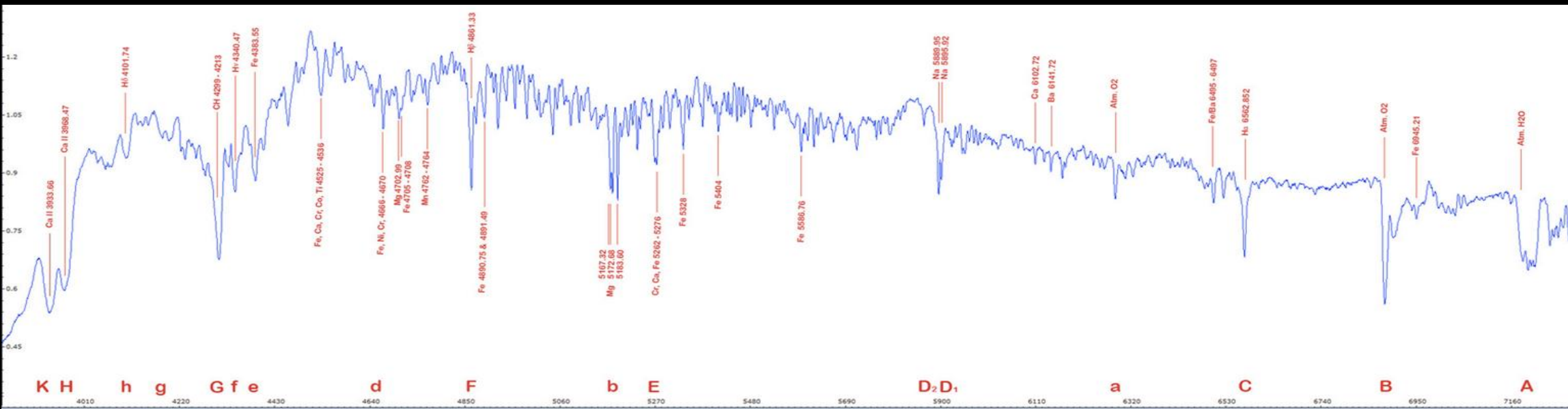




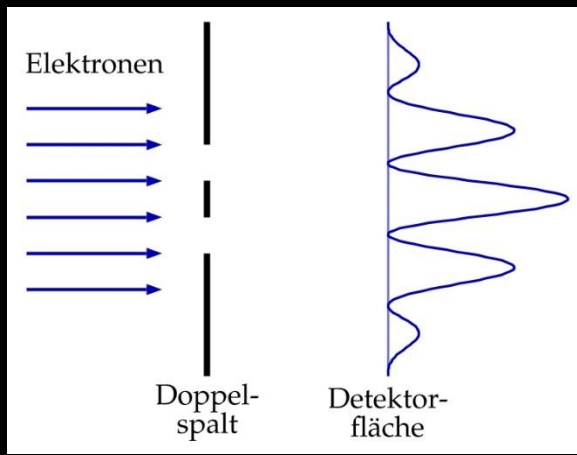
# Spektroskopie Workshop für Einsteiger



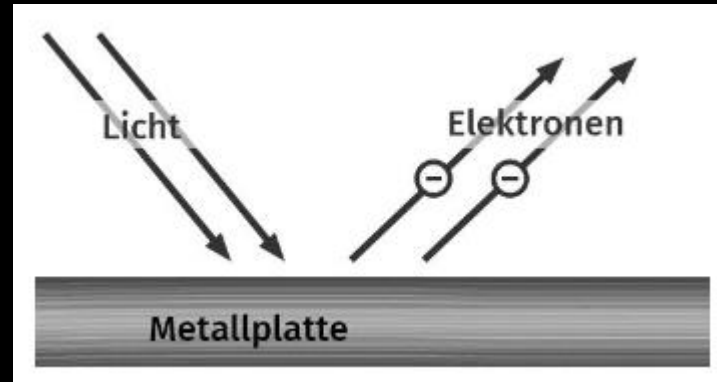
Thomas Young  
1773 - 1829

# Licht

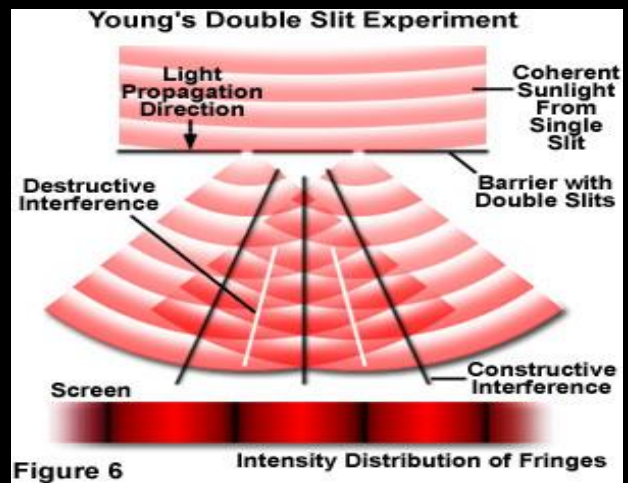
Licht ist eine Welle



Licht besteht aus Teilchen



## Wellen-Teilchen Dualismus

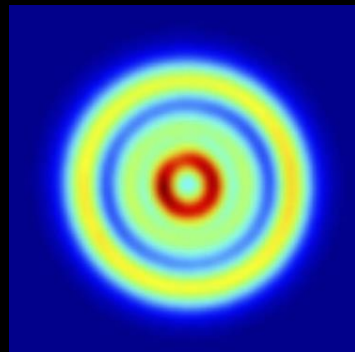
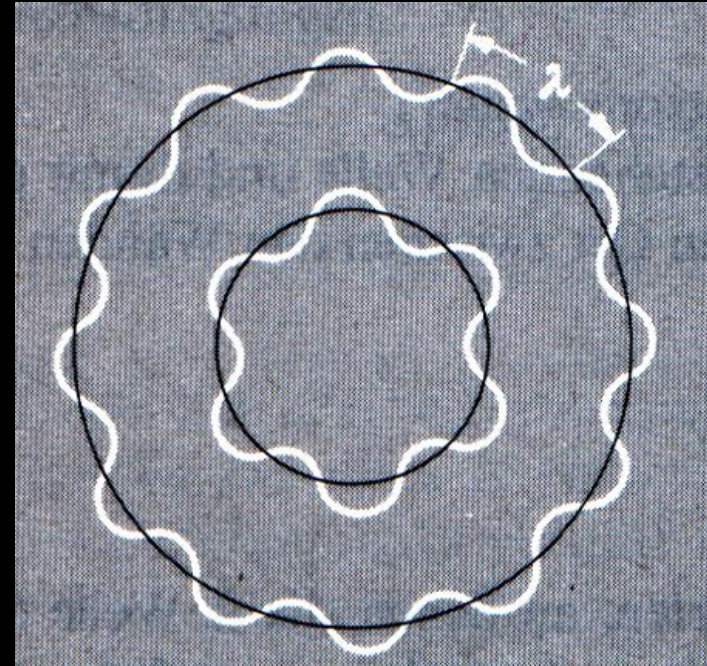
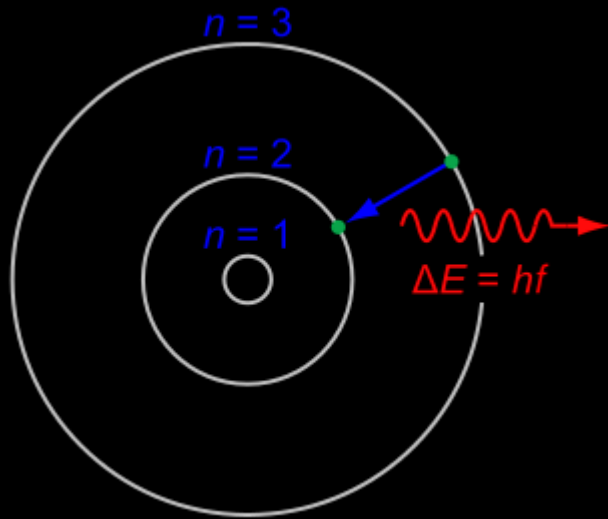


Bei Wechselwirkungen mit Materie wie beim Photoelektrischen-Effekt verhält sich Licht wie ein Teilchen

# Das Atom

Das Bohrsche Atommodell

Niels Bohr  
1885 - 1962



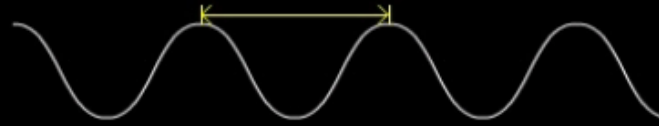
Elektronen-Wolke

$$2\pi r_n = n \cdot \lambda$$

# Die Welle

## Anatomy of a Wave

**Wavelength:** the distance between adjacent crests (or troughs)



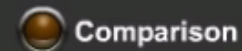
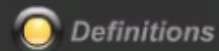
**Amplitude:** half the difference in height between a crest and a trough



**Frequency:** the number of crests that pass through a point (such as the leaf) each second. It is measured in units of hertz (Hz), which are cycles per second



