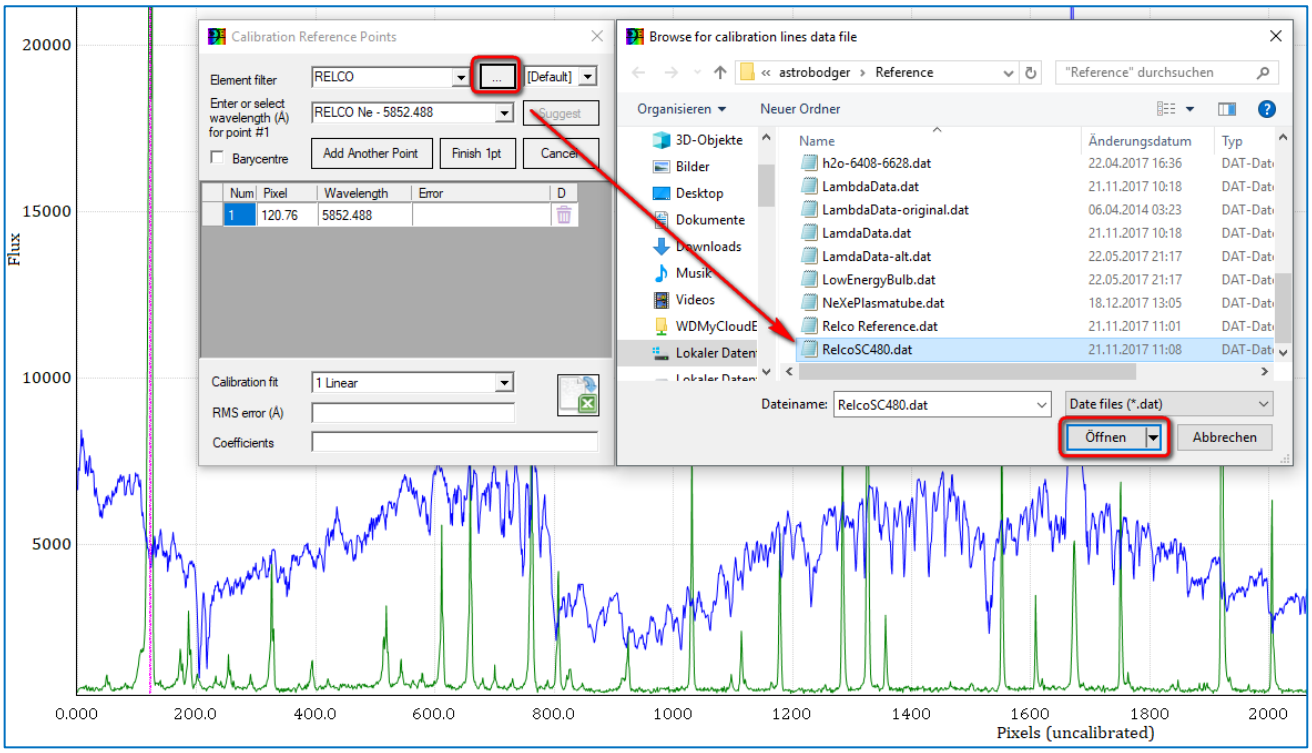
➔ 01: Relco SC480 NeArH-Referenzspektrum aktivieren

Profile Properties ➔ Y-Axis ➔ Automatic Scaling 500% ➔ Apply ➔ Ok

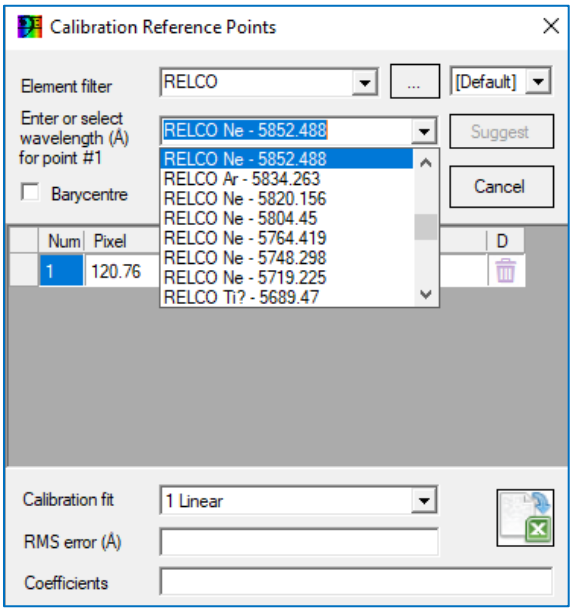
➔ Enter Line Calibration Mode

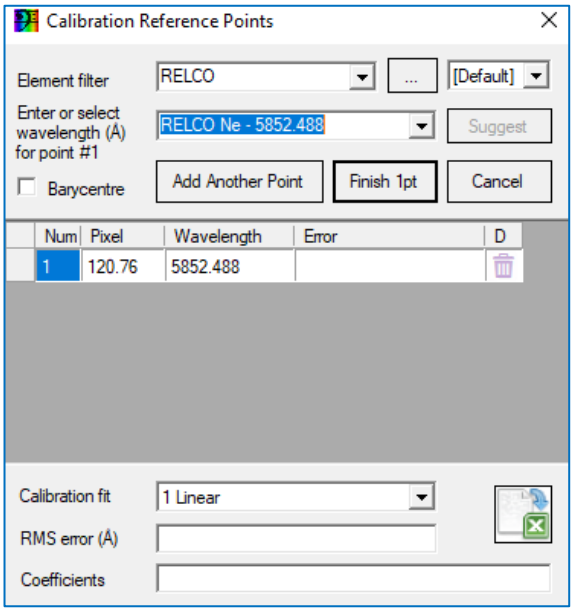
➔ Erste Referenzline 5852.488Å eng eingrenzen

➔ Element filter: RELCO

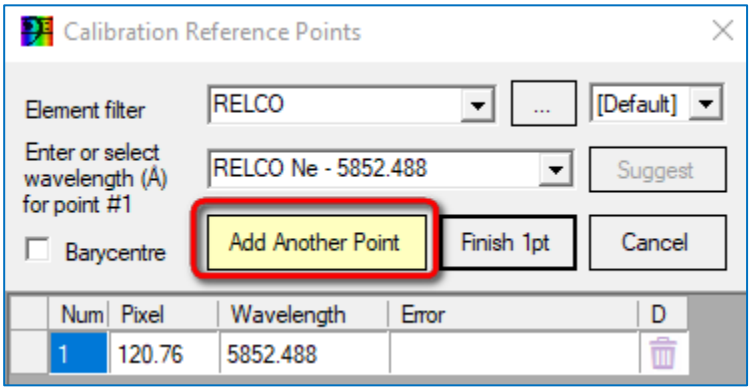


➔ Ne – 5852.488 wählen



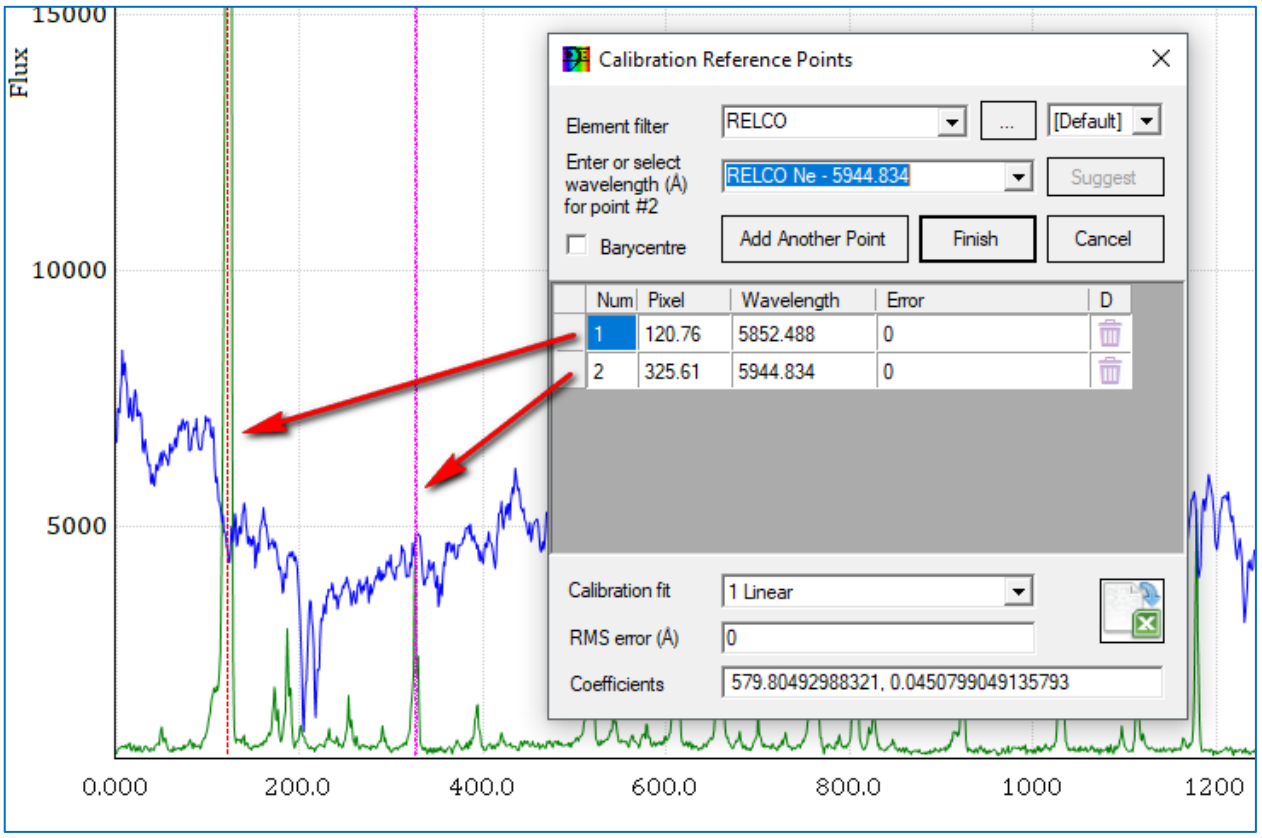


➔ Add Another Point

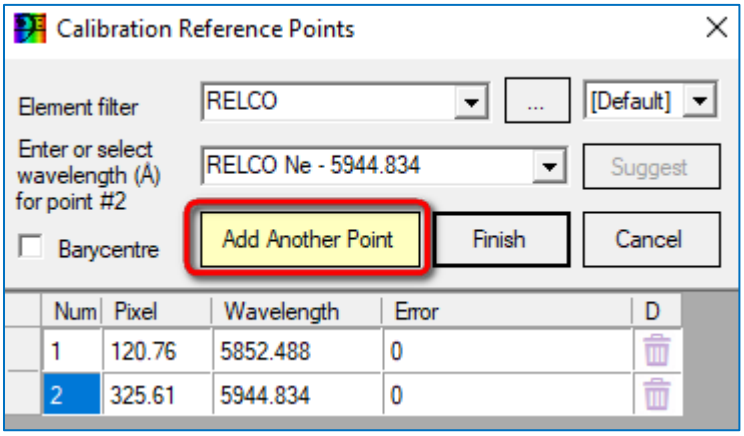


➔ Referenzline eng eingrenzen: 5944.834Å

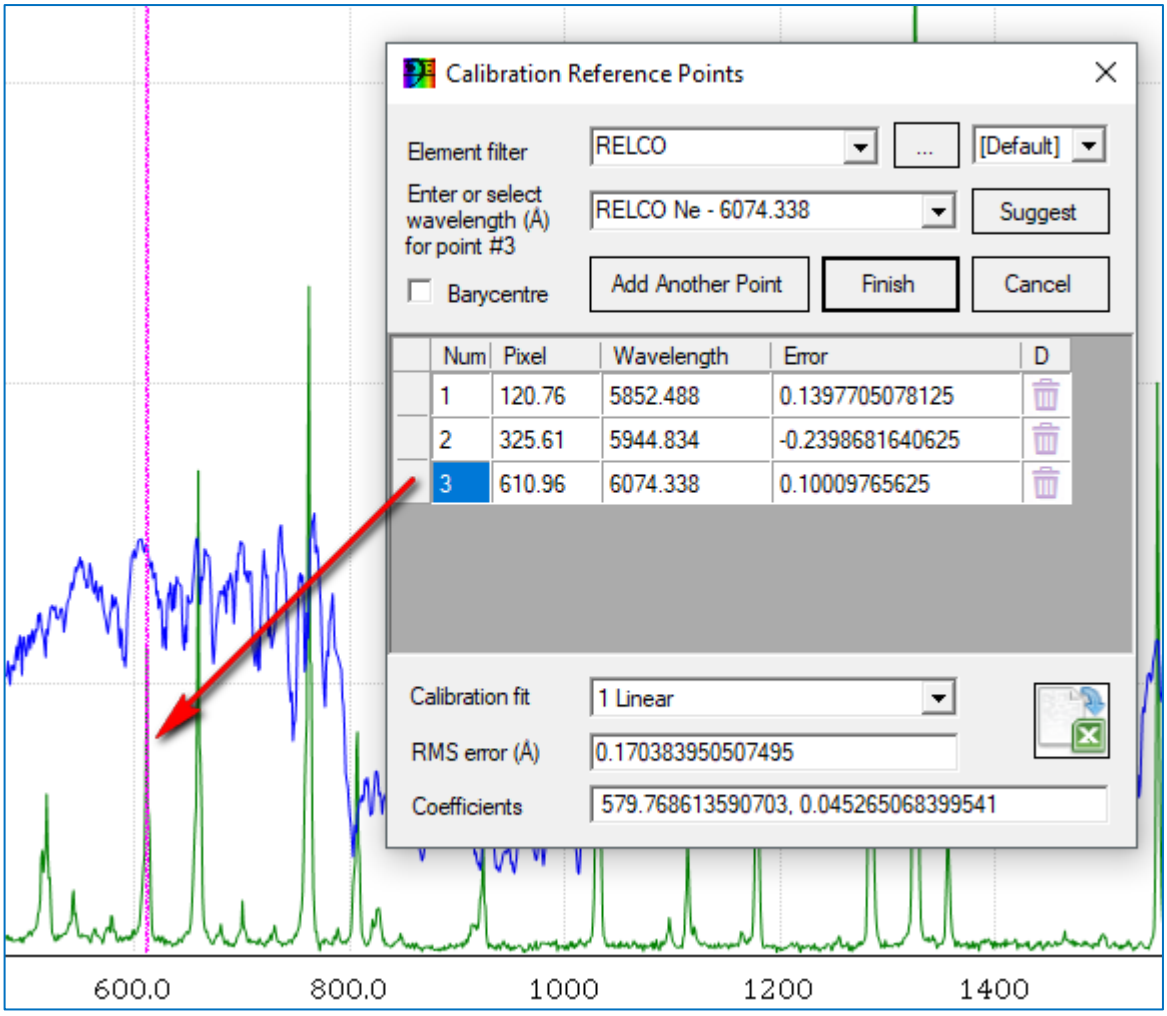
➔ Ne – 5944.834 wählen



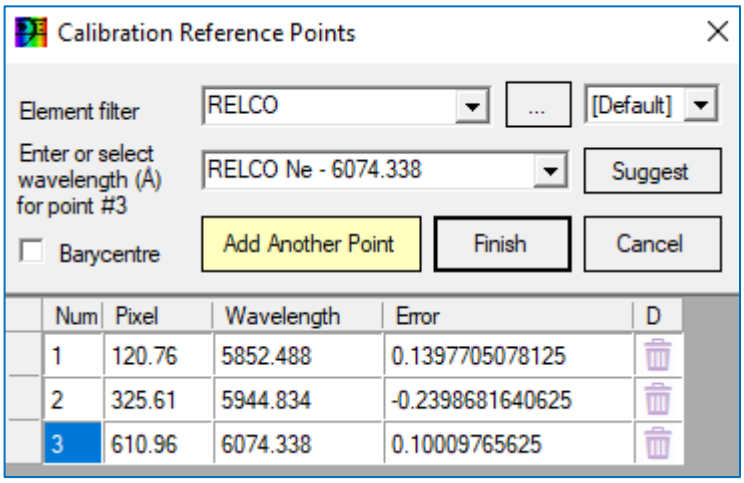
➔ Add Another Point



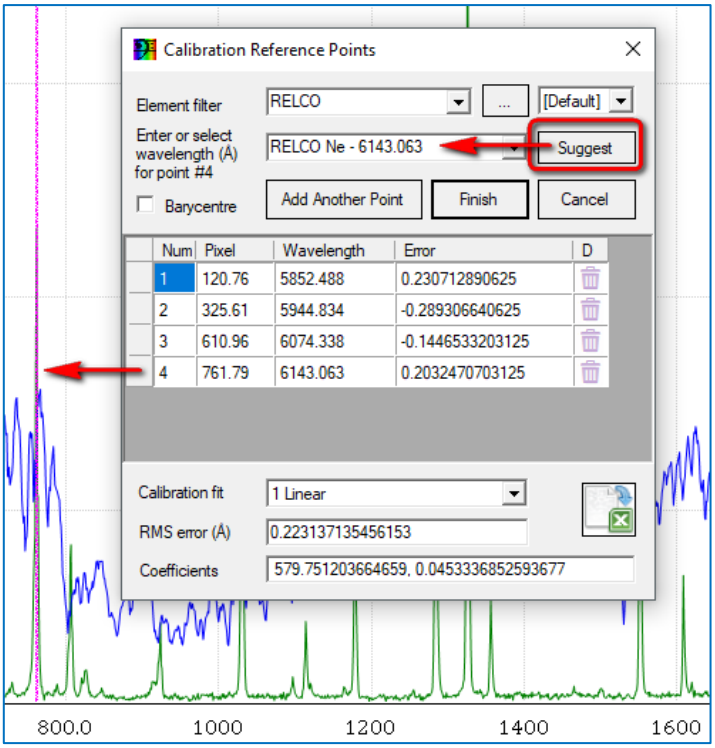
➔ Dritte Referenzline eng eingrenzen: 6074.338Å
➔ Ne – 6074.338 wählen

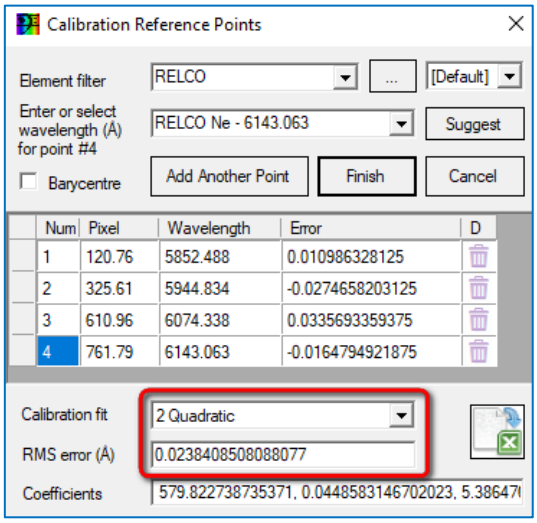


➔ Add Another Point



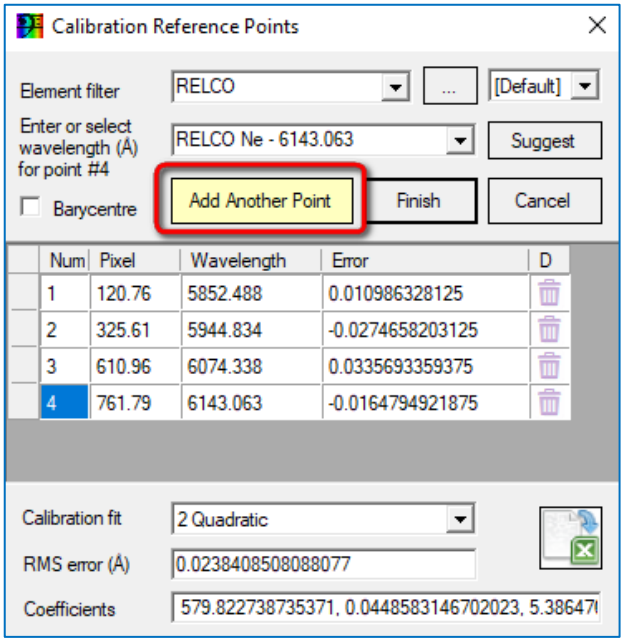
➔ Vierte Referenzline eng eingrenzen: 6143.063Å
➔ Suggest liefert: Ne – 6143.063



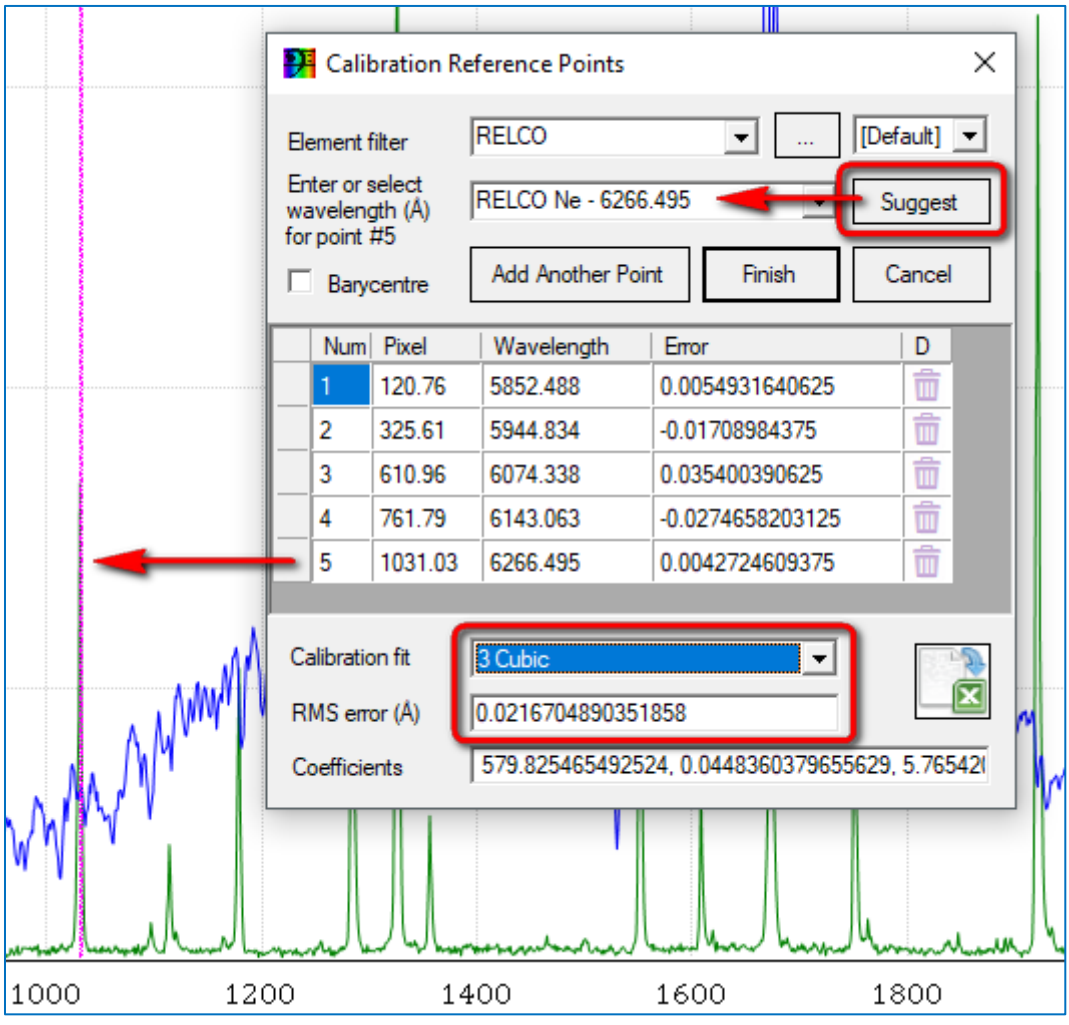


➔ Calibration fit umstellen auf *2 Quadratic* (Polynom zweiten Grades). Restfehler nun: 0.0238Å