**Speed:** how fast the pattern of crests and troughs moves forward



How To Use

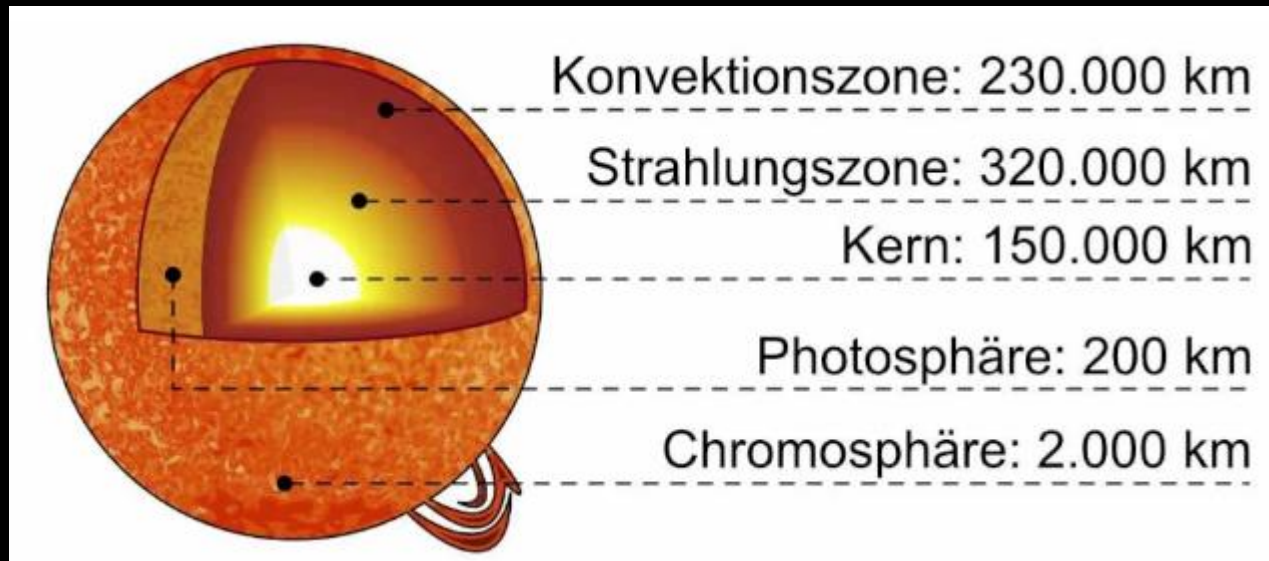
Credits

© 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

$$f = c / \lambda$$



# Wie entsteht Licht?

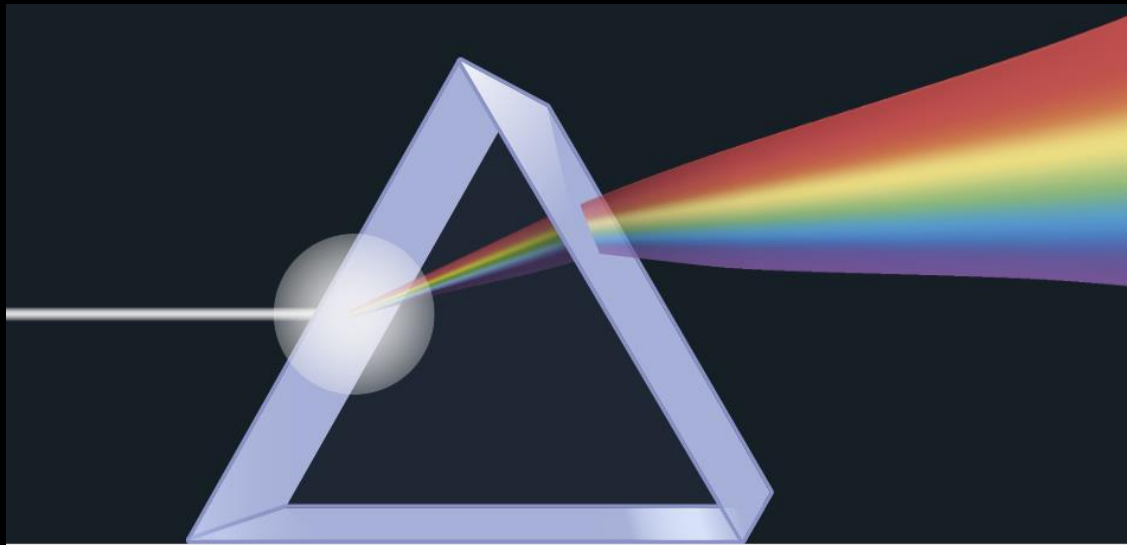


Photonen werden im inneren der Sonne bei der Fusion erzeugt. Durch die Dichte im Sonneninneren benötigen die Photonen zwischen 10.000 und 170.000 Jahren, bis sie die Sonne verlassen.

Licht entsteht also im Inneren einer Sonne, wobei hier Photonen mit mehr oder weniger beliebiger Energie erzeugt werden, wodurch ein kontinuierliches Spektrum des Lichts erzeugt wird.

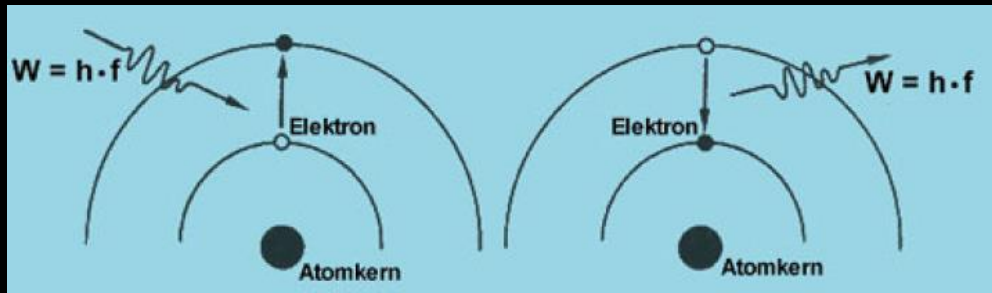
Wir nennen dies **Kontinuum**.

# Auffächerung des Lichts



Wird Licht durch ein Glasprisma geleitet, fächert es sich wellenlängenmäßig auf. Der Grund hierfür ist der unterschiedliche Brechungsindex je nach Energie der Photonen, also der Wellenlängen. Im visuellen Bereich sind das die Farben. Das aufgefächerte Licht ist das **Spektrum**.

# Absorptionslinien

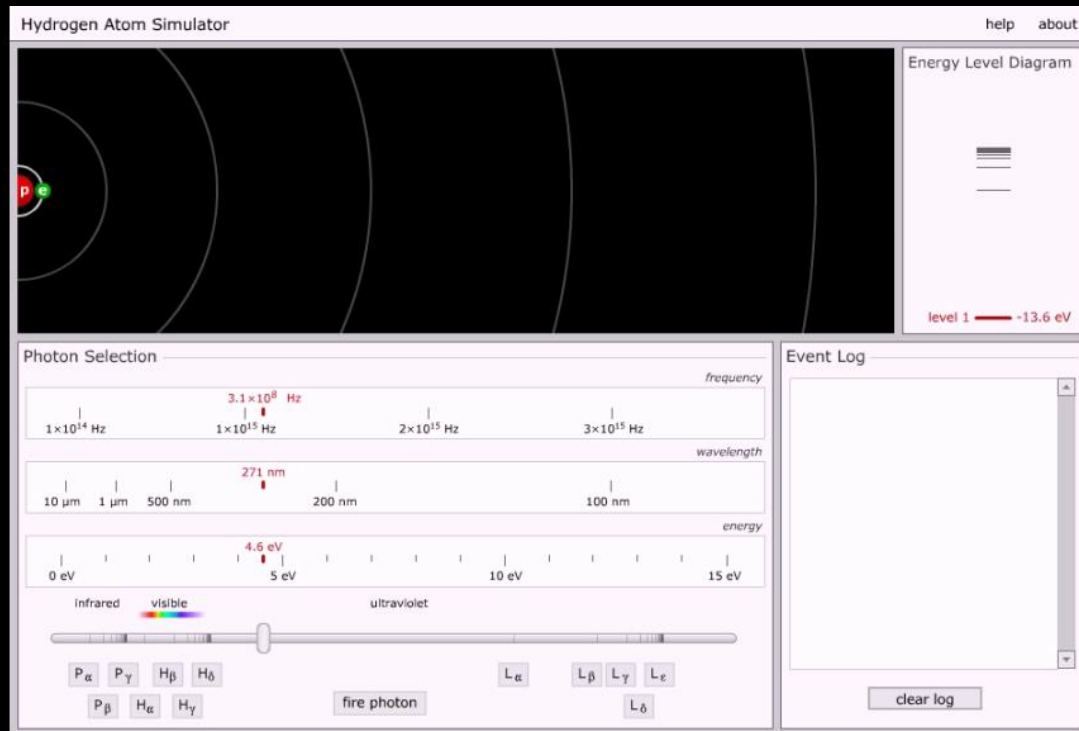


Trifft ein Photon ein Elektron in einem Atomverbund und hat dieses Photon exakt diejenige Energie, welche nötig ist, um das Elektron in eine höhere Schale zu heben, wird dieses Photon absorbiert und das Elektron wechselt die Schalenebene.

Das Elektron kann aber nicht dauerhaft in der neuen Ebene gehalten werden (da die Grundenergie (z.B. Die Temperatur) nicht diese Energie aufbringt und es fällt innerhalb von Nanosekunden wieder in die ursprüngliche Schale zurück. Dies kann auch über mehrere Schalensprünge erfolgen.

Beim Wechsel zu einer inneren Schale wird je nach Energiedifferenz wieder ein Photon mit dieser Energie (=Wellenlänge) in eine beliebige Richtung abgestrahlt.