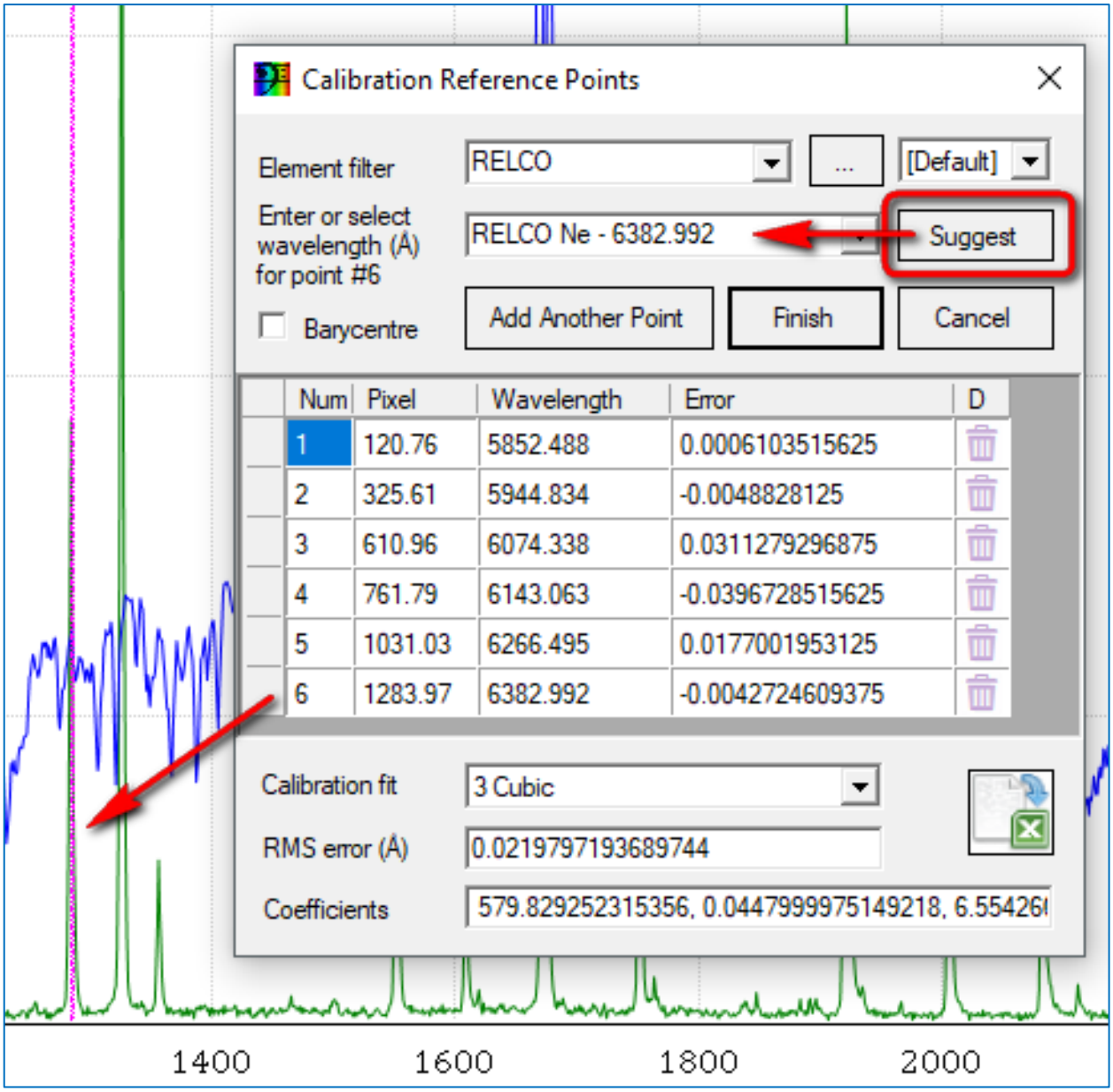
➔ Add Another Point



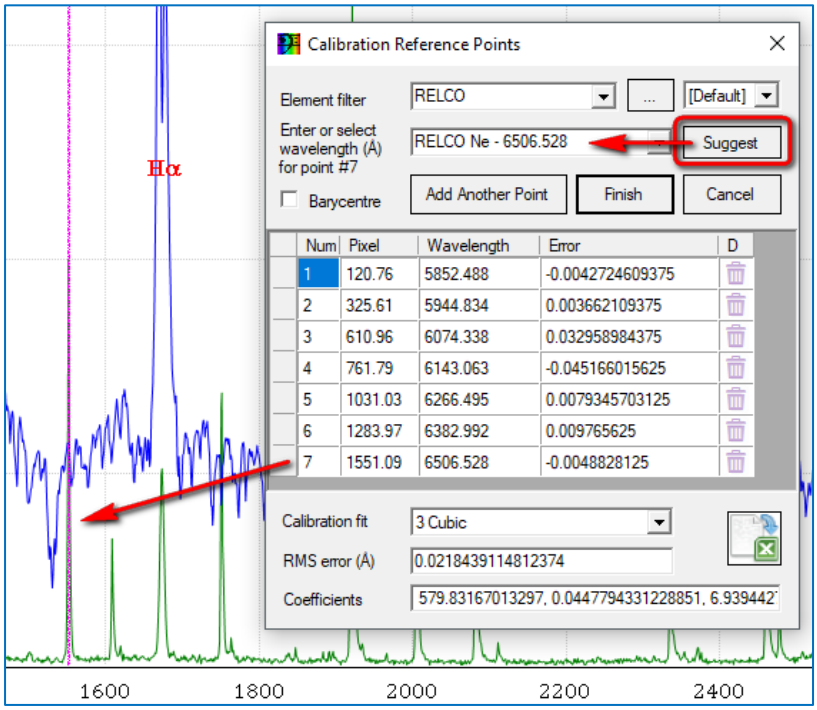
➔ Fünfte Referenzline eng eingrenzen: 6266.495Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6266.495 vor
➔ Calibration fit umstellen auf 3 Cubic (Polynom dritten Grades). Restfehler nun: 0.0216Å



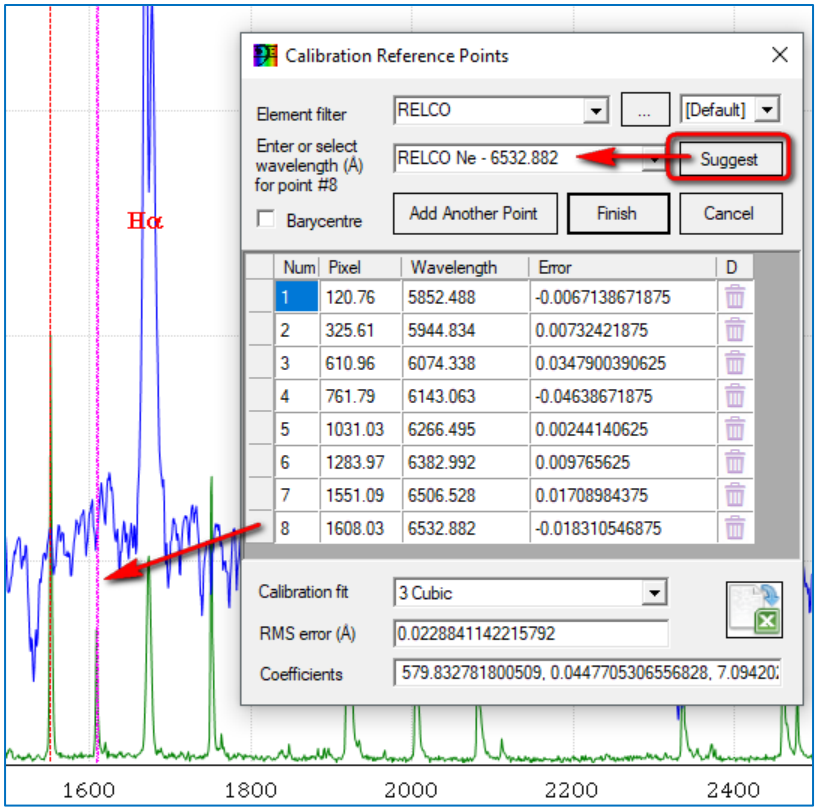
➔ Add Another Point
➔ Sechste Referenzline eng eingrenzen: 6382.992Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6382.992 vor
➔ Restfehler nun: 0.0219Å



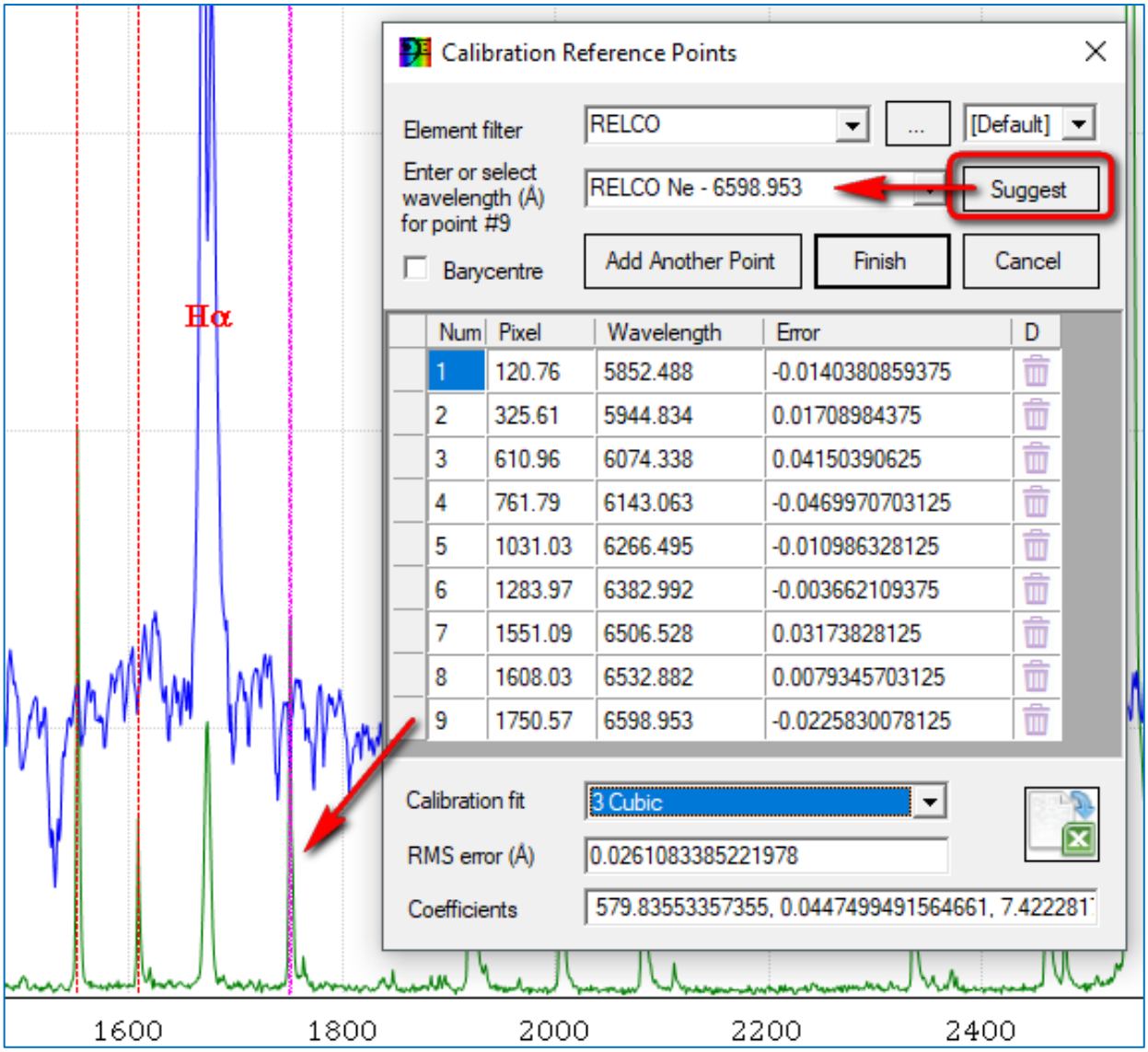
➔ Add Another Point
➔ Siebte Referenzline eng eingrenzen: 6506.528Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6506.528 vor
➔ Calibration fit umstellen auf 4 Polynomial (Polynom vierten Grades). Restfehler nun: 0.024Å



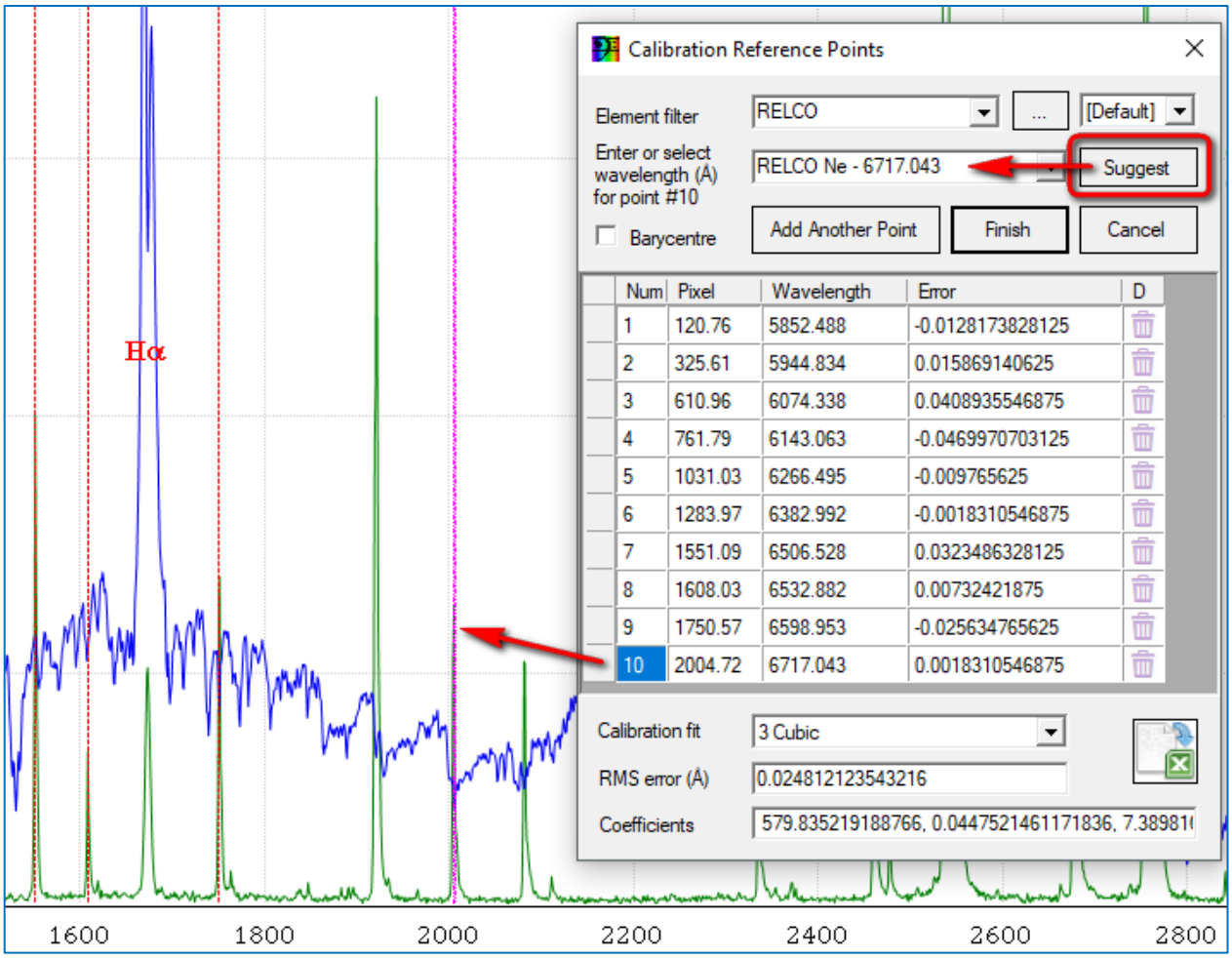
➔ Add Another Point
➔ Achte Referenzline eng eingrenzen: 6532.882Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6532.882 vor
➔ Calibration fit mit 4 Polynominal (Polynom vierten Grades). Restfehler nun: 0.026Å



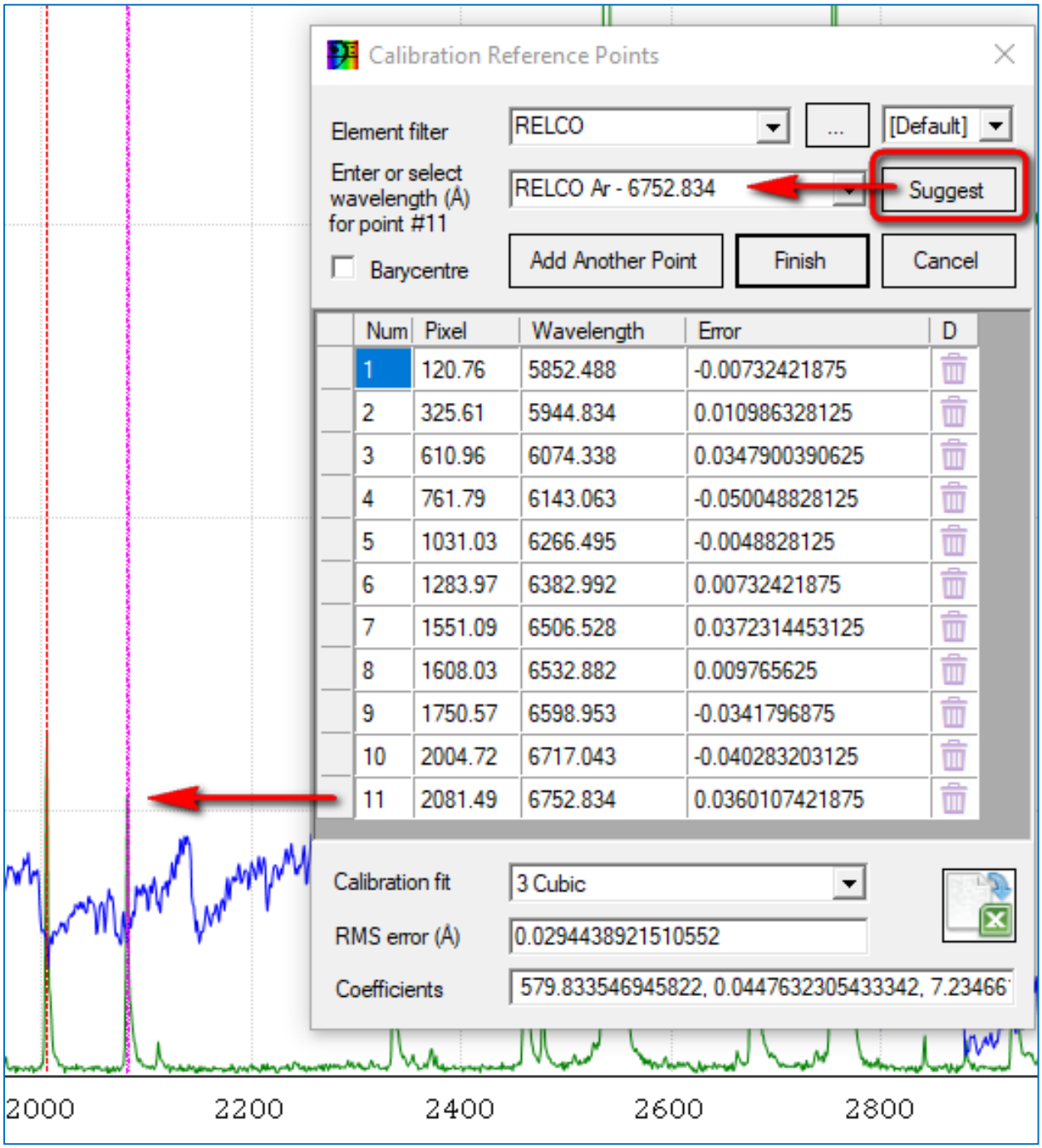
➔ Add Another Point
➔ Neunte Referenzline eng eingrenzen: 6598.953Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6532.882 vor
➔ Restfehler nun: 0.026Å



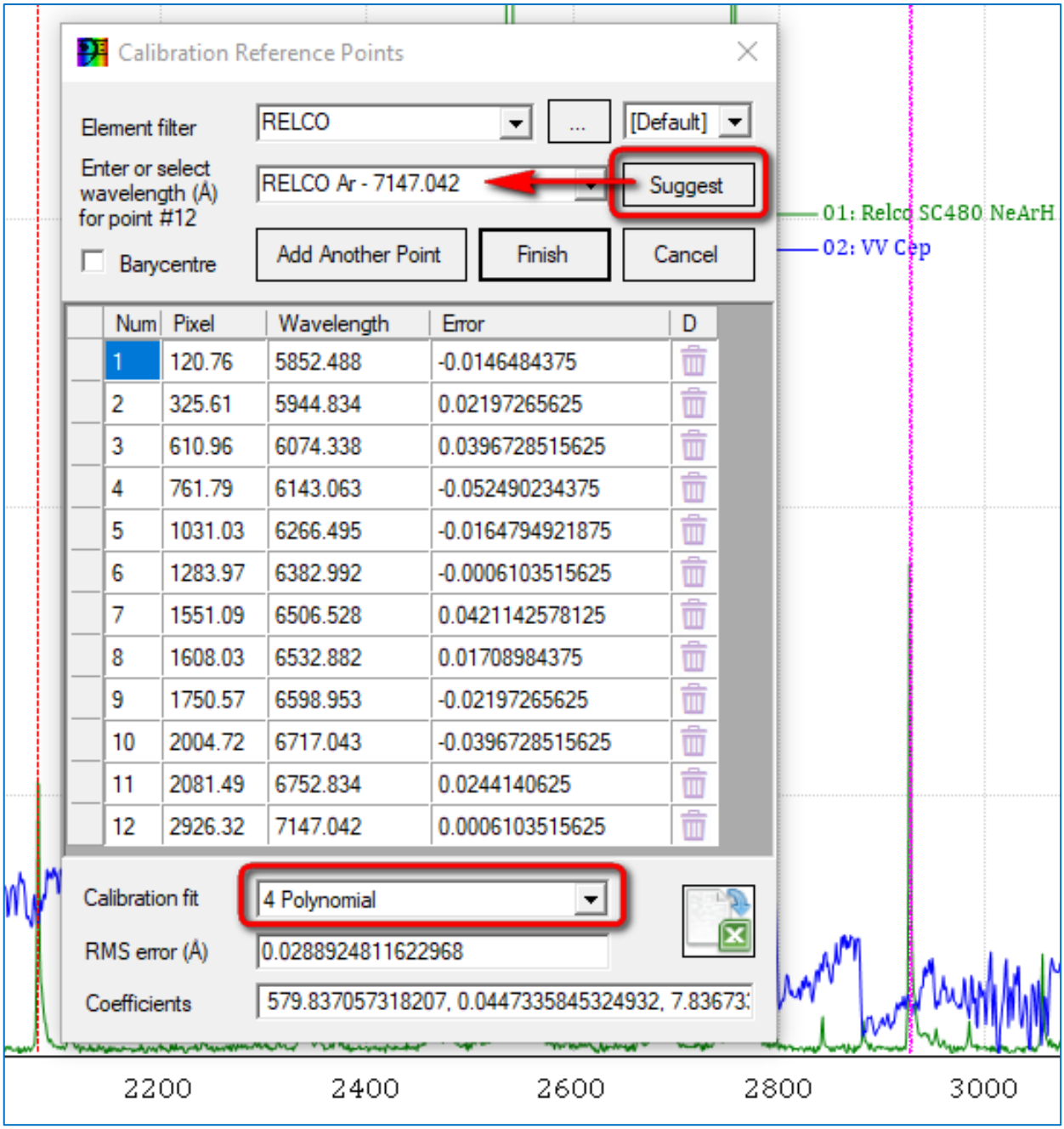
➔ Add Another Point
➔ 10. Referenzline eng eingrenzen: 6717.043Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 6717.043 vor
➔ Restfehler nun: 0.0248Å



- ➔ Add Another Point
- ➔ 11. Referenzline eng eingrenzen: 6752.834Å
- ➔ *Suggest* schlägt Ne – 6752.834 vor
- ➔ Restfehler nun: 0.029Å



➔ Add Another Point
➔ 12. Referenzline eng eingrenzen: 7147.042Å
➔ *Suggest* schlägt Ne – 7147.042 vor
➔ Polynomgrad 4
➔ Restfehler: 0.029Å

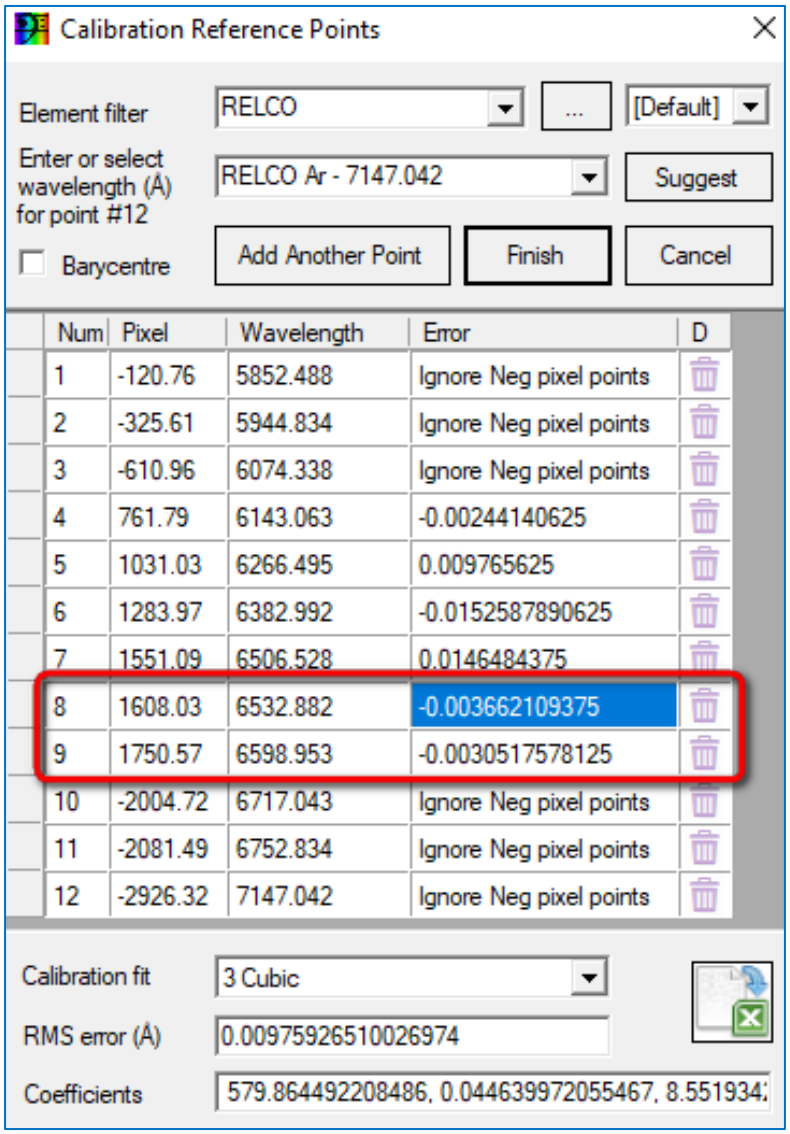


Für das Spektrum erhält man mit 12 Referenzlinen und einem Polynom 4. Grades einen RMS-Wert von 0.02889Å

Es ist nicht sinnvoll, hier einen höheren Polynomgrad als 4 zu wählen. Der Dispersionsverlauf des Spektrografen entspricht einer flachen Kurve, die sich nur gerinfügig von einer linearen Funktion unterscheidet. Die Dispersion beträgt ca. 1.2Å/px, so dass wir mit einer anfänglichen Kalibriergenauigkeit von RMS 0.029 Å/px zwischen 5852Å und 7147Å sehr zufrieden sein können. Insbesondere, wenn man den überspannten Spektralbereich in Betracht zieht. Kleinere Intervalle können mit höherer Genauigkeit kalibriert werden.

Aber wir können probieren, die Genauigkeit durch deaktivieren bzw. löschen der ungenauesten der 12 Linien zu erhöhen. Betrachten wir, wie sich die Deaktivierung auf den Bereich um die Hα-Linie herum auswirkt.

Da wir später den Bereich der Hα-Linie ausmessen wollen, interessiert uns dieser Bereich besonders.



Seit Version 1.9.8b4 kann man „ungenaue“ Stützpunkte deaktivieren/aktivieren und das Polynom jeweils neu berechnen lassen: Man setzt ein Minuszeichen vor die Pixelposition einer Linie, die nicht berücksichtigt werden soll. Nun klickt man in eine andere Zeile, was die Neuberechnung auslöst. Mit Löschen des Minuszeichens kann die Linie wieder aktiviert werden.

Man kann nun solange Linien aktivieren und deaktivieren, bis eine befriedigende Genauigkeit entweder im Zielbereich Hα oder über den gesamten Bereich erreicht ist.

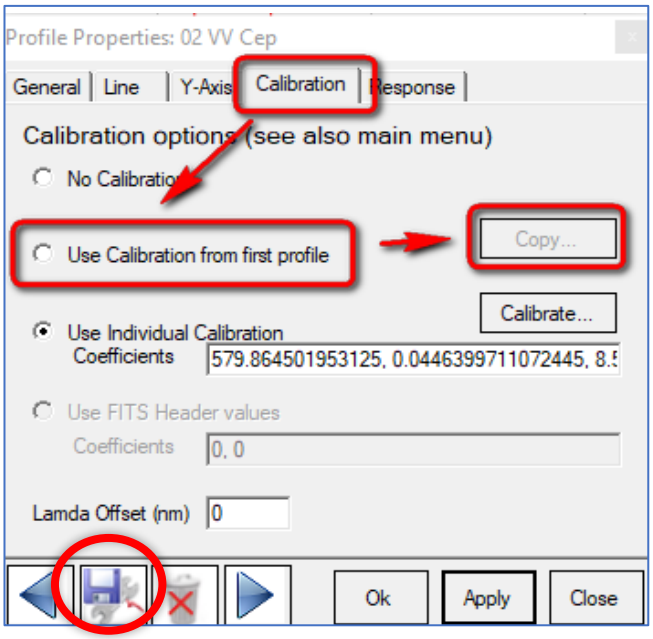
Allerdings sollte man immer das Ziel der Maßnahme im Auge behalten. Wenn man sich auf einen Bereich konzentriert, sollte man in dessen Nähe mehr Referenzlinien wählen.

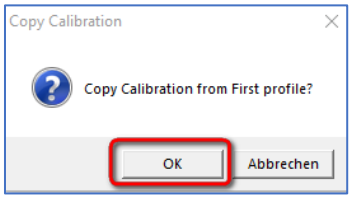
Die Wellenlängenkalibrierung verbessert sich erheblich auf RMS=0.00976Å.

- ➔ Finish
- ➔ Speichern

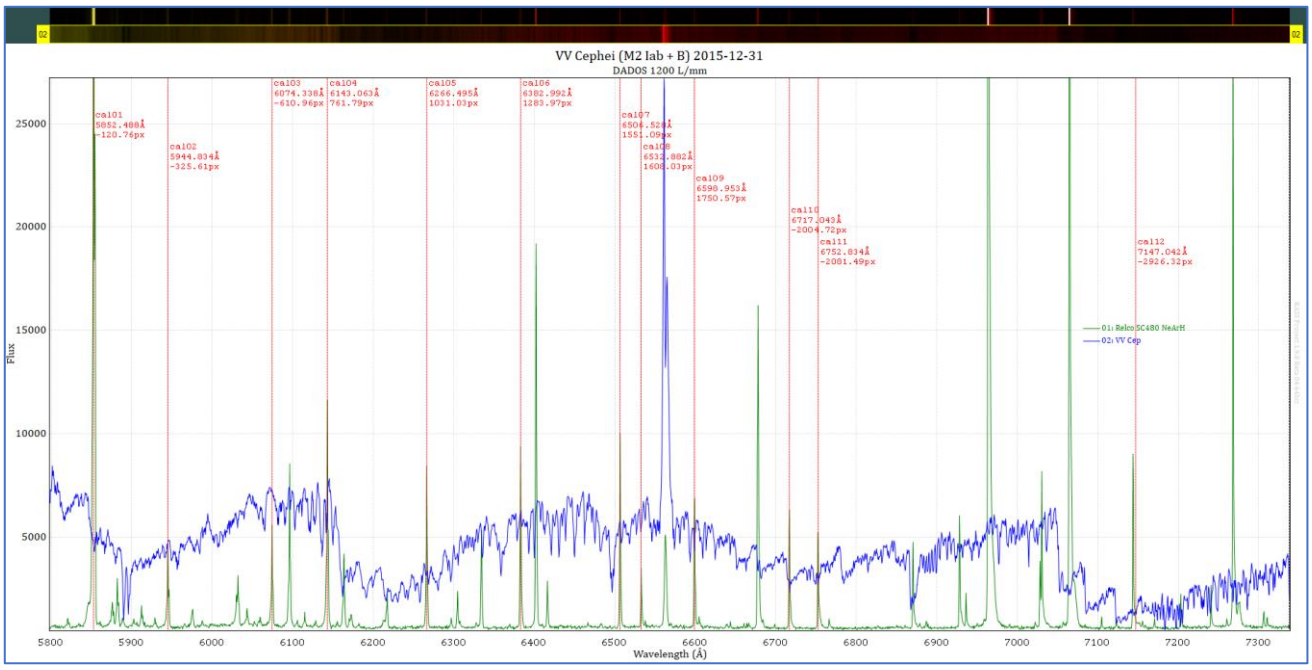
10.3 Übertragung der Wellenlängenkalibrierung auf das Spektrum von VV Cep

- ➔ *02: VV Cep* anwählen
- ➔ Profile properties *02: VV Cep*
- ➔ Use Calibration from first profile
- ➔ Copy
- ➔ Ok
- ➔ Apply
- ➔ Ok
- ➔ jeweils speichern

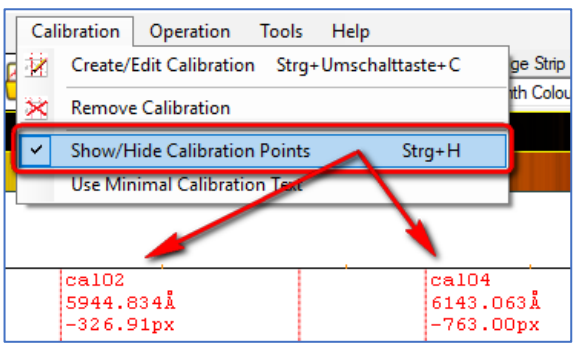




- ➔ Image Strip View umstellen auf Synth Color stretched (synthetisches Sternspektrum)
- ➔ Speichern des Projekts unter dem selben Namen *VV Cep.bass*



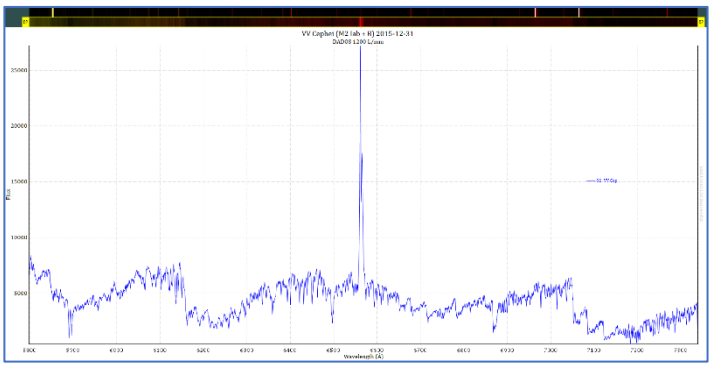
Show/Hide Calibration Points: Schaltet die Anzeige der Kalibrierpunkte ein und aus!

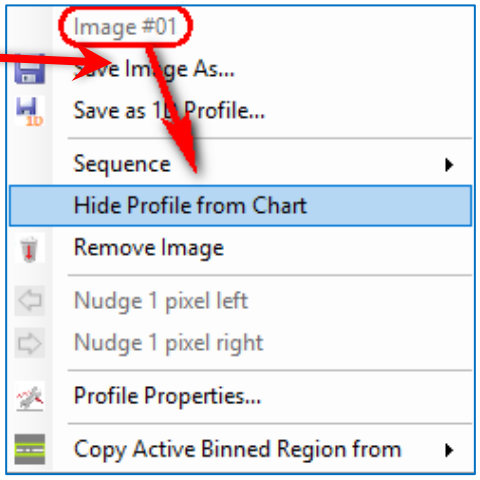


Ausblenden des Referenzspektrums #01

➔ Rechte Maustaste auf Spektrum #01:

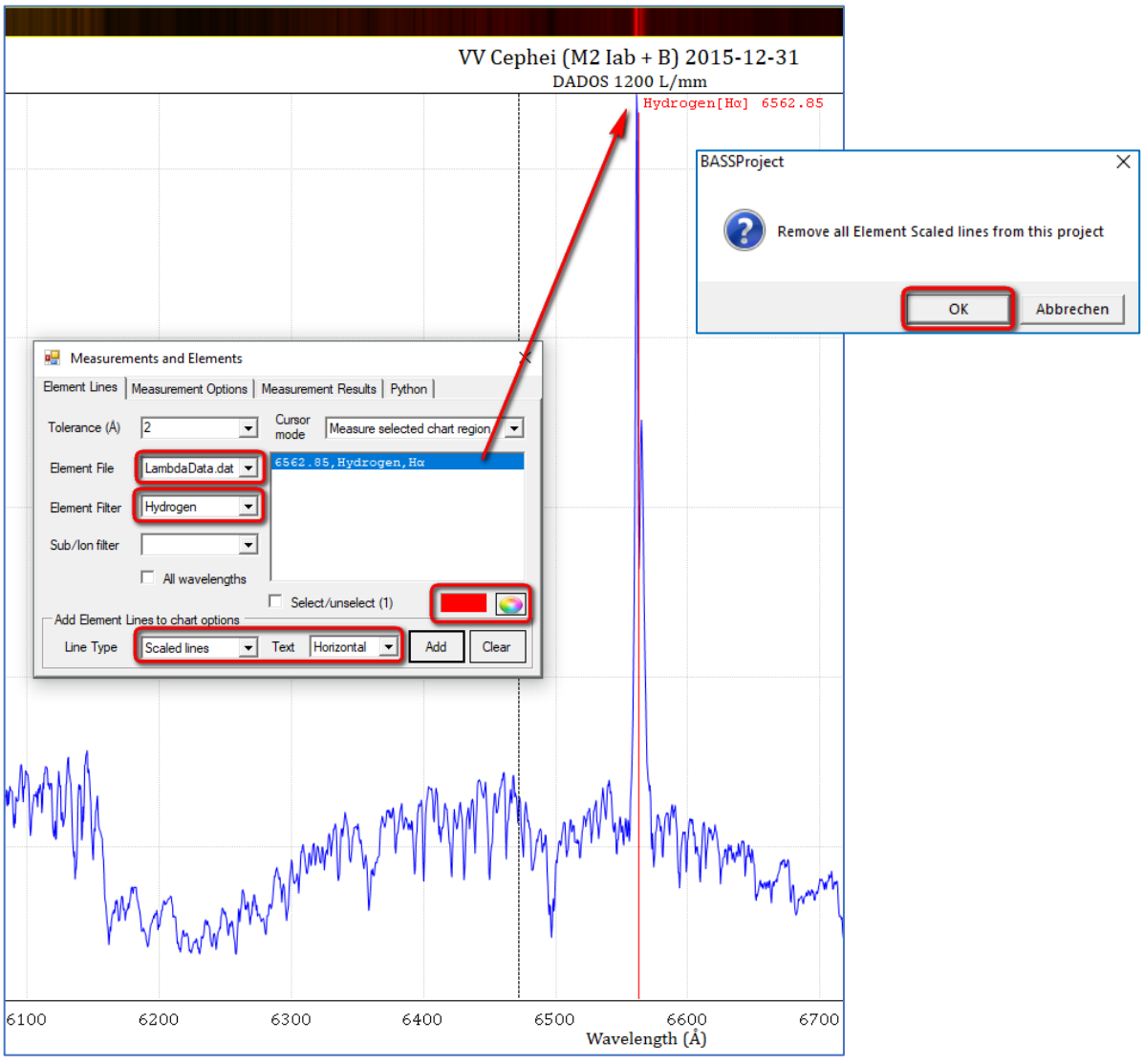
➔ Spektrum *02:VV Cep* mit der Maus aktivieren:





➔ Measurements and Element Lines. Hiermit kann man seine Kalibrierung gezielt an einzelnen Linien oder einer ganzen Linienserie überprüfen. Beispiel: Einblenden der Hα-Ruhewellenlänge.

➔ Mit *Clear* entfernt man alle Markierungen wieder.



11. Normierung der relativen 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.

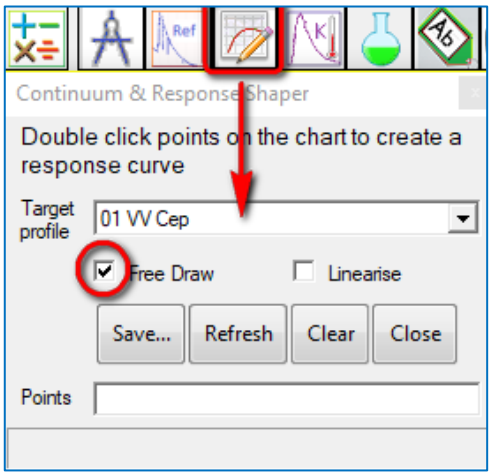
11.1 Pseudokontinuum entfernen

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

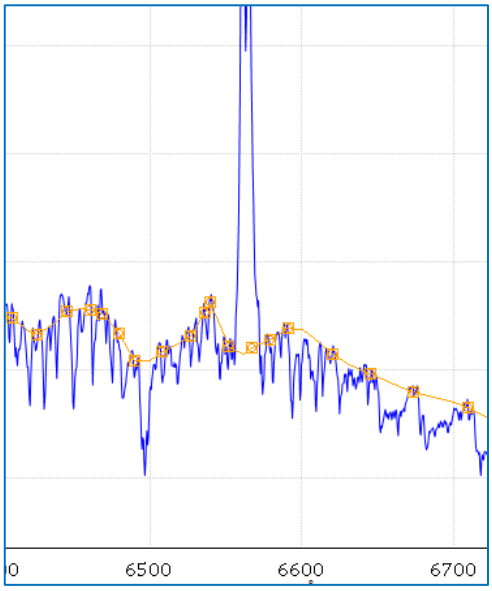
Subtraktion des Kontinuums: Hat den Nachteil, dass bei einer Subtraktion die relativen Intensitäten der Spektrallinien zueinander nicht stimmen. Wird in der Regel nicht angewendet.

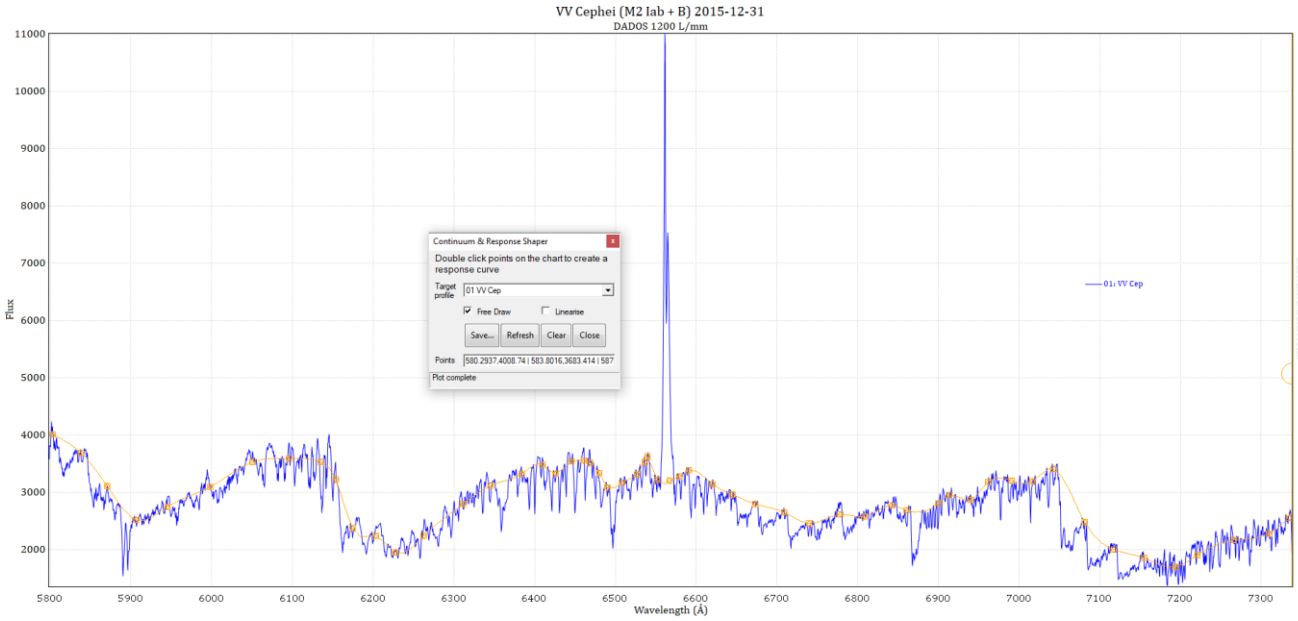
Division durch das Kontinuum: Die relativen Intensitäten bleiben erhalten, das Divisionsergebnis ergibt im Spektrum im Idealfall einen exakt horizontalen Verlauf, dessen Intensität den Wert „1“ aufweist. Deshalb spricht man auch von der Normierung auf „1“. Dies wird im Folgenden beschrieben.