# Absorptionslinien



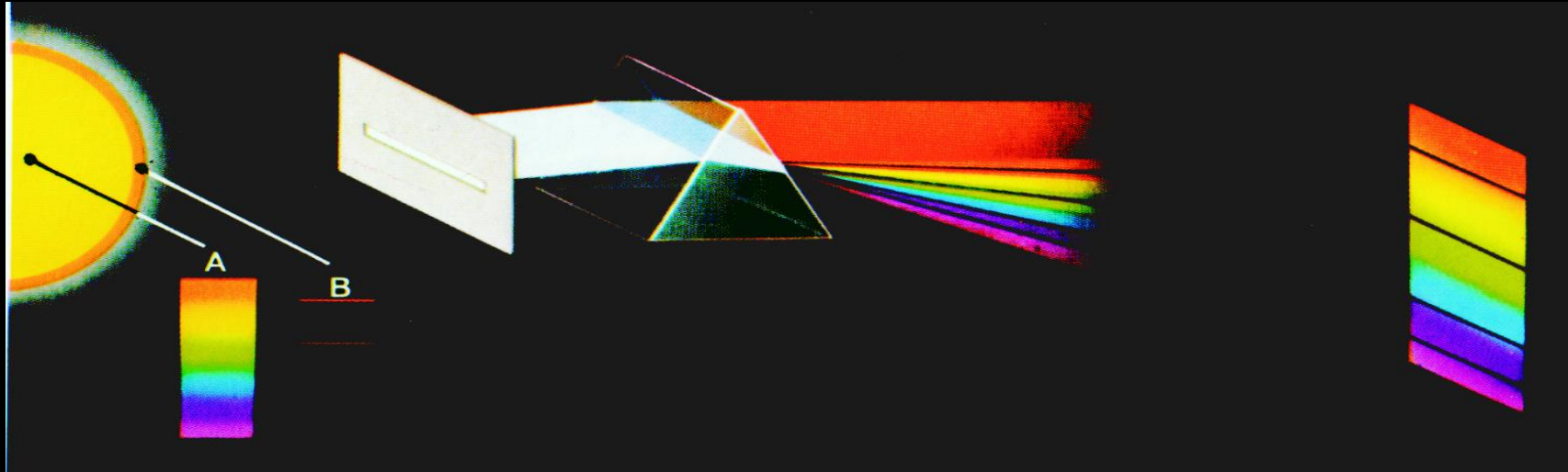
Trifft ein Photon ein Elektron in einem Atomverbund und hat dieses Photon exakt diejenige Energie, welche nötig ist, um das Elektron in eine höhere Schale zu heben, wird dieses Photon absorbiert und das Elektron wechselt die Schalenebene.

Das Elektron kann aber nicht dauerhaft in der neuen Ebene gehalten werden (da die Grundenergie (z.B. Die Temperatur) nicht diese Energie aufbringt und es fällt innerhalb von Nanosekunden wieder in die ursprüngliche Schale zurück. Dies kann auch über mehrere Schalensprünge erfolgen.

Beim Wechsel zu einer inneren Schale wird je nach Energiedifferenz wieder ein Photon mit dieser Energie (=Wellenlänge) in eine beliebige Richtung abgestrahlt.



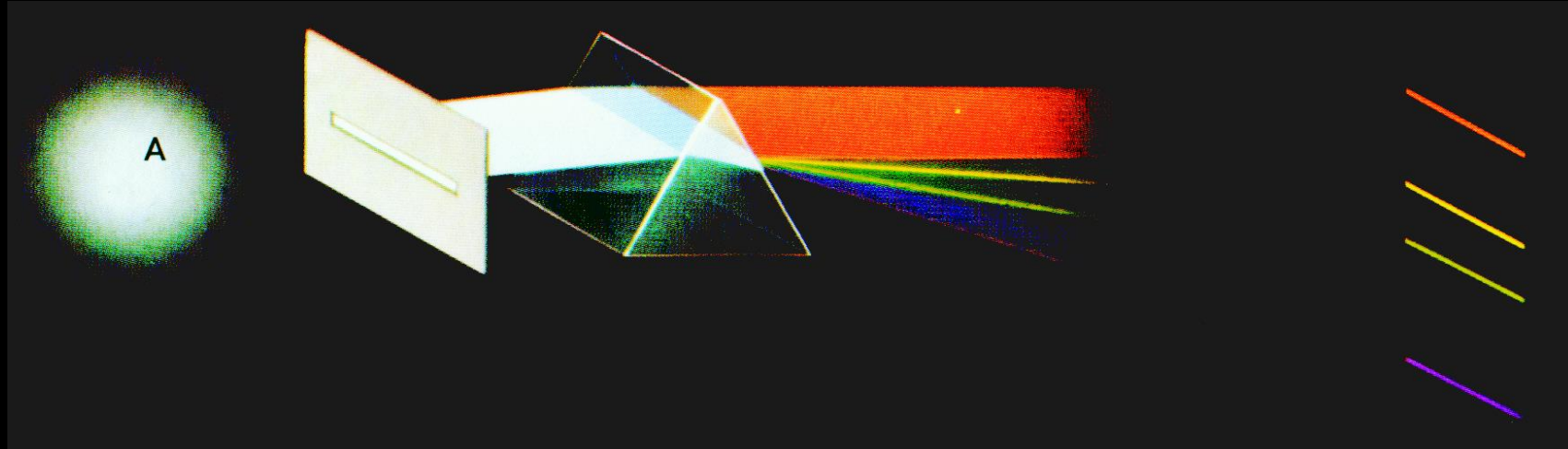
# Absorptionslinien



Es wird ein kontinuierliches Spektrum im Sonneninneren erzeugt. Die Photonen treffen nun auf die kühlere Oberfläche (Photosphäre) und je nach deren Temperatur halten die verschiedenen Elemente die Elektronen in höheren Schalen. Die Photonen aus dem Sonneninneren mit exakt der Energie, welche die Elektronen eines Elements in der Photosphäre in ein höheres Energieniveau heben können, werden von dem Elektron absorbiert, fehlen also in unserem kontinuierlichen Spektrum, wodurch in dieser Wellenlänge weniger Photonen bei uns ankommen.