1. Durchführung einer Normierung des gesamten Spektrums



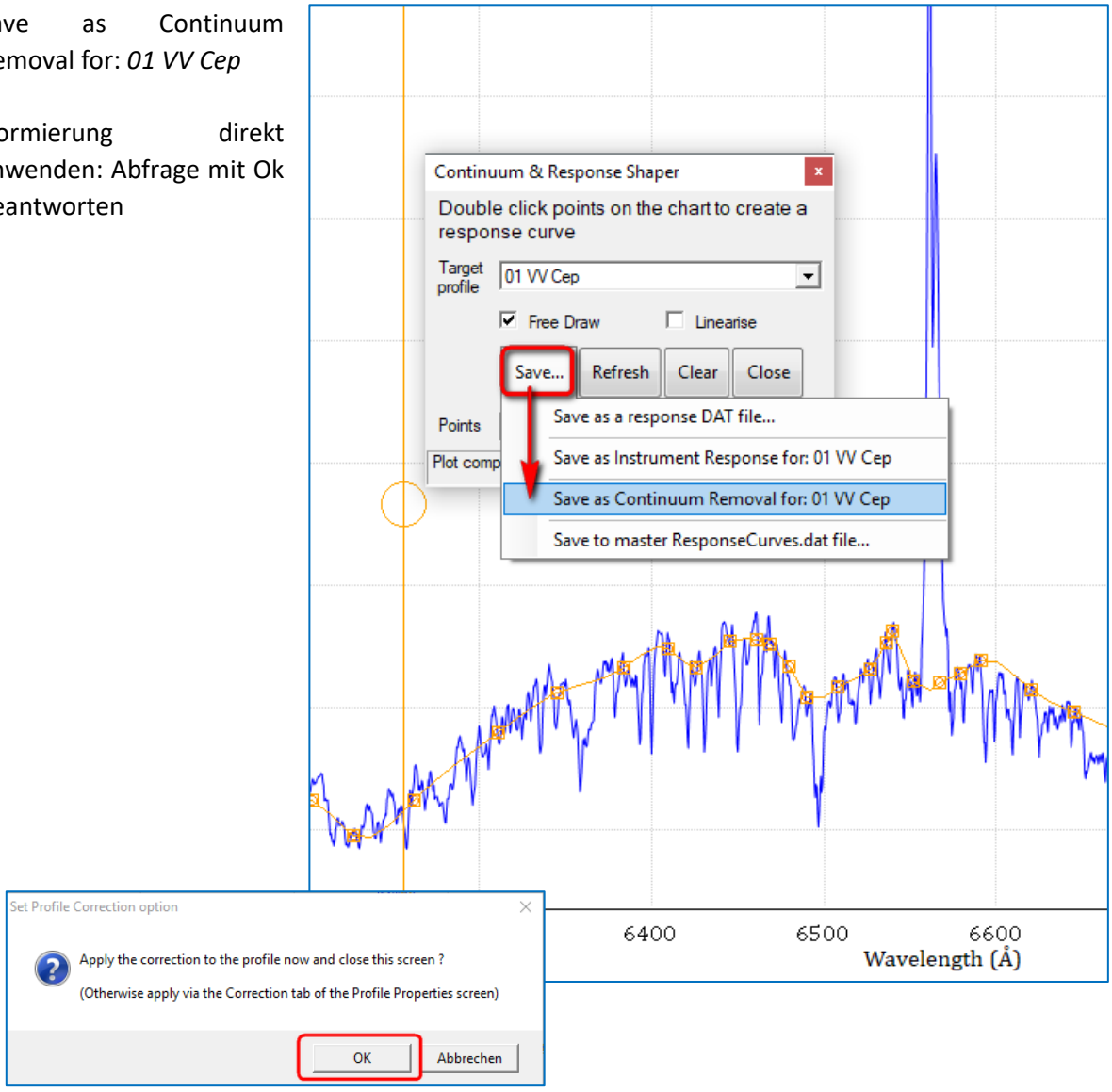
- Spektrum *02: VV Cep* an Position 1 bringen
- Hide Profile from chart *02: Relco SC480 NeArH*
- Spektrum *01: VV Cep* ist jetzt aktivieren
- Continuum and Response Shaper anwenden auf *02: VV Cep*
- Free Draw wählen
- Kästchen setzen per Doppelklick entlang des Kontinuums.
- Refresh aktualisiert das Bild. Kästchen löschen mit mittlerer Maustaste. Spektrallinien großzügig überbrücken, ohne die Flügel der Linien zu kappen. Die so definierte orangene Kurve ist das sogenannte *Pseudokontinuum,* meist auch als *Response* bezeichnet.



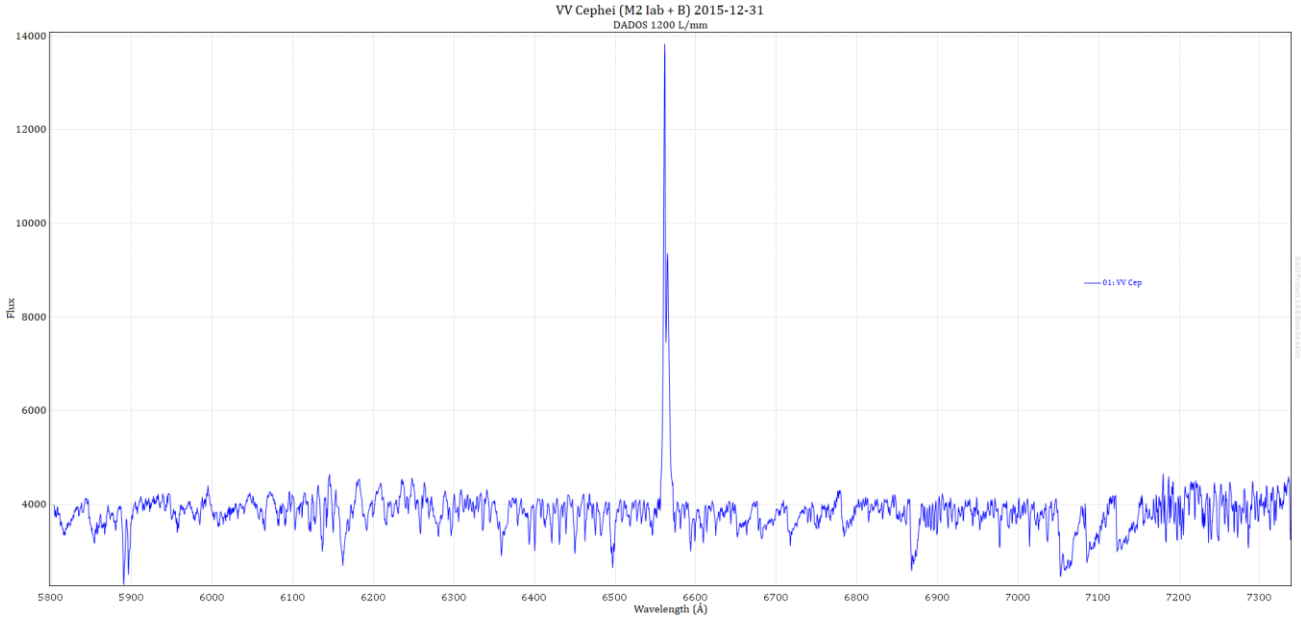


➔ Save as Continuum Removal for: *01 VV Cep*

➔ Normierung direkt anwenden: Abfrage mit Ok beantworten

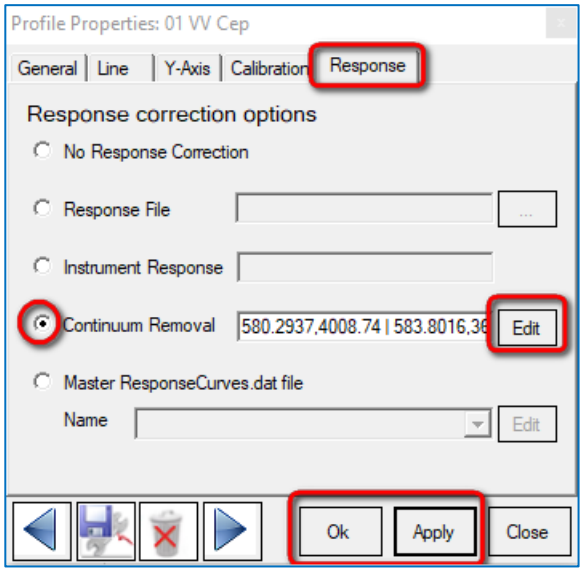


Ergebnis: Das (vorläufig) normierte Spektrum.



➔ Falls das durchschnittliche Kontinuum in Bereichen NICHT auf einer horizontalen Linie liegt, kann das Pseudokontinuum nochmals editiert werden.

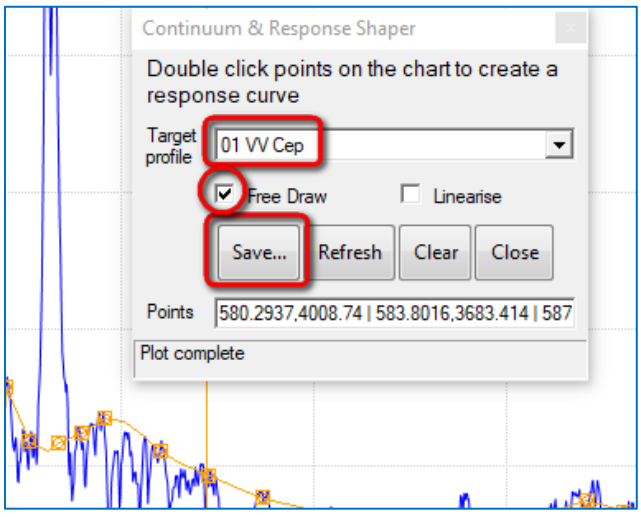
➔ Response ➔ Edit



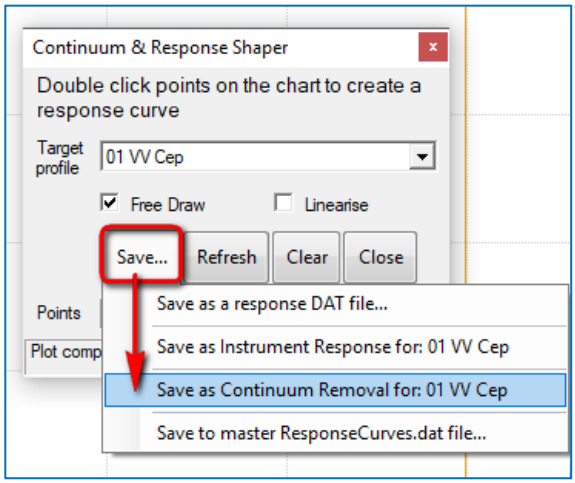
➔ Target Profile*: 01 VV Cep*

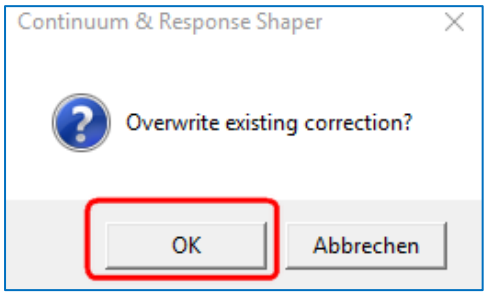
➔ Free Draw

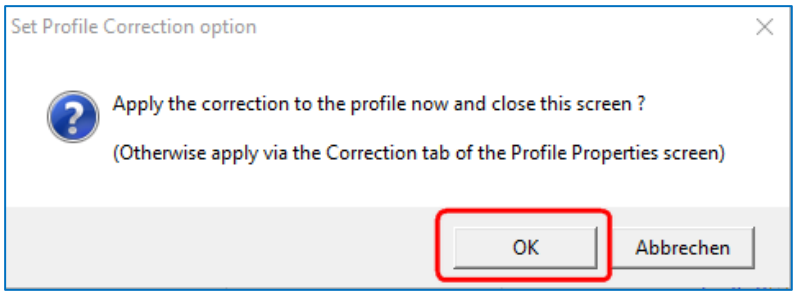
➔ Neue Kästchen können gesetzt und/oder alte entfernt werden. Löschen durch Drücken auf Mausrad!



➔ Save







➔ Ok

➔ Projekt zwischendurch immer mal speichern: *VV Cep.bass*

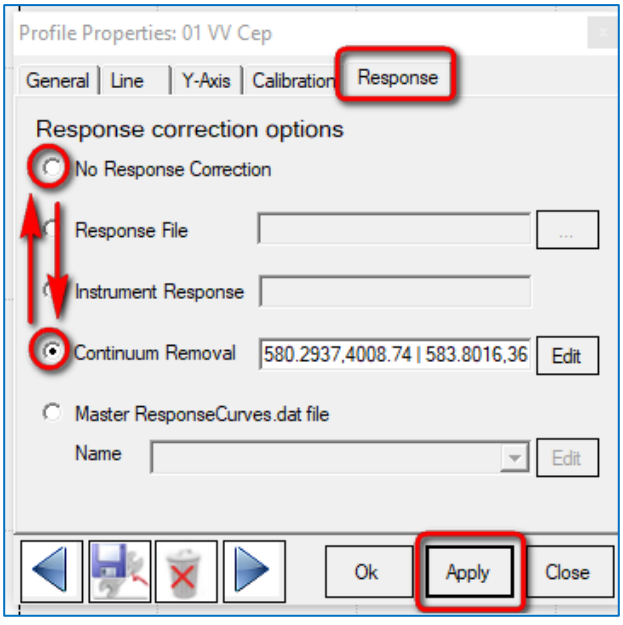
Ansicht Vorher/Nachher: Wie sieht das Profil mit bzw. ohne Kontinuumsbeseitigung aus?

➔ Profile Properties

➔ Response

➔ Continuum Removal ⇔ No Response Correction

➔ Jeweils Apply



11.2 Normierung auf „1“

„Normierung auf 1“ bedeutet, dass das Kontinuum auf den Wert 1 festgelegt wird.

Zunächst sicherstellen, dass das Spektrum von VV Cep an Position 1 steht: *01: VV Cep*

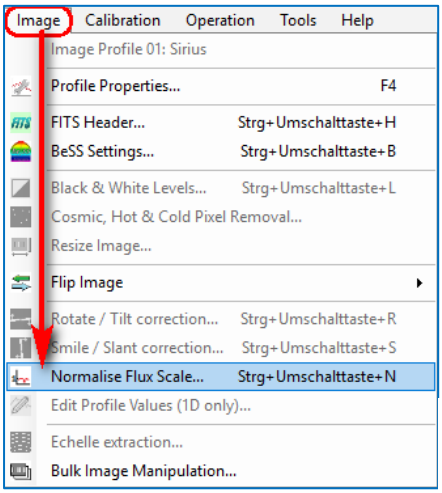
- ➔ Falls nicht, mit rechter Maustaste in das VV Cep Spektrum klicken
- ➔ Sequence
- ➔ 01 auswählen

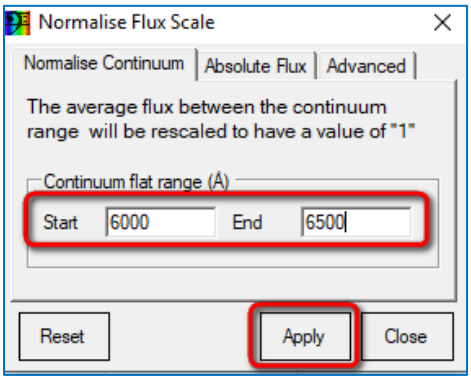
Falls links und rechts unerwünschte Bereiche sind, diese nun ausgrenzen. Ein vollständiges Entfernen aus dem Datensatz ist in dieser späten Phase aber nicht mehr möglich:

- ➔ Mit der linken Maustaste das Spektrum wie gewünscht eingrenzen
- ➔ Crop X-Axis Range
- ➔ Wellenlängenbereich eingrenzen mit der Maus.
- ➔ Apply
- ➔ File ➔ Save Project File

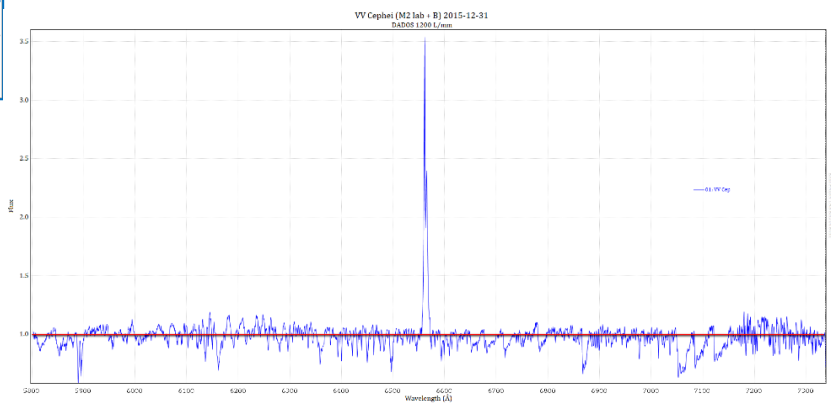
Normierung auf „1“ durchführen:

- ➔ Image
- ➔ Normalize Flux Scale
- ➔ Im Spektrum einen Bereich definieren, der den Wert 1 erreichen soll. Hier bei ca. 6500Å-6500Å
- ➔ Falls unzufrieden mit der Lage der „1“-Linie, neue Start- oder Endwerte eingeben und Apply drücken.
- ➔ Falls zufrieden: Close





Hinweis: Die Normierung auf „1“ ist ein höchst subjektiver Vorgang, der von jedem Bearbeiter mit einem anderen Ergebnis durchgeführt und beurteilt wird. Dies kann später zu einer Streuung der Messwerte führen.



11.3 Manuelle Skalierung der Y-Achse (Flux, relative Intensität)

Die manuelle Skalierung der Y-Achse (Flux) des Spektrums von γ Cas beträgt in diesem Beispiel 0 bis 4:

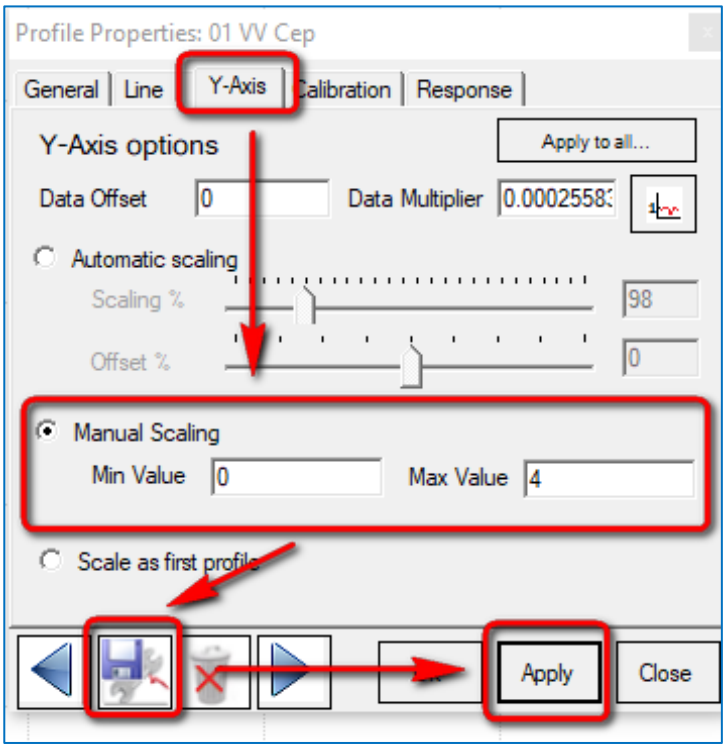
Skalierung der Y-Achse

➔ Profile Properties

➔ Save Property Settings

➔ Apply

➔ Ok



Ergebnis: Das auf „1“ normierte Sonnenspektrum, in der Intensität von 0 bis 4 skaliert. Das Referenzspektrum bleibt ausgeblendet.

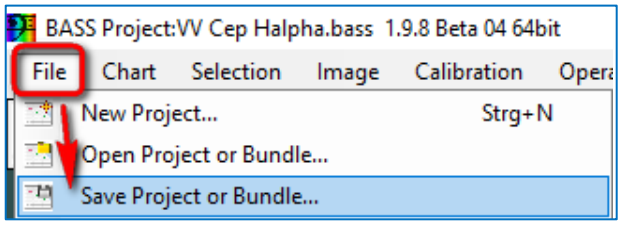
➔ File ➔ Save Project File

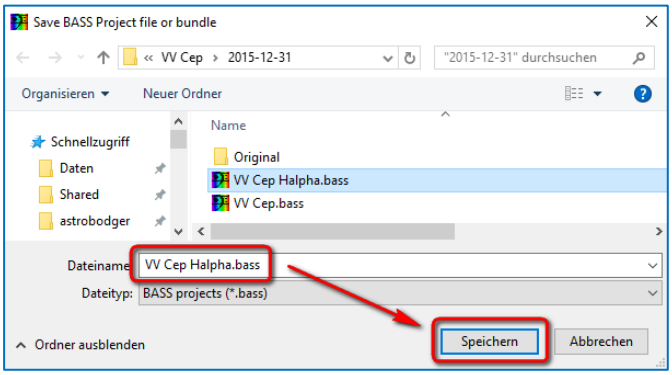
11.4 Durchführung einer genaueren Normierung in der Umgebung von Hα

Die Normierung über den gesamten registrierten Spektralbereich von 5800Å bis 7300Å ist nicht präzise genug in der Umgebung der Hα-Linie, die im weiteren Verlauf der Auswertung vermessen werden soll.

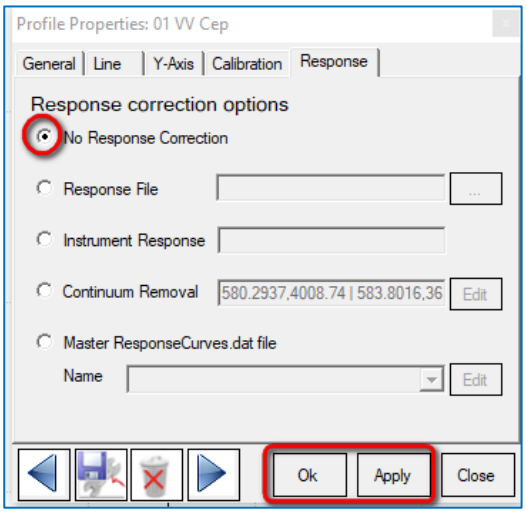
Deshalb konzentrieren wir uns nun auf den Bereich 6500Å bis 6630Å.