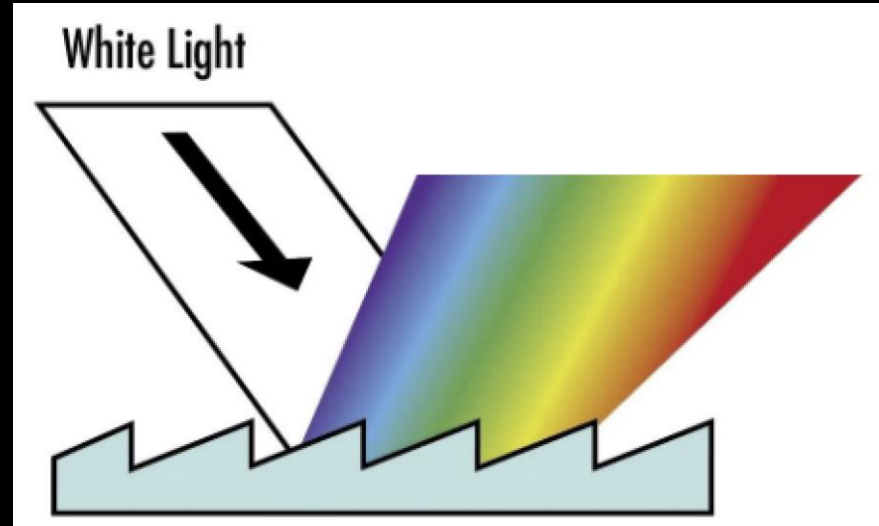
Es wird zwar durch den Rückfall des Elektrons wieder ein Photon erzeugt, dieses verlässt das Atom aber in beliebiger Richtung, also nicht zwingend in die Richtung des Beobachters.

# Emissinslinien



Wird ein dünnes Gas durch hohe Temperatur ionisiert (z.B. UV-Strahlung durch einen nahen heißen Stern), d.h. die Elektronen werden aus dem Atomverbund gelöst und bewegen sich frei im Raum, kommt es immer wieder zu Rekombinationen. Also ein freies Elektron trifft auf ein Atom und fügt sich wieder auf einem Energieniveau in den Atomverbund ein. Hierbei wird wieder ein Photon mit der entsprechenden Wellenlänge ausgesendet. Die Energiequelle für die Ionisierung wird aber natürlich dafür sorgen, dass dieses Elektron bald darauf wieder den Atomverbund verlässt.

# Blaze-Gitter anstatt Prisma

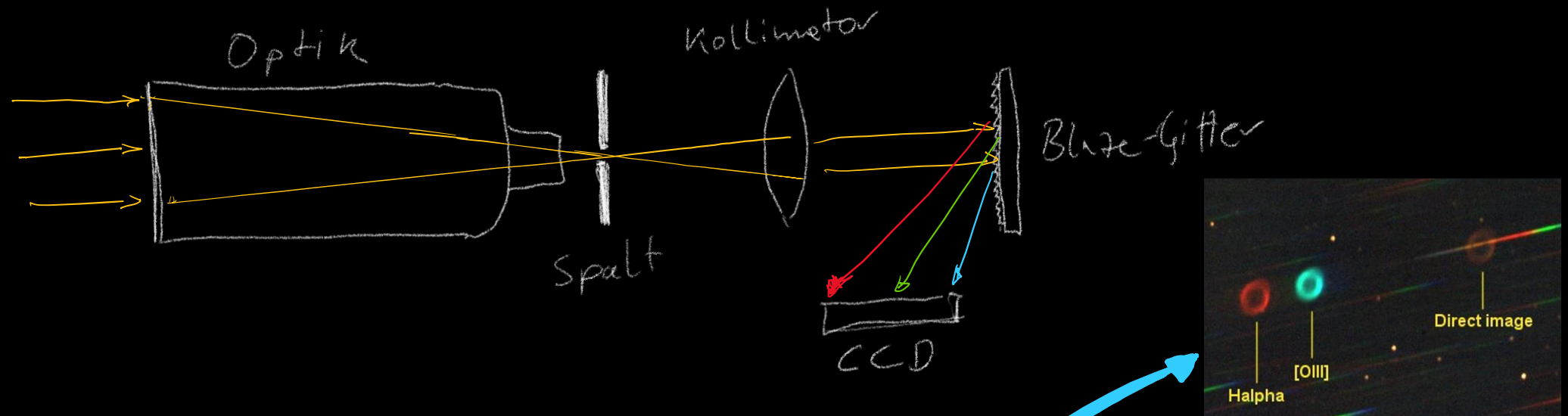


Das Blaze-Gitter kann als Spiegel (siehe Abbildung) oder als Filter (Durchlicht) ausgeführt sein. Kleine Stufen oder Rillen sind in einem definierten Abstand im Glas eingeritzt. Die Liniendichte wird in Linien pro mm angegeben. Umso höher die Liniendichte ist, umso weiter werden die Wellenlängen aufgespreizt und umso höhere Auflösungen kann man erreichen. Allerdings erscheint dann die Abbildung auch dunkler, da sich dieselbe Lichtmenge auf eine größere Fläche verteilt.

Beispiele:

Star-Analyser:	100 bz. 200 l/mm
Alpy (Shelyak):	600 l/mm
Dados (Baader):	bis 1800 l/mm
Lhires III (Shelyak):	bis 2400 l/mm

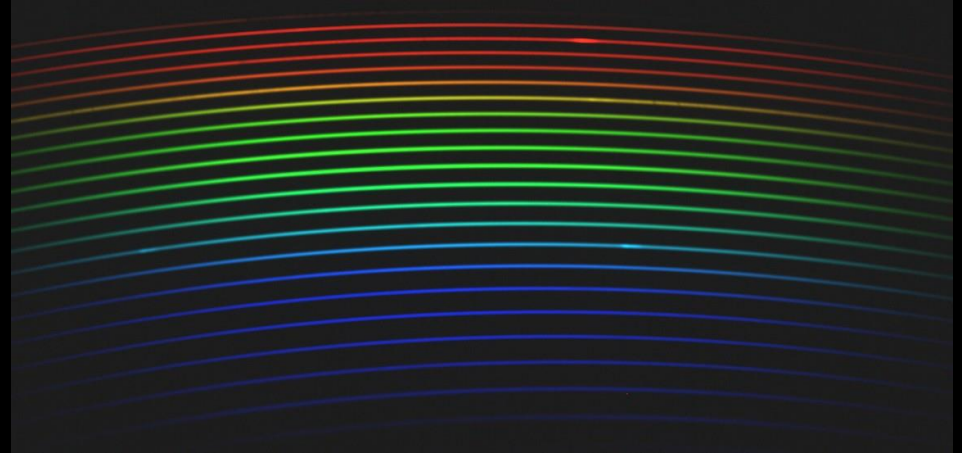
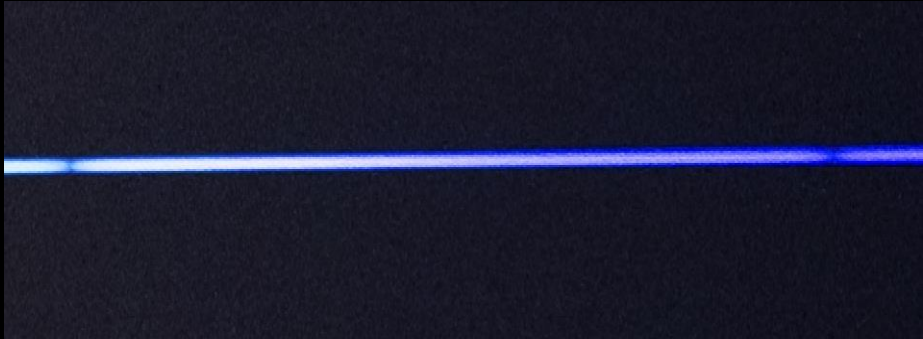
# Spalt-Spektrographen