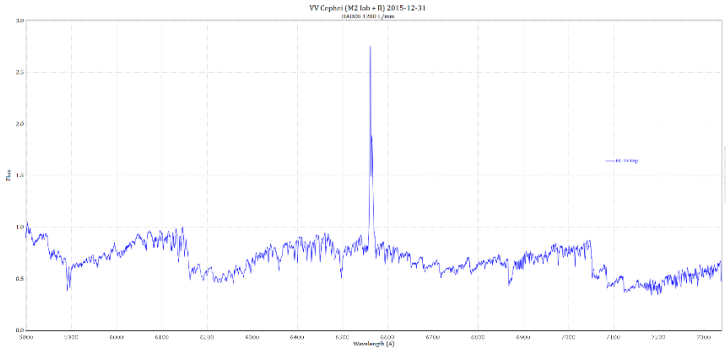
Zunächst speichern wir das bisherige Ergebnis unter einem neuen Namen ab: *VV Cep Halpha.bass*



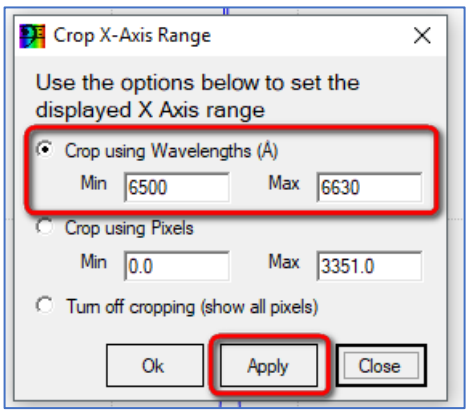


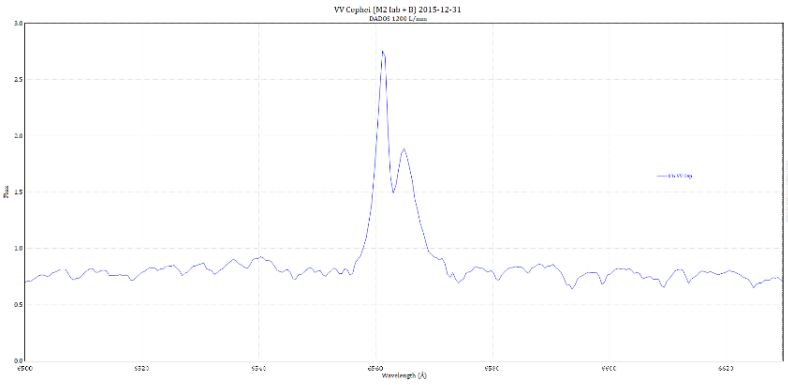
➔ Deaktivieren der vorhandenen Normierung





➔ Crop X-Axis Range 6500Å-6630Å

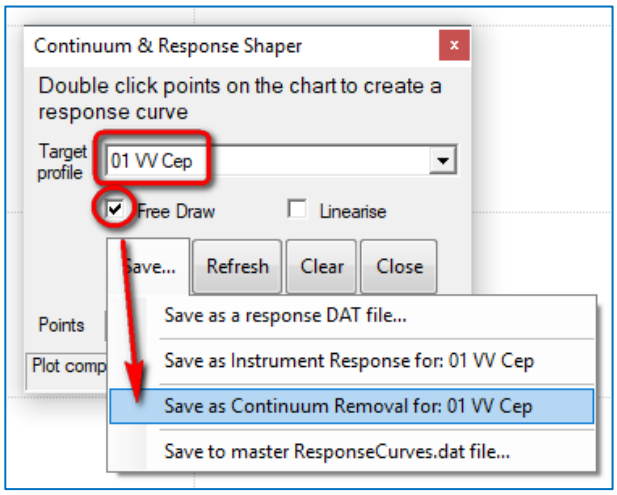


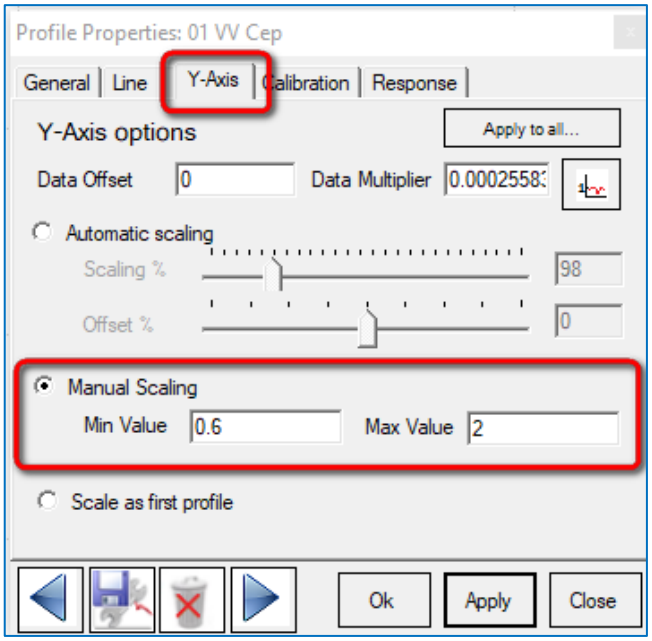


➔ Y-Achse skalieren von 0 bis 2

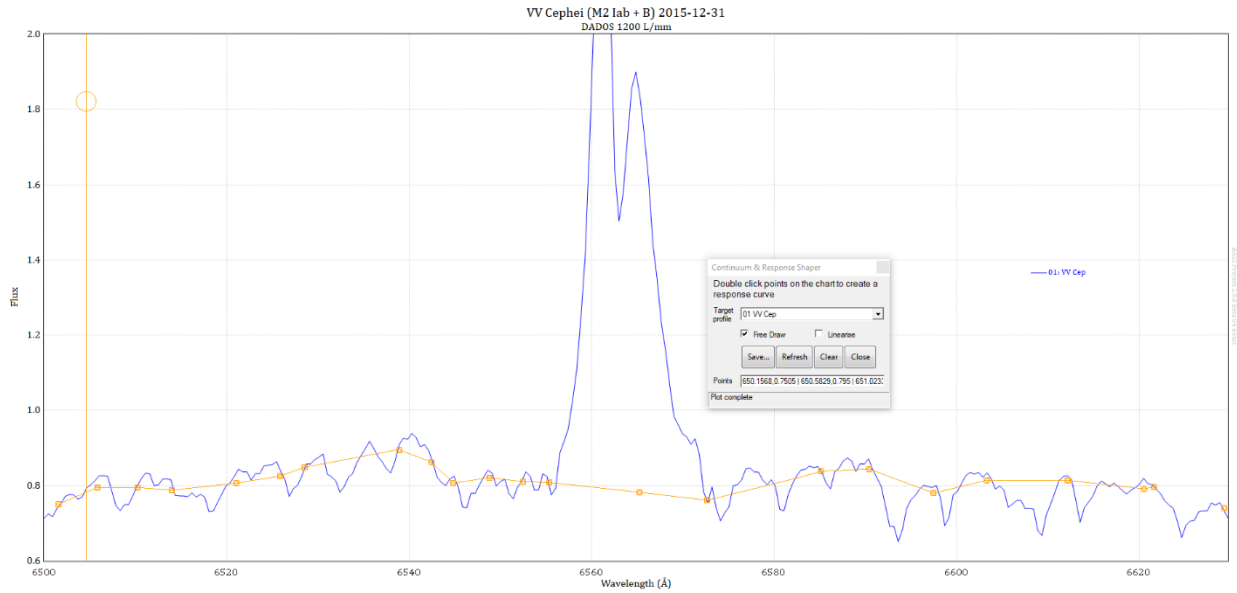
➔ Continuum and Response Shaper anwenden auf *01: VV Cep*

➔ Free Draw wählen





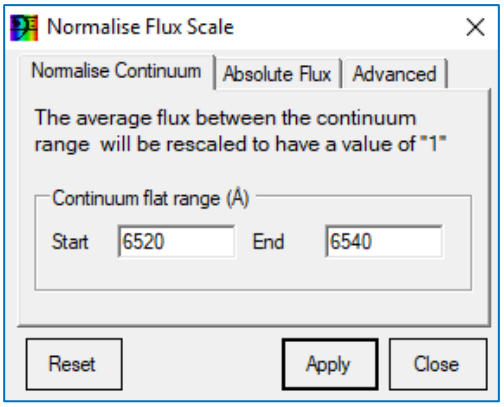
➔ Kästchen setzen per Doppelklick entlang des Kontinuums.



➔ Refresh aktualisiert das Bild. Kästchen löschen mit mittlerer Maustaste. Spektrallinien großzügig überbrücken, ohne die Flügel der Linien zu kappen. Die so definierte orangene Kurve ist die sogenannte *Instrumentenfunktion,* meist auch als *Response* bezeichnet.

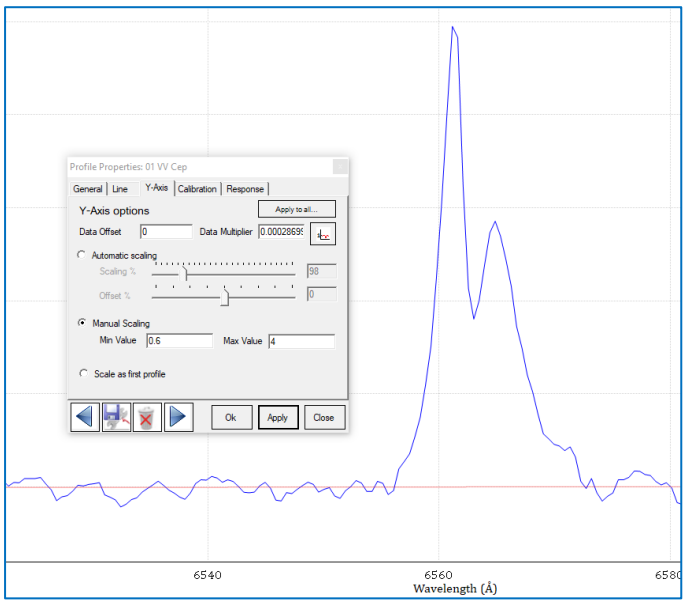
Normierung auf „1“

➔ Image ➔ Normalize Flux Scale: 6520Å - 6540Å

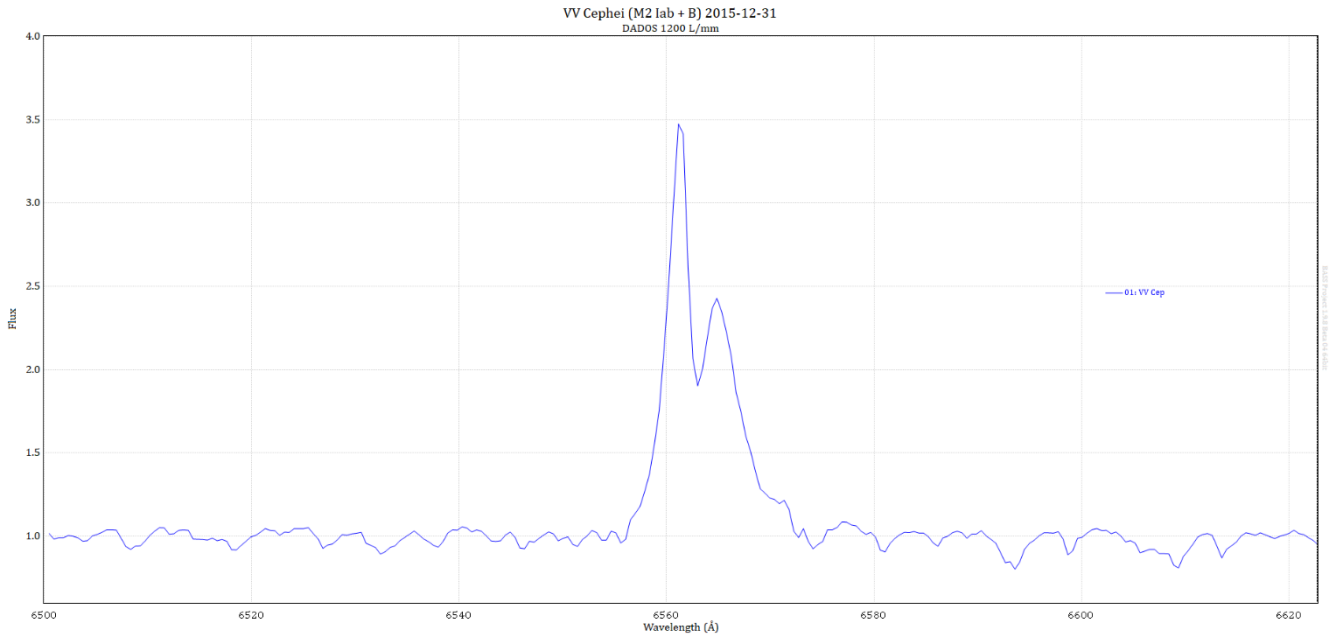


➔ Profile Properties ➔ Manual Scaling: 0.6 bis 4

➔ Die rote “1” Linie wurde nicht mit BASS eingezogen, das geht noch nicht.



Fertiges Spektrum:



12. Heliozentrische Korrektur und Dopplereffekt

12.1 Der FITS-Header

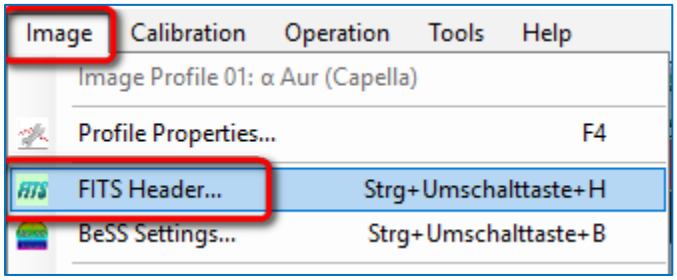
Hinweis: VV Cep ist kein klassischer Be-Stern.

Stackt man die Spektren in BASS, wird der originale FITS-Header vollständig überschrieben. Möchte man das nicht, muss man das Stacking außerhalb von BASS vornehmen.

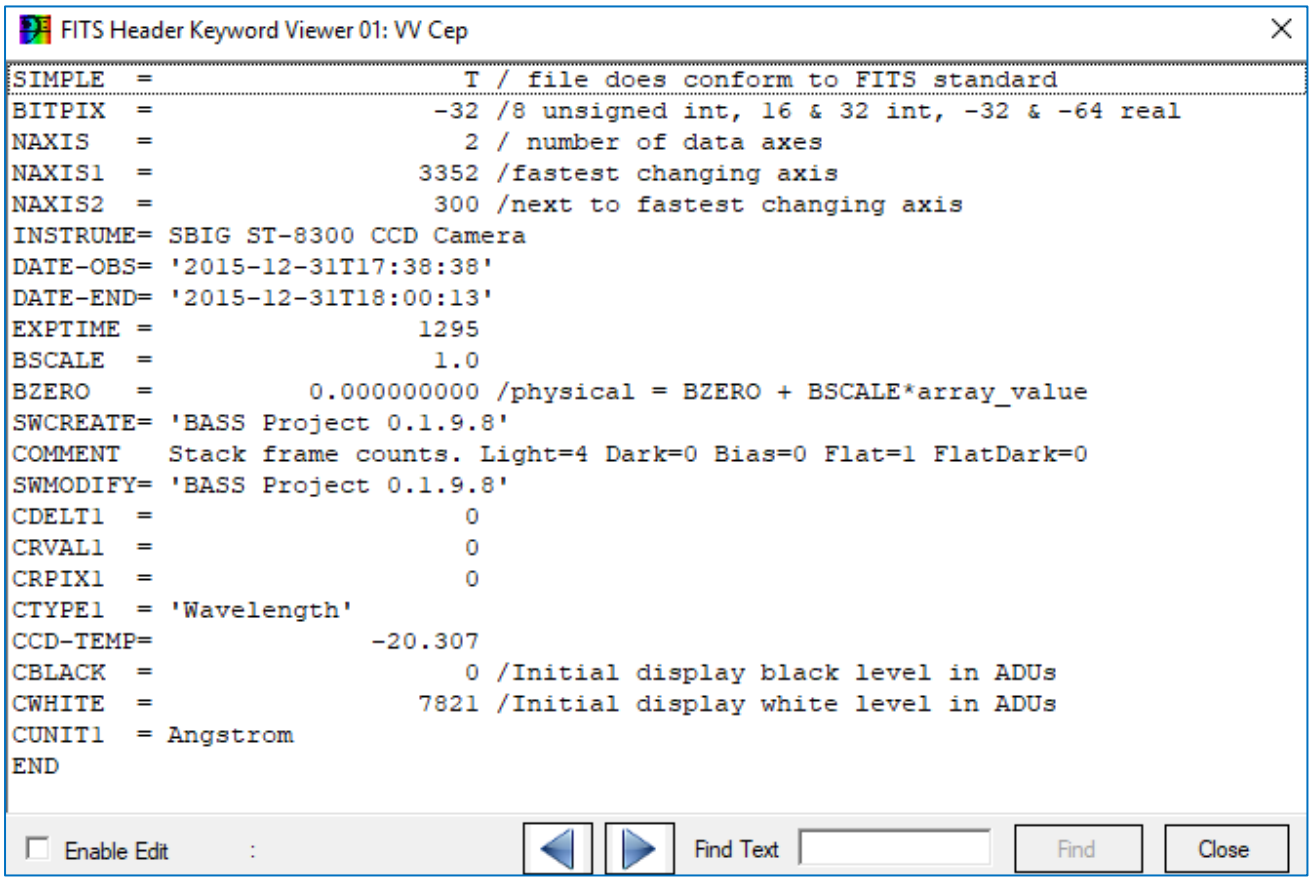
Hinweis: Leider überschreibt BASS den ursprünglichen FITS-Header von MaxImM DL, der sehr viel ausführlicher ist.

Hier der von BASS geschriebene FITS-Header:

➔ Image ➔ FITS Header …

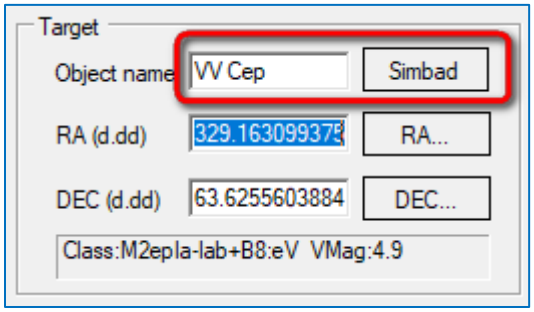


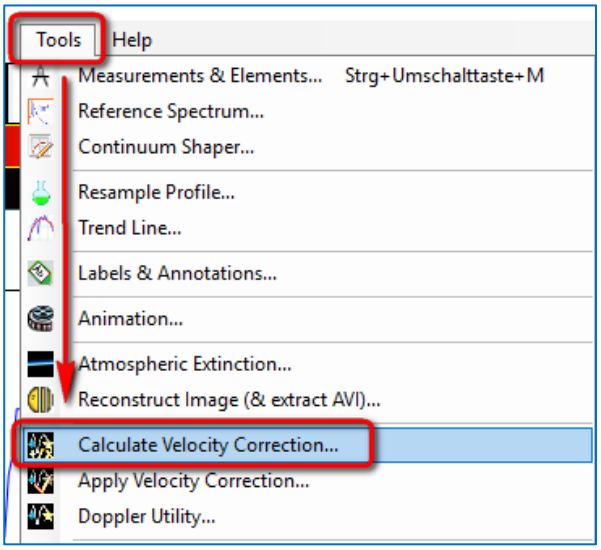
Der Eintrag EXPTIME ist das gesamte Zeitintervall in Sekunden zwischen Beginn der ersten und Ende der letzten Aufnahme. Es ist nicht die tatsächliche Gesamtbelichtungszeit.



12.2 Objekt- und Beobachterdaten eintragen

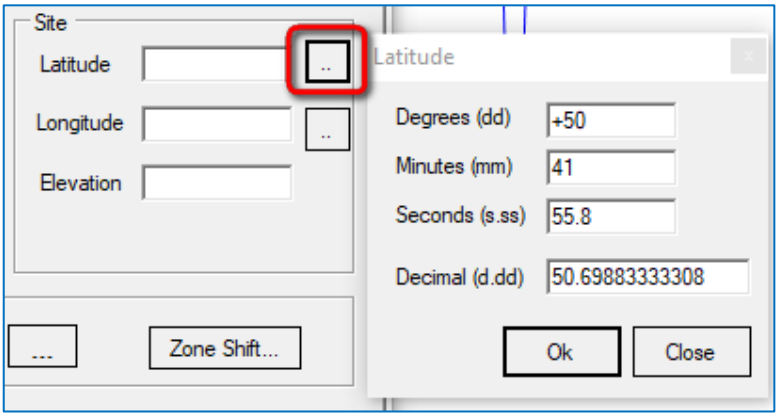
- ➔ Tools ➔ Calculate Velocity Correction …
- ➔ Calculate Doppler Shift
- ➔ Target ➔ Objectname eingeben: VV Cep
- ➔ mit Simbad Daten online beschaffen

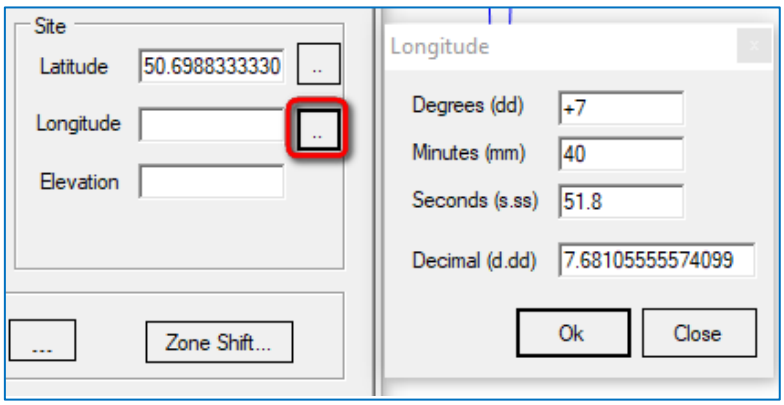


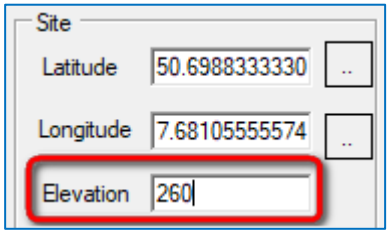


Site (Koordinaten des Beobachtungsorts)

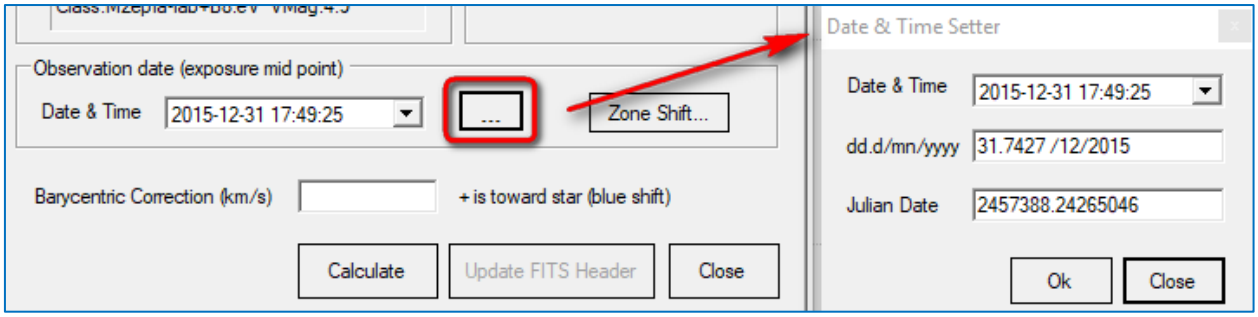
- ➔ Site ➔ Latitude ➔ Ok ➔ Longitude ➔ Ok ➔Elevation ➔ Update FITS Header



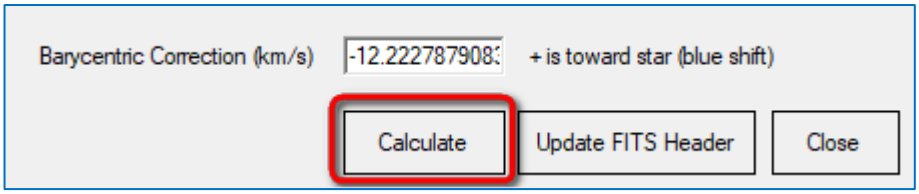




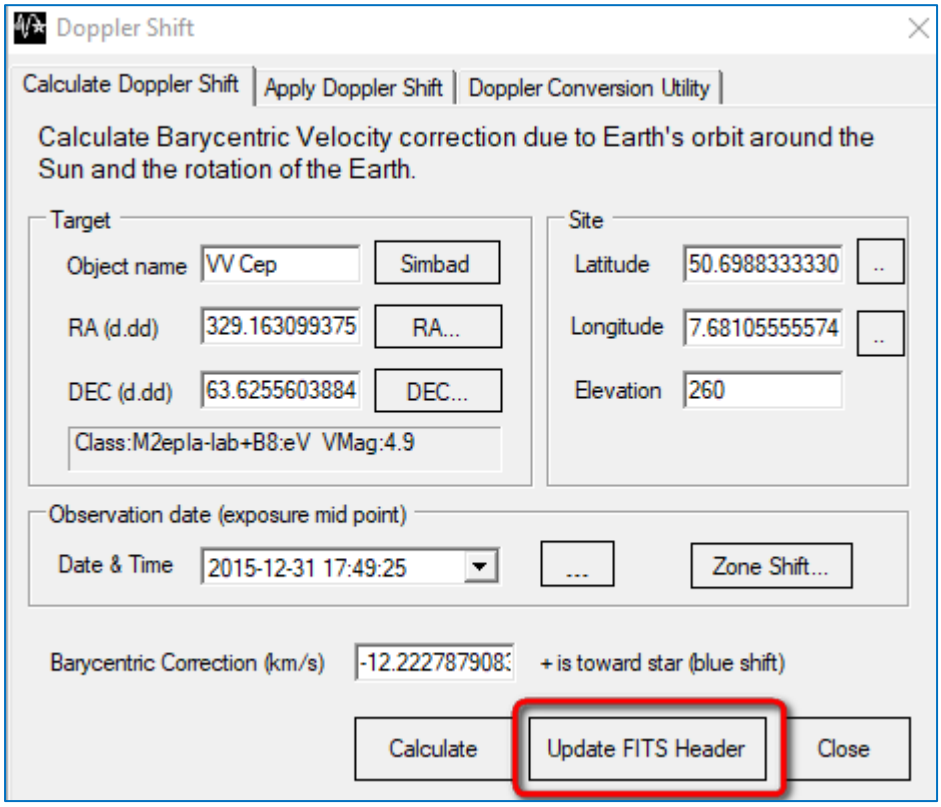
➔ Prüfung des Beobachtungszeitpunktes (exposure mid point) und ggf. Neuberechnung:



➔ Calculate ➔ Barycentrische Korrektur wird berechnet

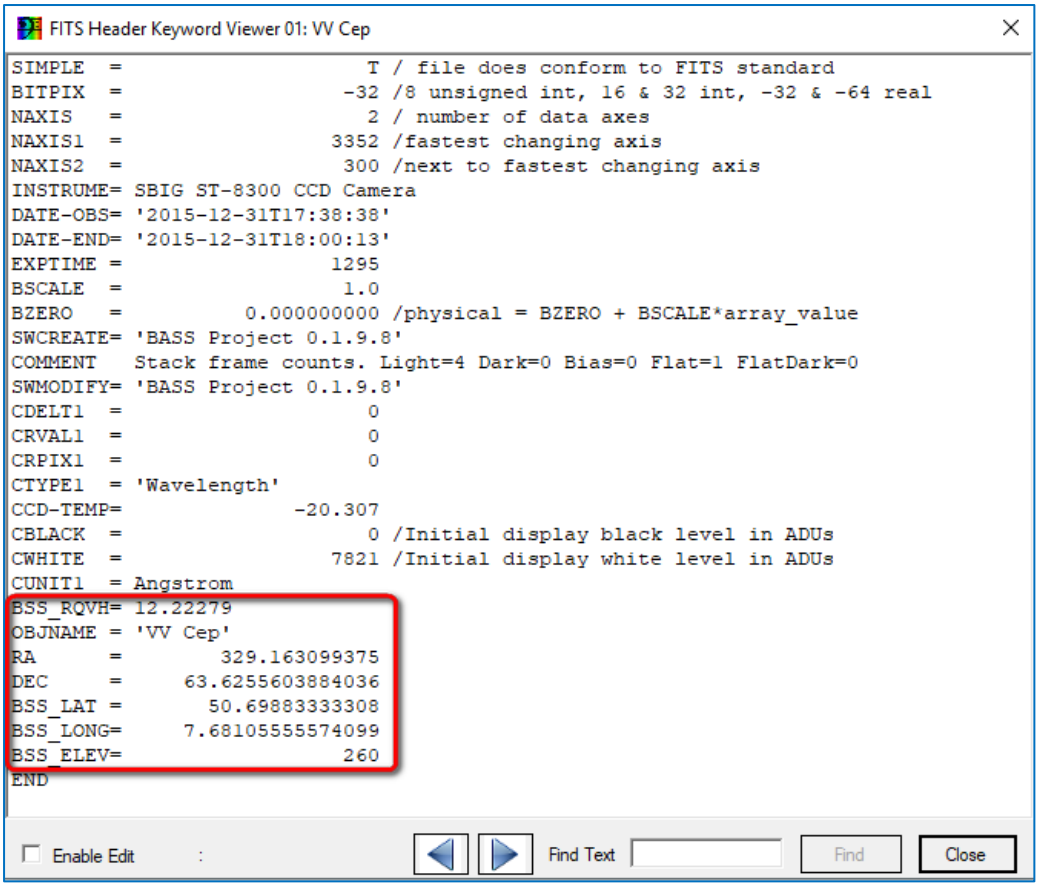


➔ Update FITS Header

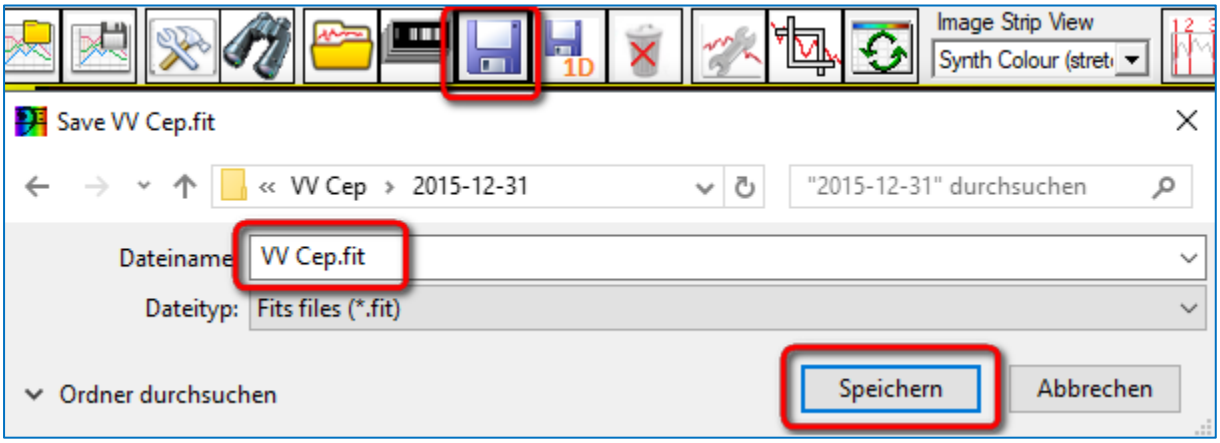


Neue Caption: VV Cep 2015-12-31, 17:49:25 UT = JD 2457388.24265 | DADOS 1200L/mm

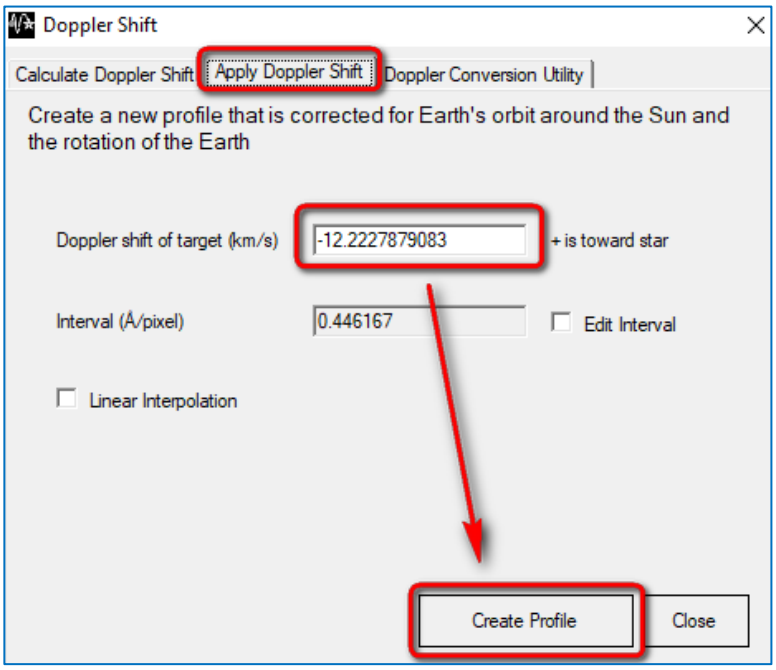
➔ FITS Header prüfen: Die Daten sind eingetragen:



➔ FITS-Header UNBEDINGT SPEICHERN!!

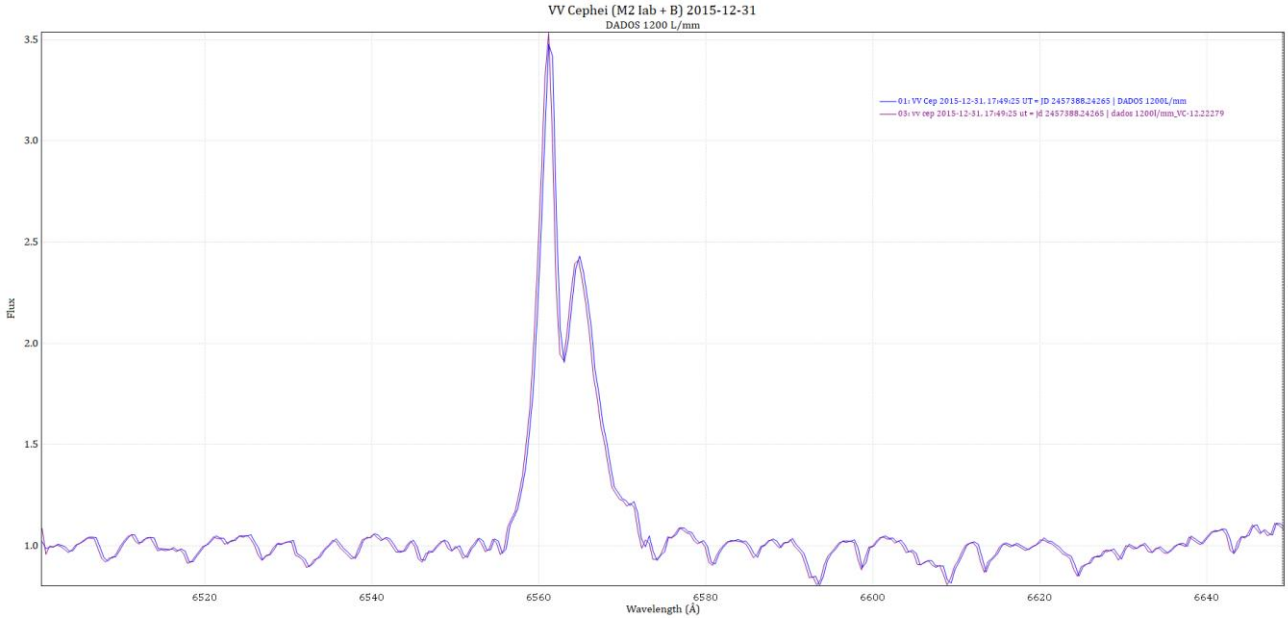


Apply Doppler Shift: Doppler Shift hier eintragen und neues, heliozentrisch korrigiertes Profil erzeugen:



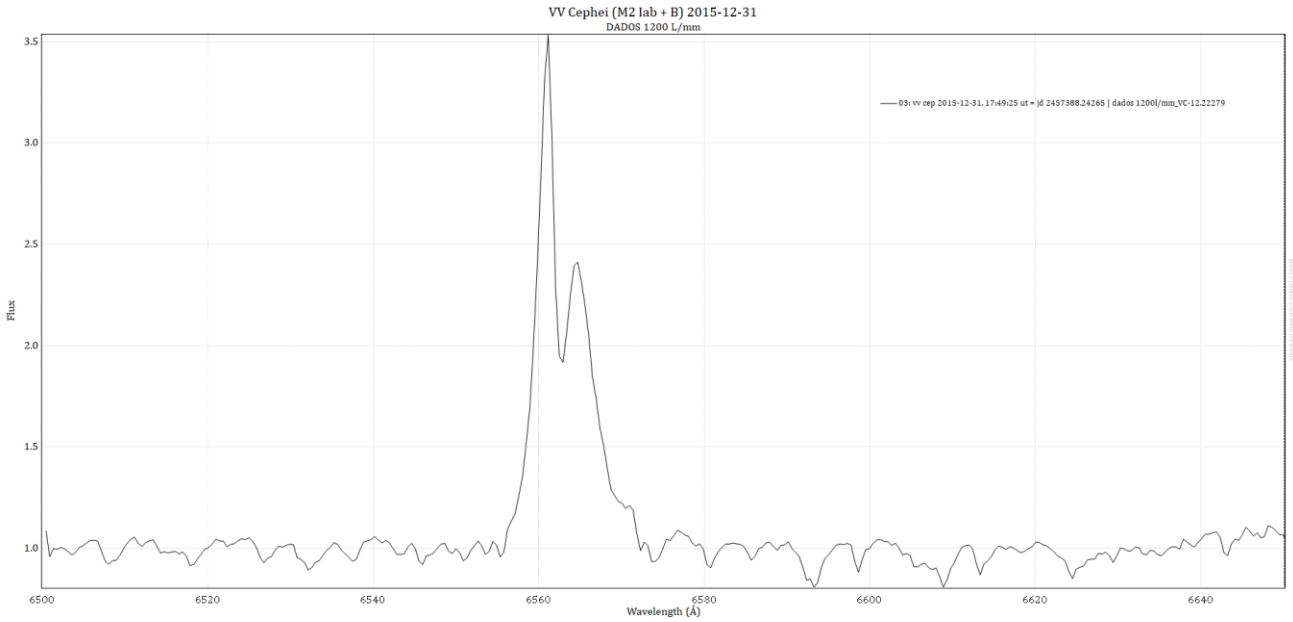
Die heliozentrische Korrektur in Höhe von -12.222 km/s wird im hier roten Profil berücksichtigt. Man erkennt den leichten Versatz des Profils.

Profil #03 ist also das um rund -12 km/s verschobene Profil



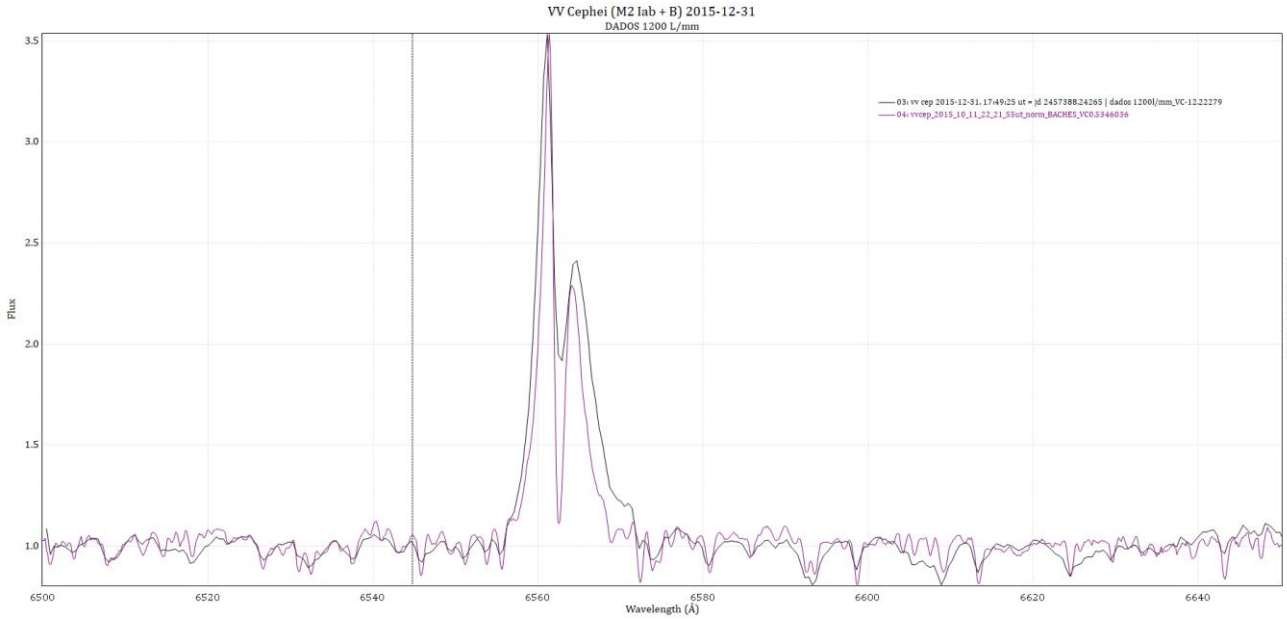
➔ Profil #03 speichern
➔ Sonderzeichen entfernen aus dem Pfad:
➔ vv cep 2015-12-31-17_49_25 ut-jd2457388.24265-dados1200L-VC-12.22279.fit
➔ Profil #01 Hide Profile from chart
➔ Projekt speichern *VV Cep Halpha.bass*

➔ Spektrum 03: Farbe ändern auf schwarz

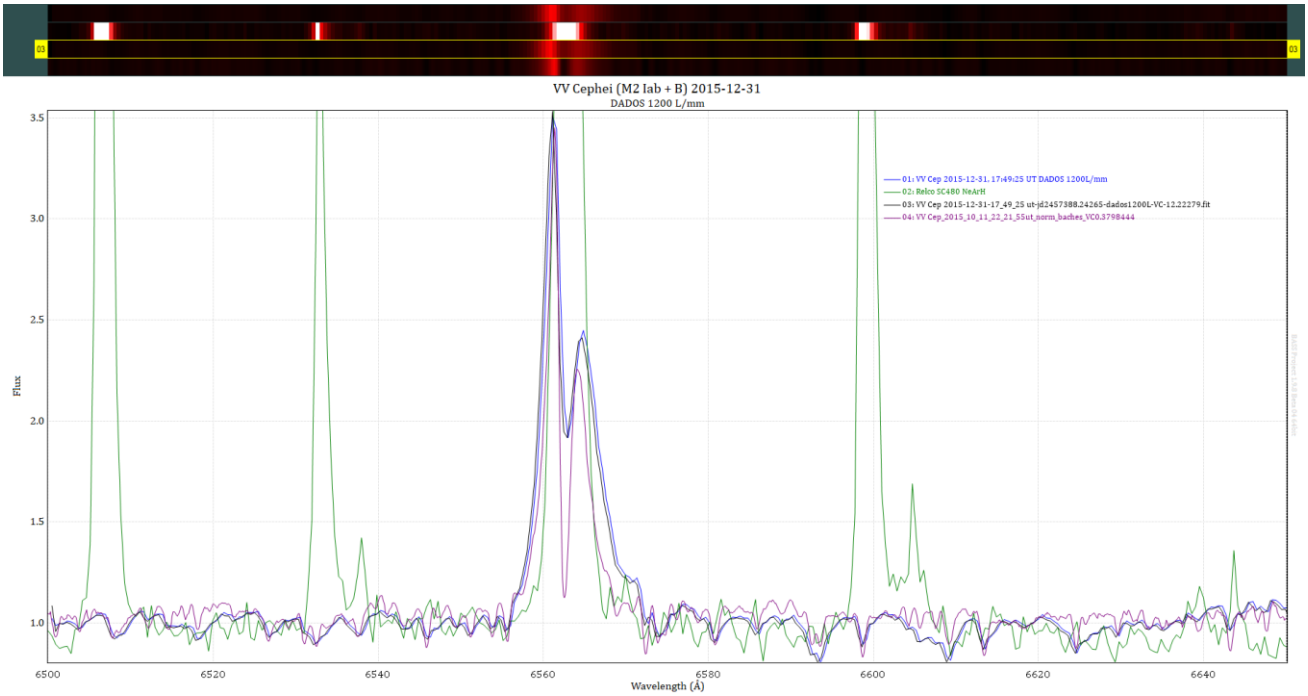


Heliozentrisch korrigiertes und normiertes BACHES-Vergleichsspektrum laden:

➔ vvcep_2015_10_11_22_21_55ut_norm_baches_VC0.3798444_helcor.fit



Diese vier Spektren sollten derzeit geladen sein:

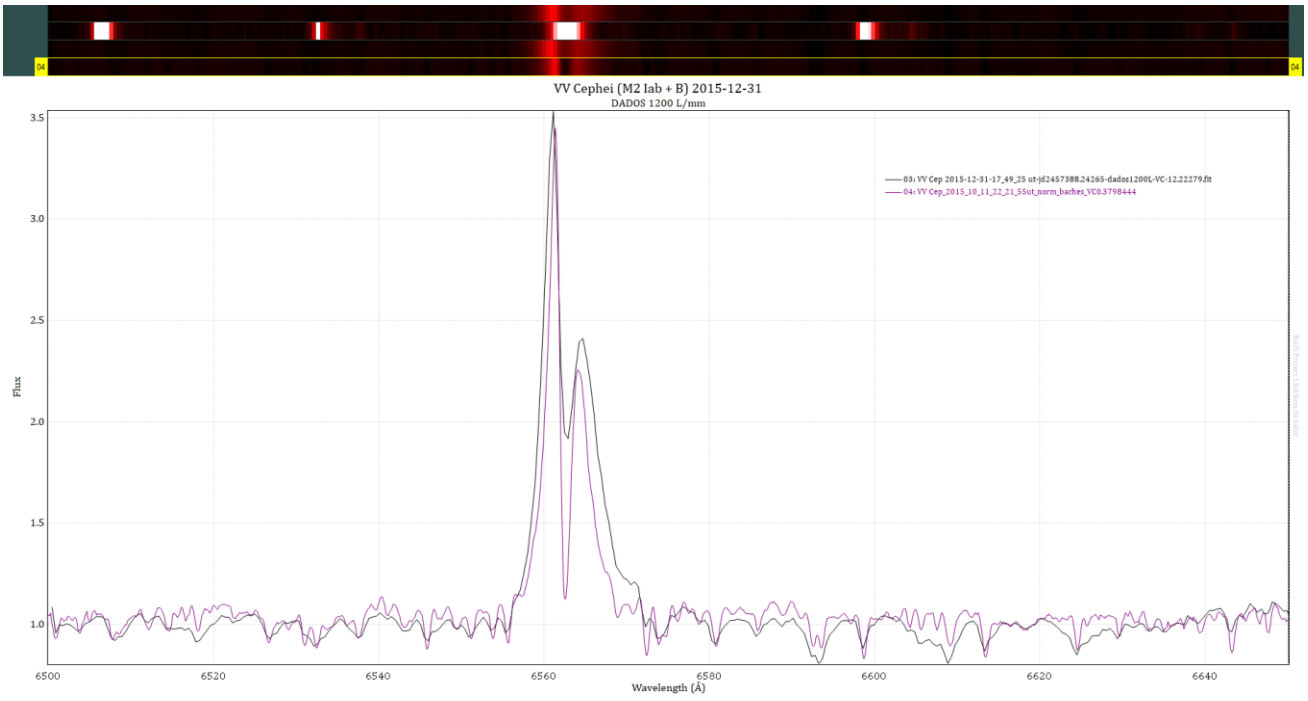


➔ Projekt speichern als Halpha.bass

➔ DADOS-Spektrum #01 Hide Profile from Chart

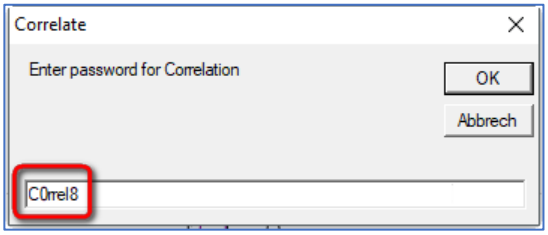
➔ DADOS-Spektrum #02 Hide Profile from Chart

Vergleich: Das BACHES-Spektrum ist mit einer Dispersion von ca. 0.1Å A/px höher aufgelöst als das des DADOS mit 0.44 Å/px.