Arbeitet man ohne Spalt, so wird das Objekt in jeder Wellenlänge extra abgebildet. Bei einem punktförmigen Stern wäre das eigentlich kein Problem, allerdings beeinträchtigt dann die Schärfe und das Seeing die Auflösung. Bei flächigen Objekten ist das natürlich eher unbrauchbar. Setzt man aber einen Spalt in den Fokus, bestimmt der Spalt die Auflösung. Umso schmaler der Spalt ist, desto höher die Auflösung. Allerdings wird die Abbildung wieder entsprechend dunkler.



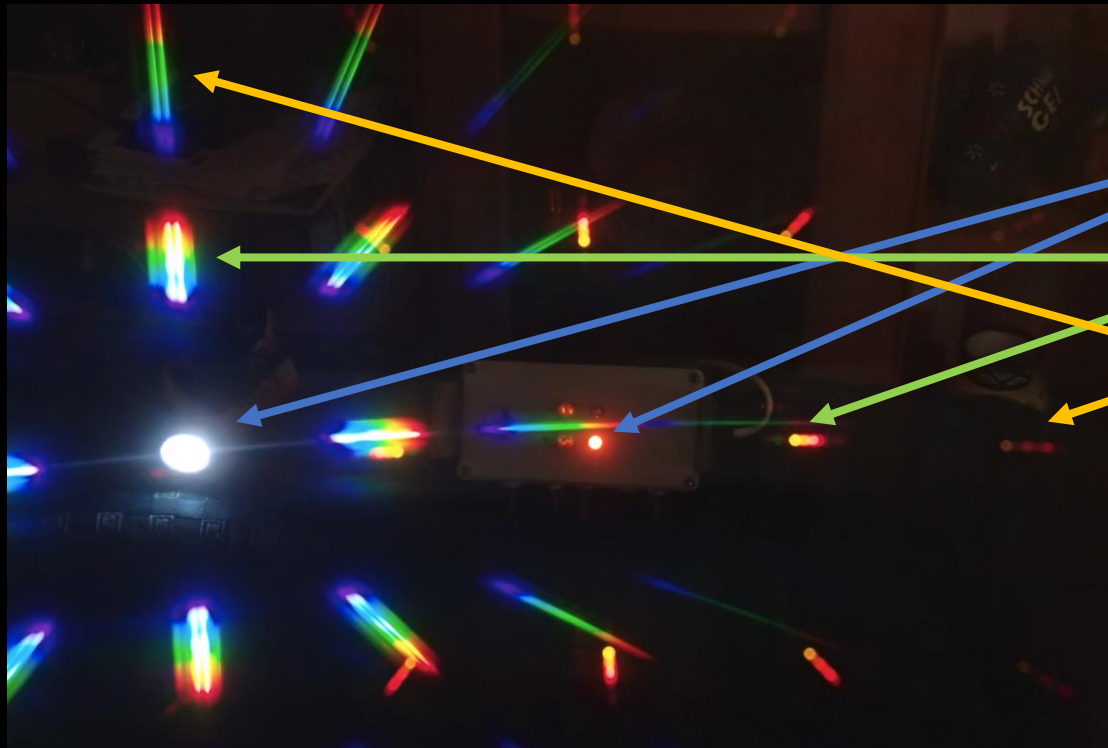
# Spalt vs Echelle



Bei einem hochauflösenden klassischen Spaltspektrographen passt immer nur ein kleiner Teil des visuellen Spektrums auf den Chip. Ein Echelle-Spektrograph splittet die Linien untereinander auf, sodass das gesamte visuelle Spektrum in einer Belichtung aufgenommen werden kann. Prinzipiell eine gute Sache, allerdings sind die Anschaffungskosten sehr hoch und es gibt wenige Amateure, welche diese Spektren vernünftig auswerten können, sodass man auch einer wissenschaftlichen Anforderung gerecht wird.