Im Versuchsstadium: Kreuzkorrelation zweier Spektren (ohne Gewähr)

Tools ➔ Cross Correlation

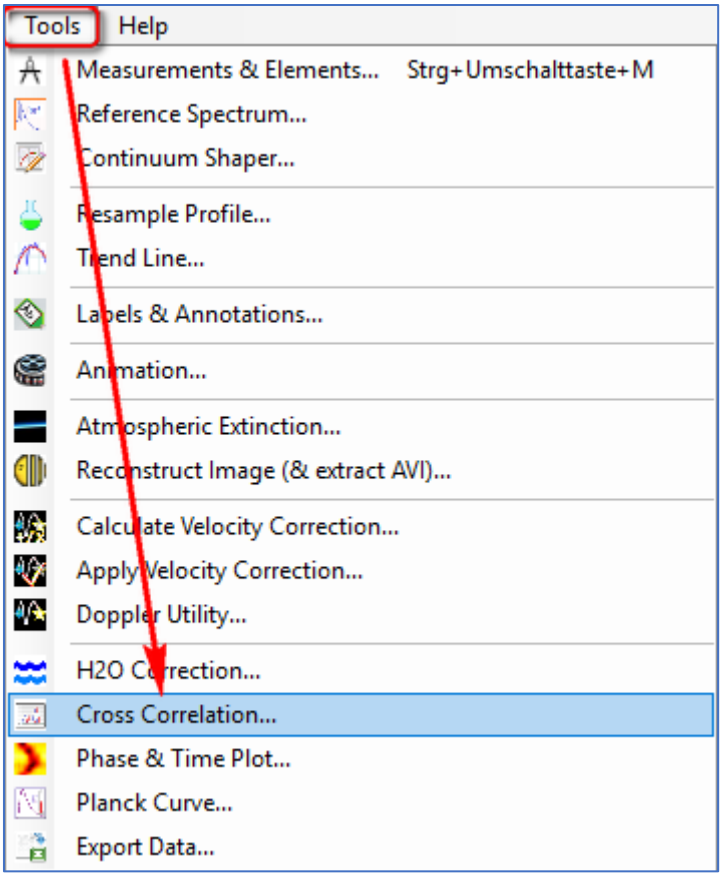


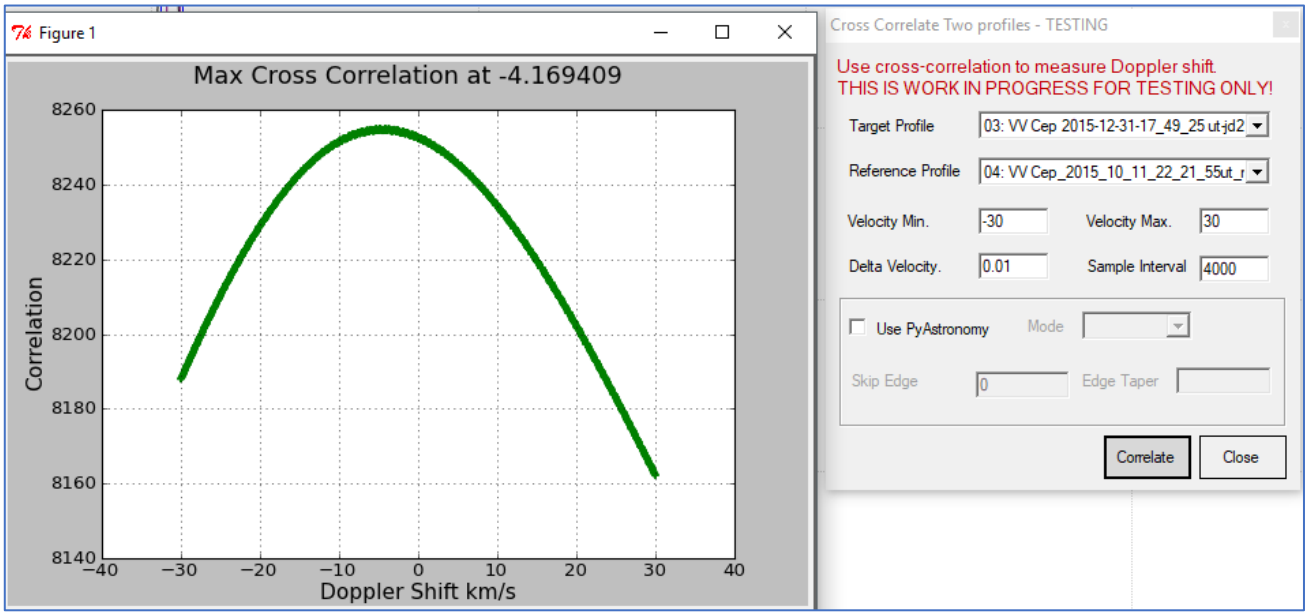
Passwort: C0rrel8 mit Ziffern 0 und 8

Die Spektren sind mit stark unterschiedlicher spektraler Auflösung aufgenommen worden, deshalb fällt ein Vergleich schwer.

Korreliert man beide Spektren, die mit stark unterschiedlicher Auflösung gewonnen wurden, so verbleibt eine Differenz von 4,16 km/s.

Korrelation von Spektrum #03 und Spektrum #04 im Interval 6500-6550: -4,16 km/s

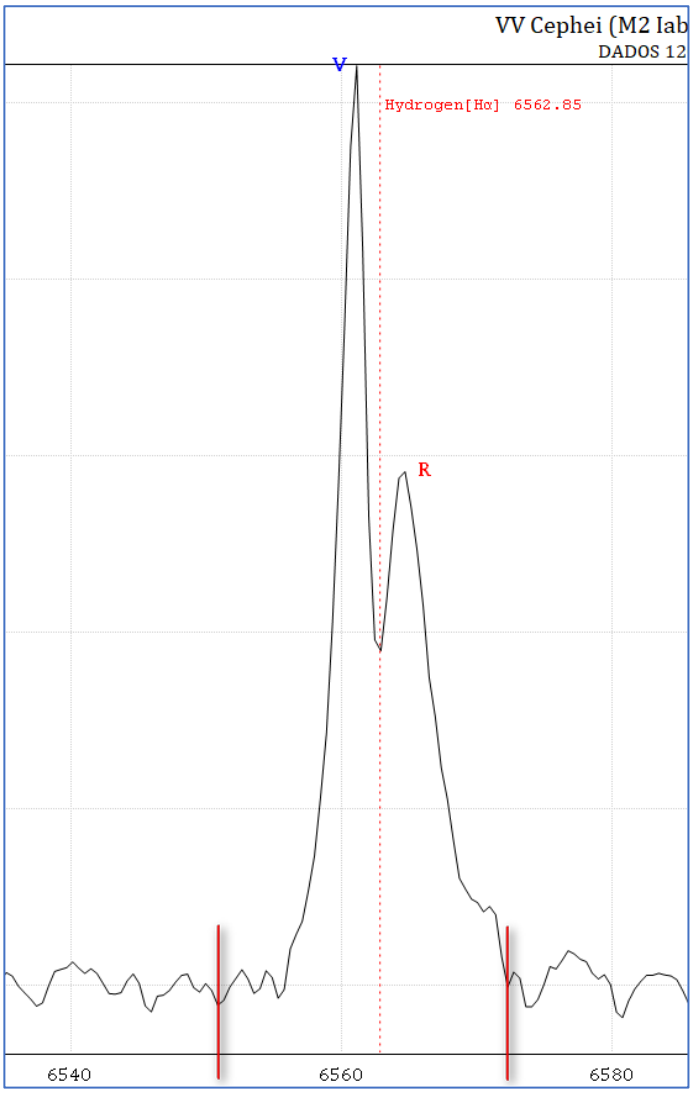




12.2 Sinnvolle Messgrößen für den DADOS mit Gitter 1200 L/mm

Folgende Messgrößen können bei der Hα-Linie ermittelt werden:

- Hα-Äquivalentbreite in Summe: EW(V+R) von (ca. 6551Å bis 6572Å)
- Intensität des Hα V-Peaks
- Intensität des Hα R-Peaks
- V/R-Verhältnis der Hα–Linie
- Heliozentrische Radialgeschwindigkeit HRV des Hα-Absorptionsminimums



Bemerkung: In jedem normierten Profil sind die Intensitäten gespeichert. Zur Darstellung auf dem Schirm kann man jedes Profil „einpassen“ (= „Scale as first Profile“) . ANGEZEIGT wird aber immer die Skalierung des ersten Profils. Mit der Maus erkennt man die korrekten Intensitätswerte.

Hinweis: Im Zuge der bis mindestens Mitte Mai 2019 laufenden ARAS-Beobachtungskampagne[7], geleitet von Ernst Pollmann[8], tragen Beobachter Spektren zum Monitoring von VV Cep bei, die mit Spektrografen höherer Auflösung als die des DADOS gewonnen wurden. Dies sind überwiegend Beiträge des LHIRES III-Spektrografen.

Auch das CFG Wuppertal beteiligt sich mit BACHES-Spektren anlässlich einer Jugend-forscht-Arbeit an dieser Kampagne. Autoren: Kevin Pixberg und Fabian Neußer. Fachliche Beratung: Ernst Pollmann. Betreuer: Bernd Koch.

Hinweis: Zur Teilnahme an der Kampagne ist ein spektrales Auflösungsvermögen von R>11000 erforderlich. Der DADOS erreicht ca. R=4000. Es ist jedoch auch mit dem DADOS spannend, das Bedeckungsereignis zu verfolgen. In einem eigenen Projekt zu VV Cep können mit dem DADOS der Gesamt-EW-Wert und das V/R-Verhältnis ermittelt werden.

[7] http://www.spectro-aras.com/forum/viewtopic.php?f=19&t=1813
[8] http://astrospectroscopy.de/projects.html

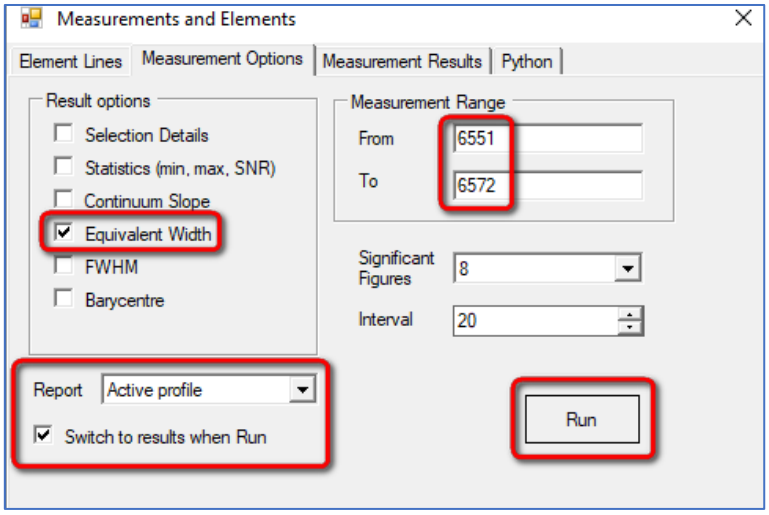
12.3 Erfassung der Messgrößen

Im folgenden wollen wir die definierten Messgrößen erfassen. Für V, R, EW(6551-6572 gelingt das mit BASS, aber wir benötigen zur Ermittlung der Teil-EW-Werte (EW(V) und EW (R) eine andere Software: Plot Spectra

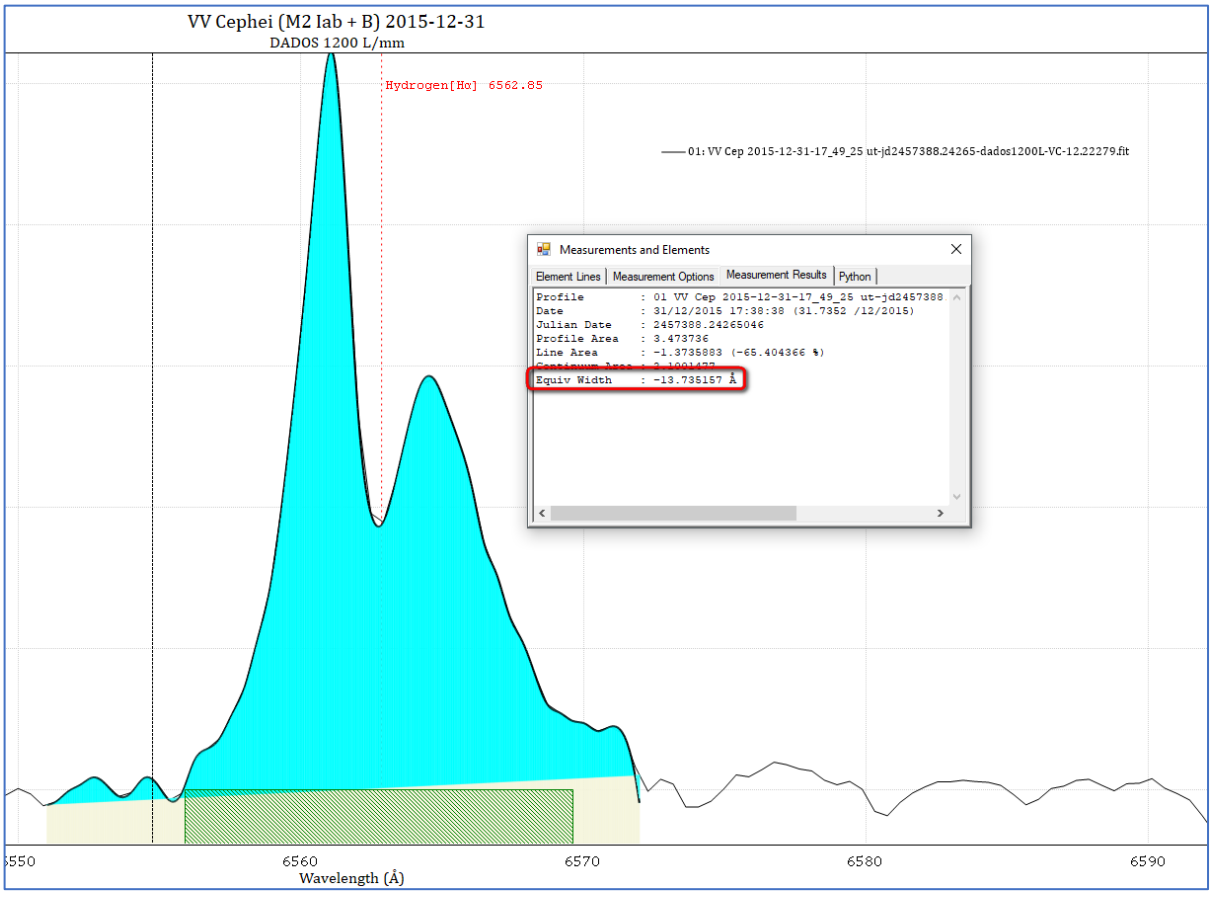
Messung in BASS:

Da sich in diesem Spektrum die V und die R-Komponente überlagern aufgrund eines nicht ausreichenden spektralen Auflösungsvermögens, messen wir die gesamte Äquivalentbreite EW von 6551 bis 6572Å

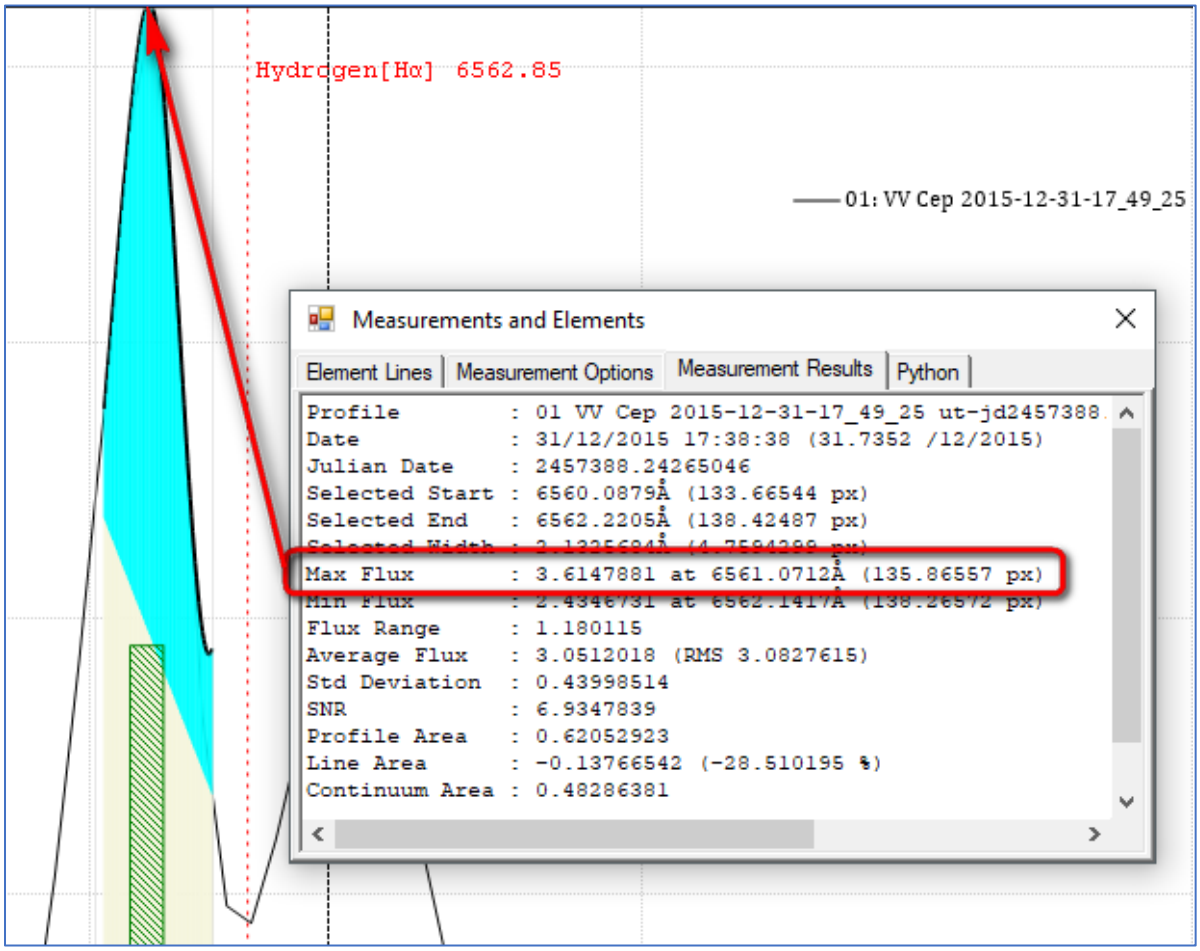
- ➔ Measurements and Elements
- ➔ Element File: LambdaData.dat
- ➔ Measurement Options: Equivalent Width



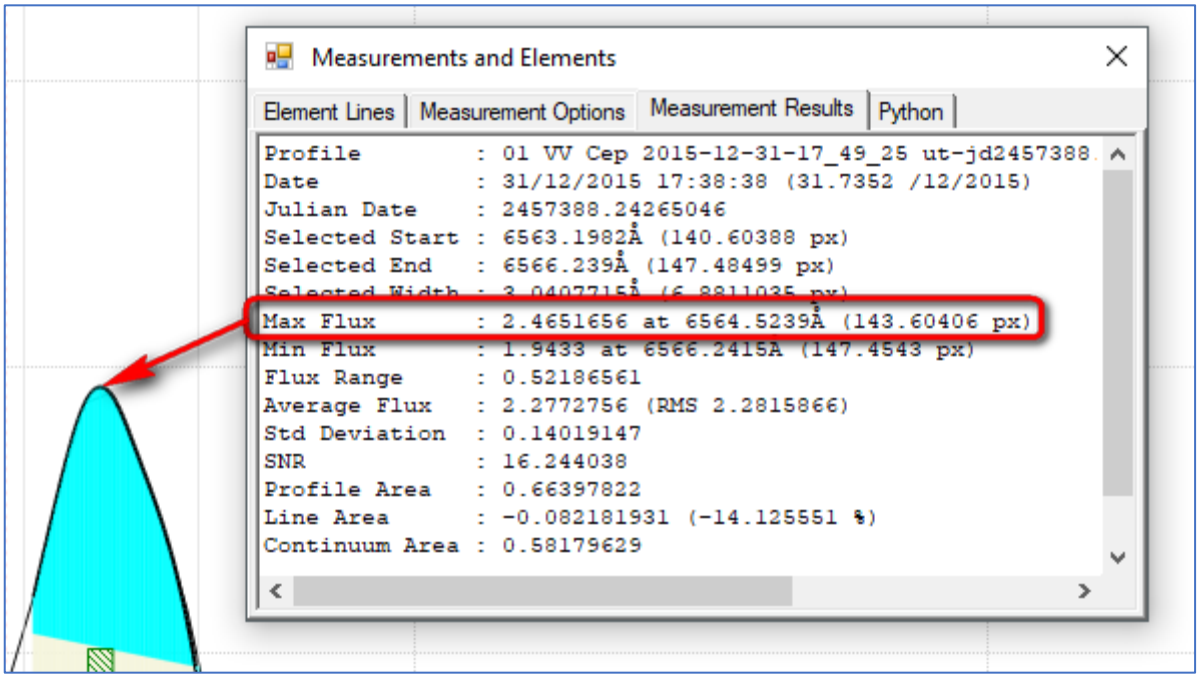
➔ Resultat: Equivalent Width EW=-13,74Å.