# Praxis Teil 1

# Praxis Teil 1



Originalabbildung

1. Ordnung

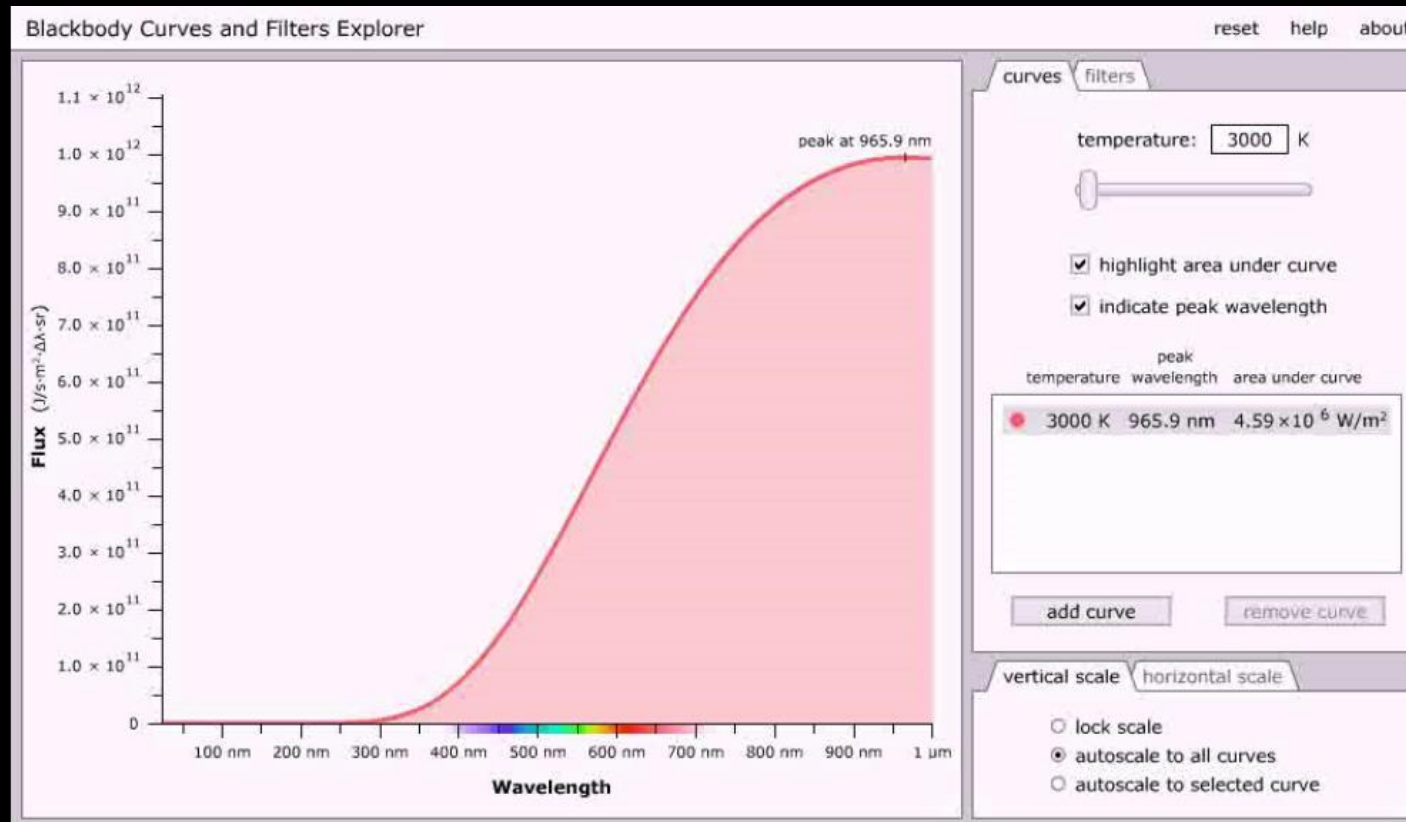
2. Ordnung



Einfache Spektroskopie mit einer Beugungsgitter-Brille.

Man erkennt deutlich den Unterschied eines kontinuierlichen Spektrums (z.B. LED) und eines Emissionsspektrums (z.B. Neon-Lampe)

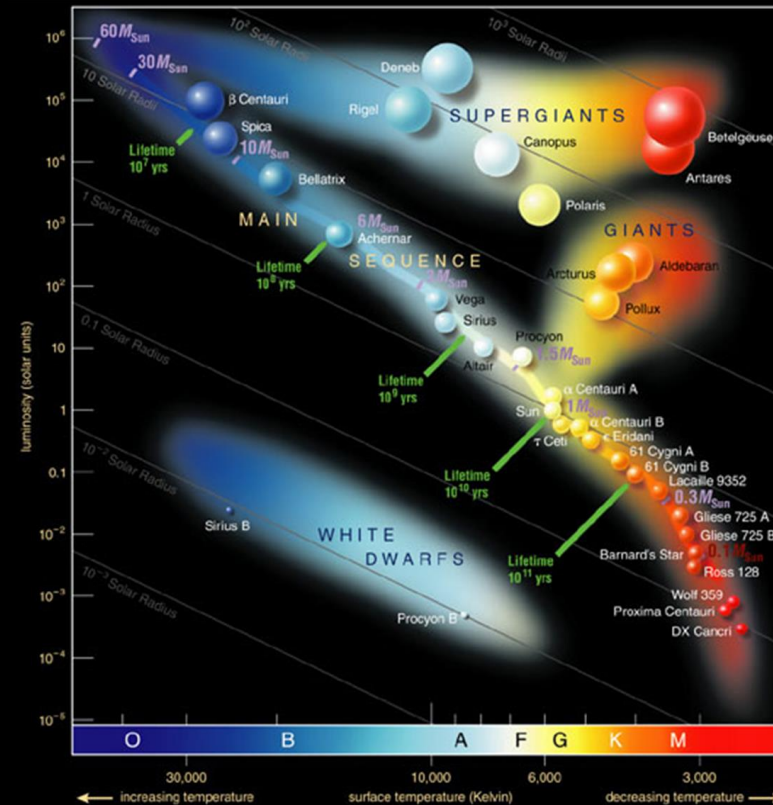
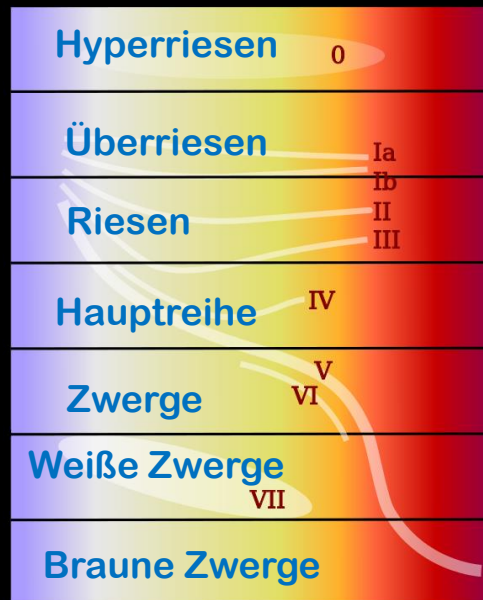
# Strahlungsgesetz



Max Planck berechnete den Verlauf der Strahlungsenergie eines idealen schwarzen Körpers. Je nach Oberflächentemperatur verschiebt sich das Kurvenmaximum entlang der Wellenlänge. Ein Stern wird näherungsweise als Schwarzkörper betrachtet, somit können wir aus der Strahlungskurve (Verlauf des Kontinuums) auf seine Oberflächentemperatur schließen.