➔ Resultat: Maximaler Fluss V=3.61



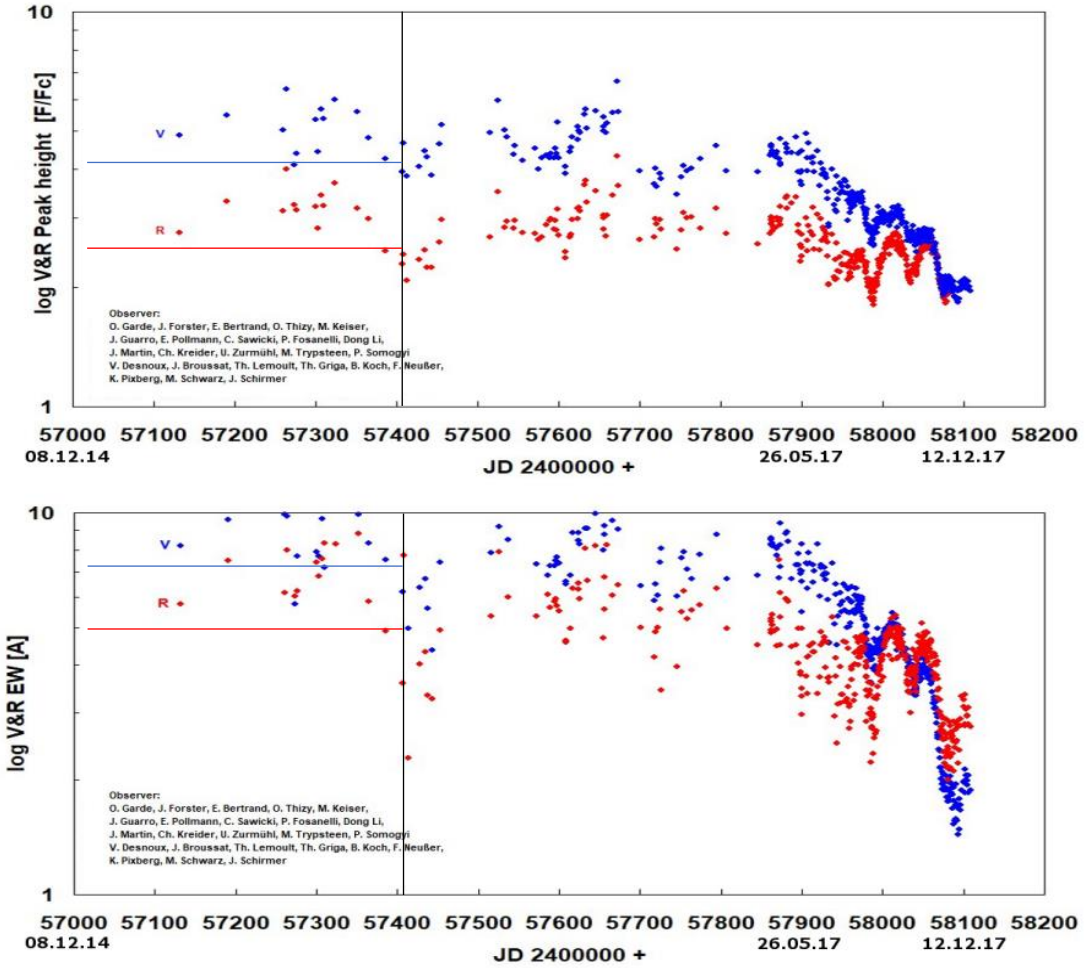
➔ Resultat: Maximaler Fluss R=2.46



Ergebnisvergleich mit der ARAS-Kampagne:

Messgröße	ARAS-Kampagne am 31.12.2015	DADOS-Messung am 31.12.2015
V	4.0 ± 0.5	3.61
R	2.5 ± 0.5	2.46
V/R	1.60	1.47
EW(V) [Å]	-7.0 ± 1	nicht messbar
EW(R) [Å]	-5.0 ± 1	nicht messbar
EW(V)+EW(R) [Å]	-12.0 ± 2	-13.7Å

Zur Erinnerung: Die spektrale Auflösung des DADOS mit dem Gitter 1200 L/mm beträgt ca. 4000. EW-Werte der Teilbereiche V und R können nicht gemessen werden, hingegen das V/R-Verhältnis.



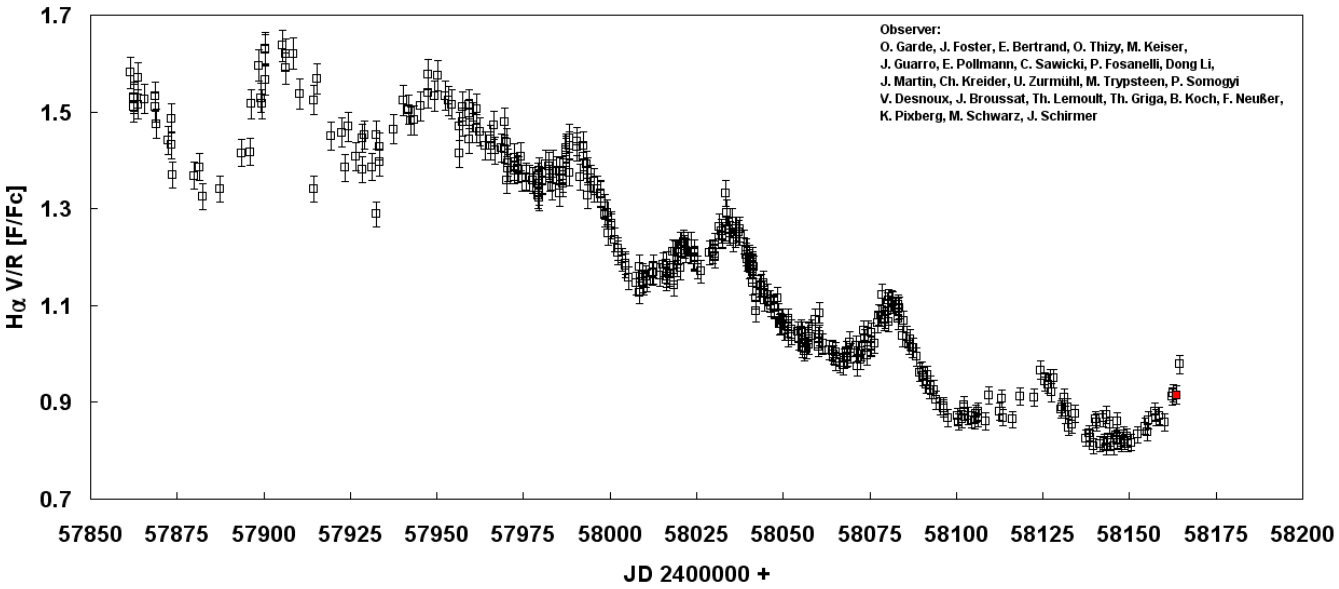
Die senkrechte schwarze Linie gibt den Zeitpunkt dieser DADOS-Beobachtung (31.12.2015) an. Grafik: Ernst Pollmann.

Hinweis: Die Messwerte der ARAS-Kampagne[9] wurden mit hoch auflösenden Spektrografen, wie dem LHIRES III und dem BACHES mit R>10000 gewonnen und zentral von Ernst Pollmann in einem einheitlichen Normierungsverfahren ermittelt. Die in diesem Tutorial durchgefühte Normierung des DADOS-Spektrums des Autors muss wegen nicht allgemein festgelegter Messmethoden zwangläufig mit der von Ernst Pollmann

[9] ARAS-Forschungskampagne VV-Cephei. Mitwirkende: O. Garde, J. Foster, E. Bertrand, O. Thizy, M. Keiser, J. Guarro, E. Pollmann, C. Sawicki, P. Fosanelli, Dong Li, J. Martin, Ch. Kreider, U. Zurmühl, M. Trypsteen, P. Somogyi, V. Desnoux, J. Broussat, Th. Lemoult, Th. Griga, B. Koch, F. Neußer, K. Pixberg, M. Schwarz, T. Lester, J. Schirmer. Von 2017 bis 2019. url: http: //www.astrosurf.com/aras/.

übereinstimmen. Ziel ist zu zeigen, dass man den qualitativen der Bedeckung auch mit rel. niedriger Auflösung verfolgen kann. Für weitergehende Modellrechnungen sind allerdings nur höher ausgelöste Spektren sinnvoll.

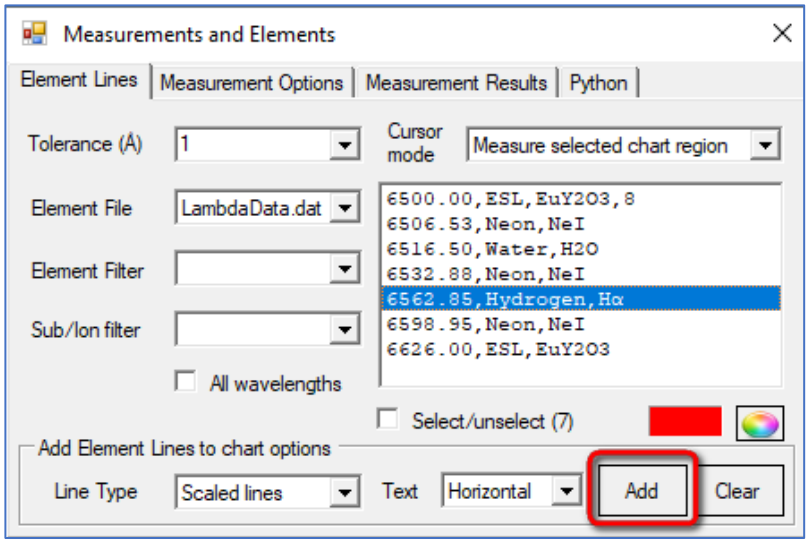
Die Messung der EW-Werte mit dem DADOS ist bei VV Cep nicht möglich. Aberman kann die Peakhöhen V und R bestimmen und das Peakhöhenverhältnis V/R berechnen.



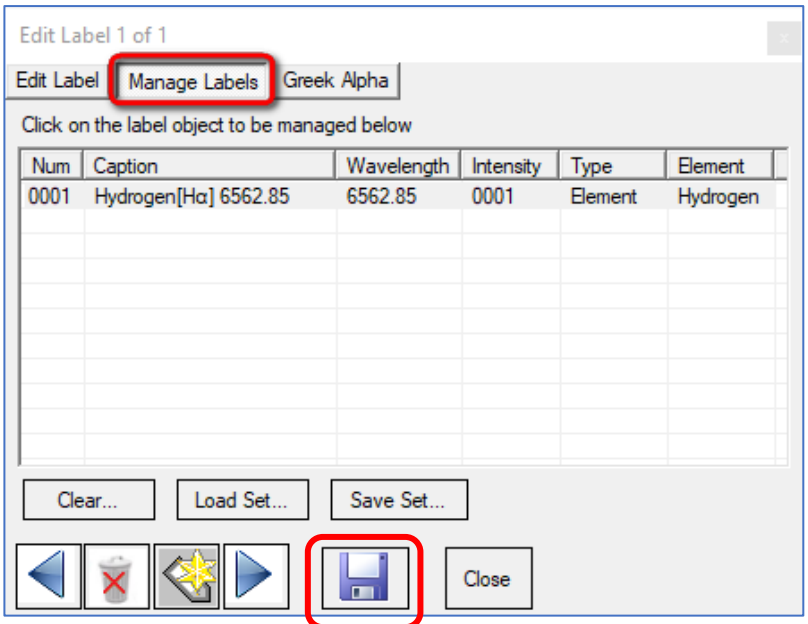
Der rote Punkt ist eine Messung, die am 13.2.2018 mit dem BACHES Echelle angefertigt wurde und die sich in das ARAS-Monitoring nahtlos einfügt. Erkennbar ist eine Periodizität von ca. 43 Tagen. Die Ursache wird in einer Nickschwingung der Scheibe des B-Sterns vermutet. Quelle: Ernst Pollmann. Stand: Mitte Februar 2018

13 Beschriftung des normierten Spektrums

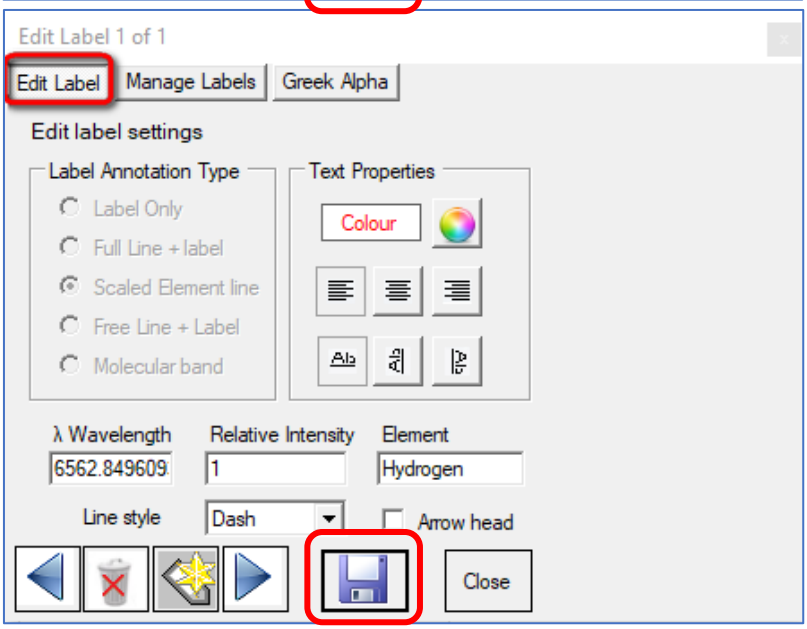
➔ Hα-Ruhewellenlänge einzeichnen

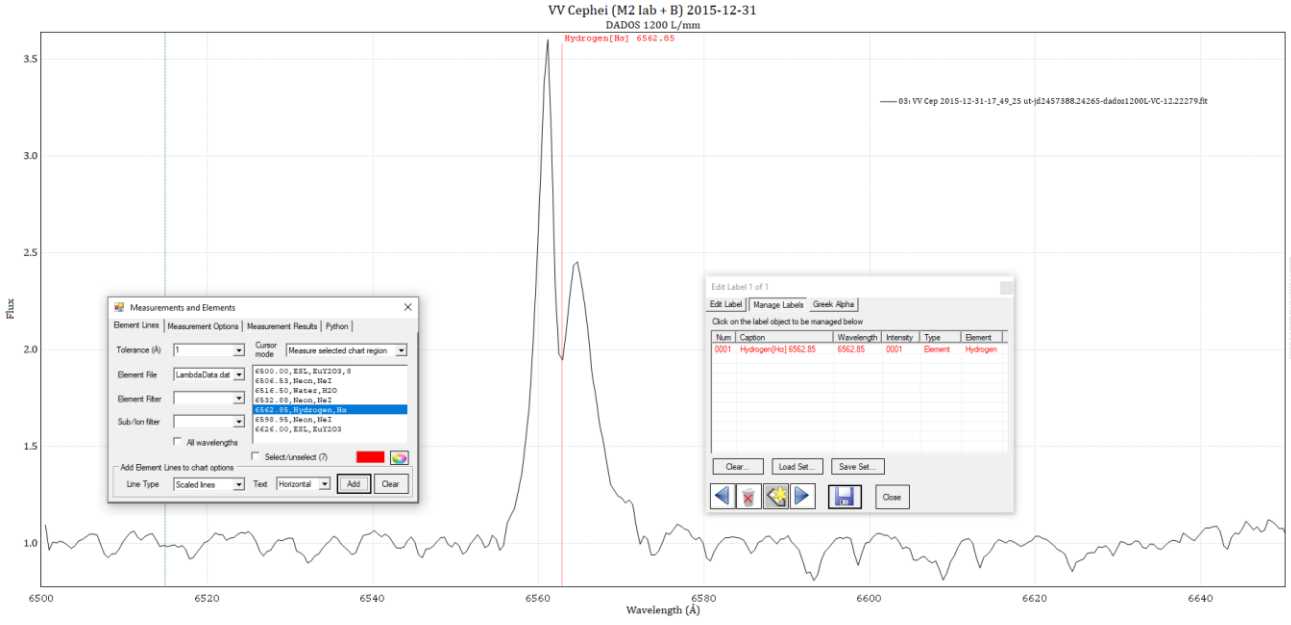


➔ Label the chart
➔ Manage Labels
➔ Speichern
➔ Projekt speichern



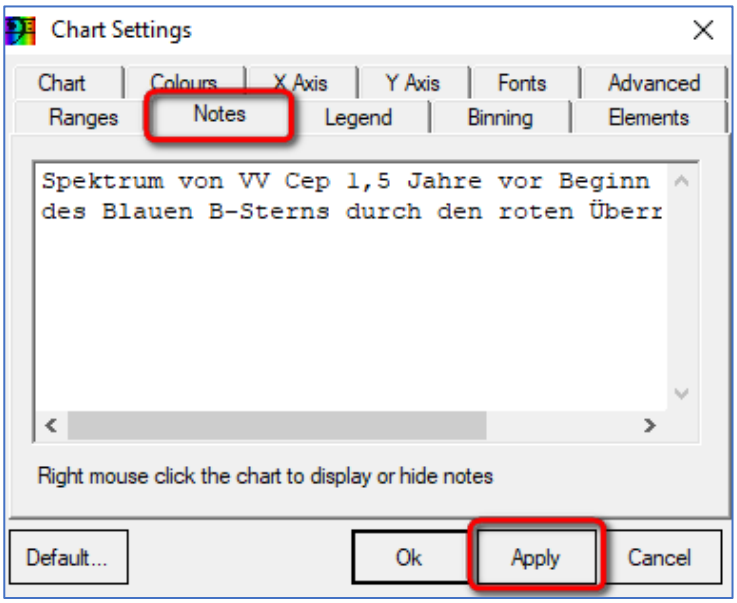
➔ Edit Label
➔ Speichern
➔ Projekt speichern





14 Notizen erstellen und einblenden

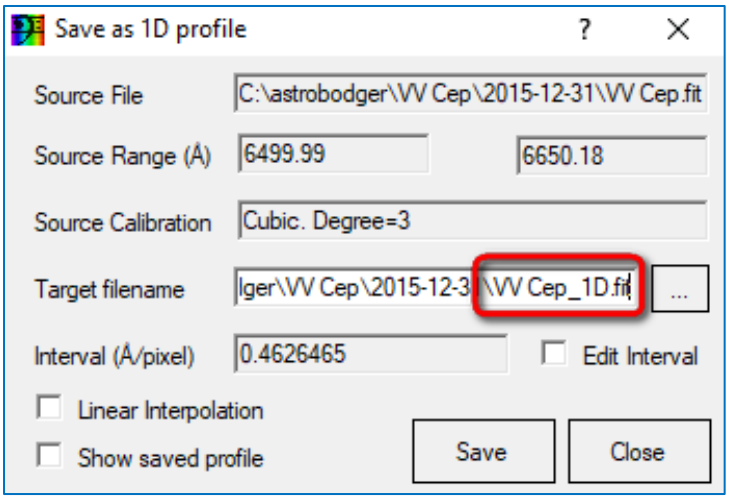
➔ Chart Settings



15. Speichern: Projekt und 1D-Profil

➔ Speichern des Projekts mit allen Skalierungen und Beschriftungen: *VV Cep Halpha.bass*

➔ Speichern des Spektralprofils (_1D), um es bsp. in VisualSpec oder MIDAS zu verarbeiten: *VV Cep_1D.fit*



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

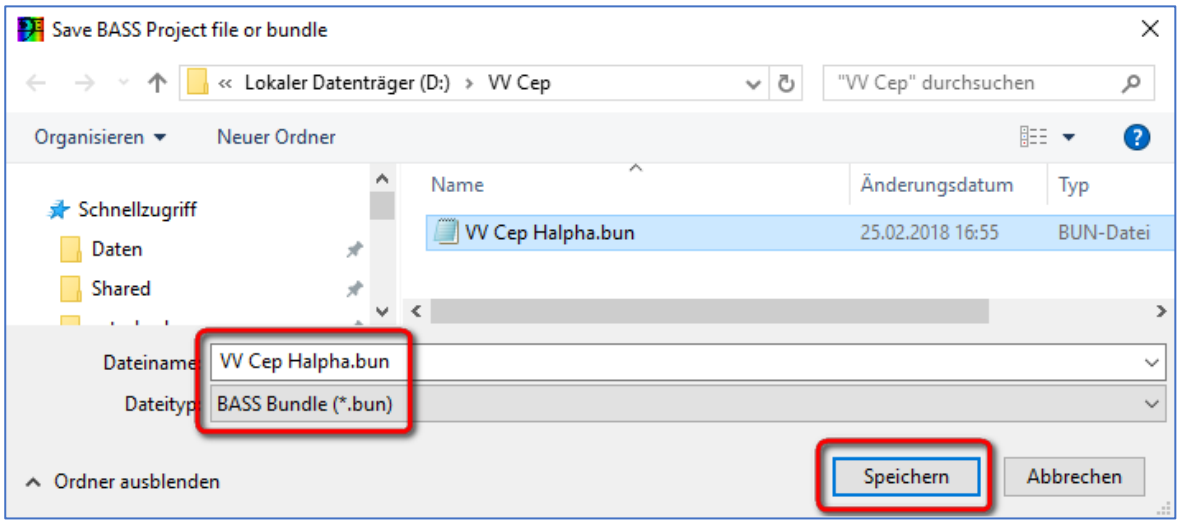
BASS arbeitet projektbezogen. Das bedeutet, dass alle für das Projekt benötigten oder erstellten Dateien einen festen Pfad besitzen und in einem festen Ordner, hier C:/*astrobodger/* ... vorhanden sein müssen. Deshalb findet diese Kalibrierung von VV Cep gemäß Tutorial ausschließlich im Ordner *c:/astrobodger/VV Cep/2015-12-31* 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/VV Cep/2015-12-31* die BASS-Datei (Beispiel: *VV Cep Halpha.bass* und speichert das Projekt im neuen Ordner wie folgt als „Bundle“ ab:

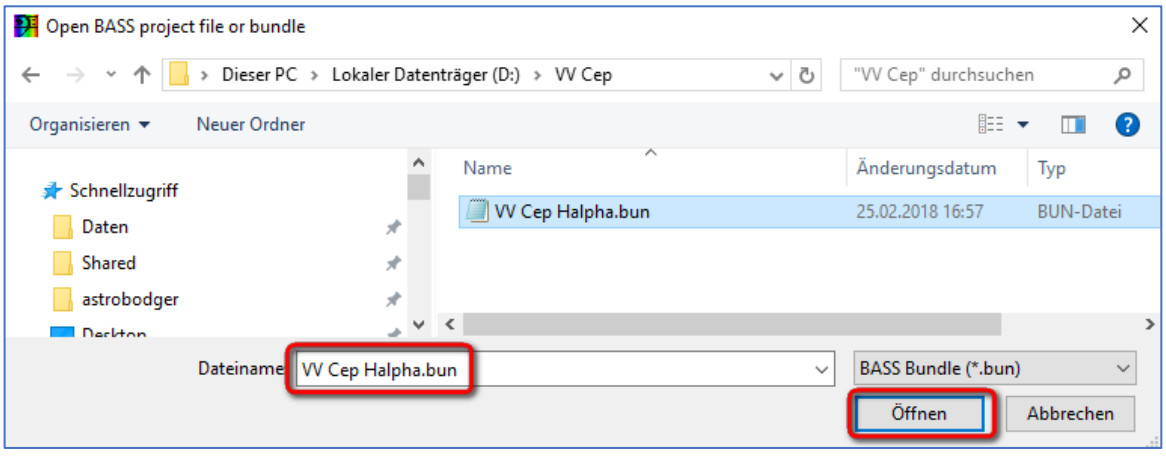
Speichern als Bundle am neuen Ort:

- ➔ File
- ➔ Save Project or Bundle
- ➔ *D:/VV Cep/VV Cep Halpha.bun*



Entpacken des Bundles am neuen Ort

- ➔ File
- ➔ Open Project or Bundle
- ➔ *D:/VV Cep/VV Cep Halpha.bun*
- ➔ Dort öffnet man die .bass-Datei des Projekts und arbeitet wie gewohnt weiter.



17. Kurse zur Sternspektroskopie am CFG Wuppertal

Das Tutorials 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:

https://www.baader-planetarium.com/de/blog/aktuelle-spektroskopie-kurse-am-schuelerlabor-astronomie/

Technikkurs im Astro-Unterrichtsraum

Vorbereitungen für die abendliche Aufnahme der Sternspektren