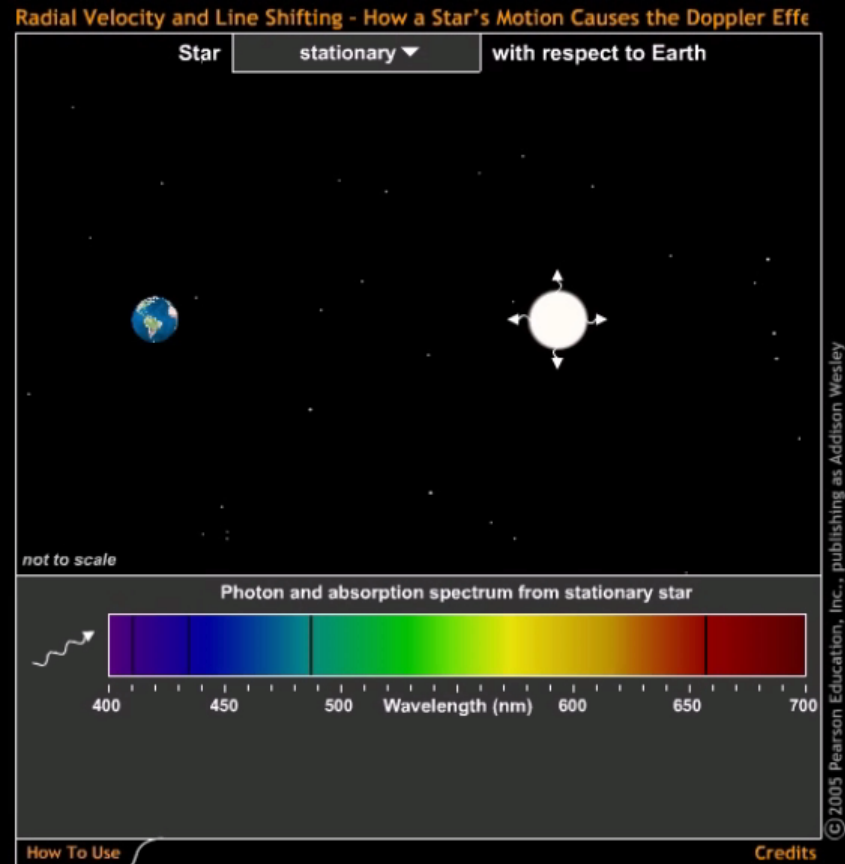
# Herzsprung-Russel-Diagramm



O6.5	HD 12993
B0	HD 158659
B6	HD 30584
A1	HD 116608
A5	HD 9547
F0	HD 10032
F5	BD 61 0367
G0	HD 28099
G5	HD 70178
K0	HD 23524
K5	SAO 76803
M0	HD 260655
M5	Yale 1755

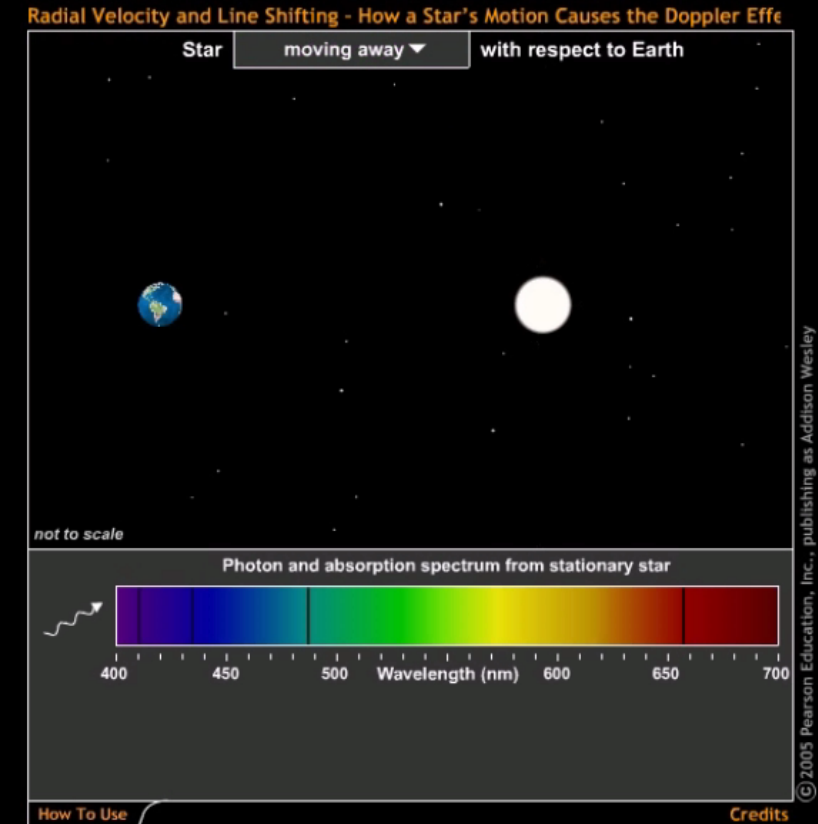
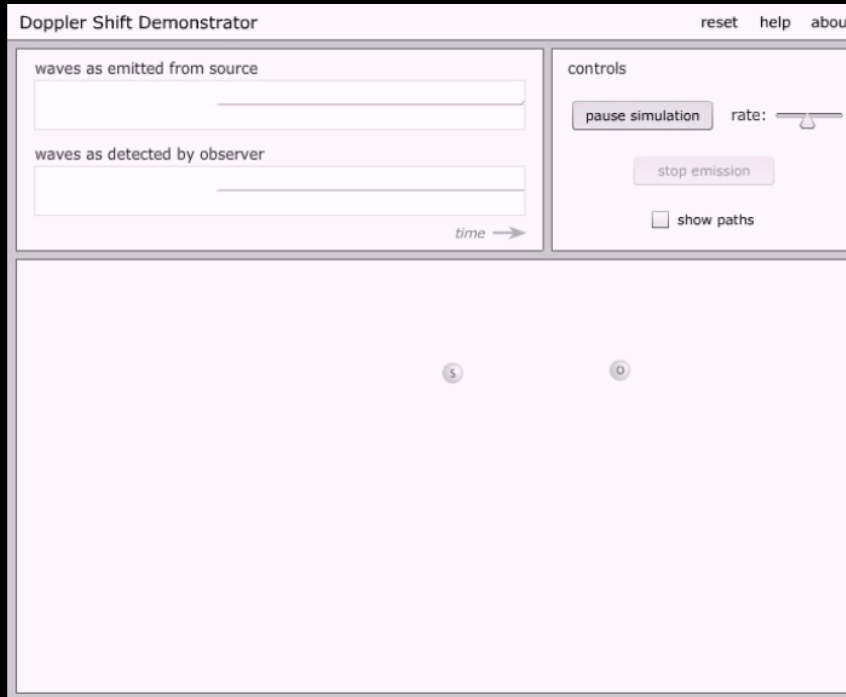
Das HR-Diagramm setzt die absolute Leuchtkraft von Sternen, ihrer Oberflächentemperatur und damit dem Farbindex ins Verhältnis. Es ergibt sich dadurch eine fast lineare Gerade der Hauptreihensterne. In diesem Zustand verbringen die Sterne die meiste Zeit ihrer Existenz, erst wenn ihr Brennstoff langsam verbraucht ist, wandern sie zum Ast der Riesen- oder Überriesen-Sterne. Ist ihre Masse gering genug, brennen sie nach dem Abstoßen ihrer Hülle noch als weiße Zwerge weiter.

# Die Radialgeschwindigkeit



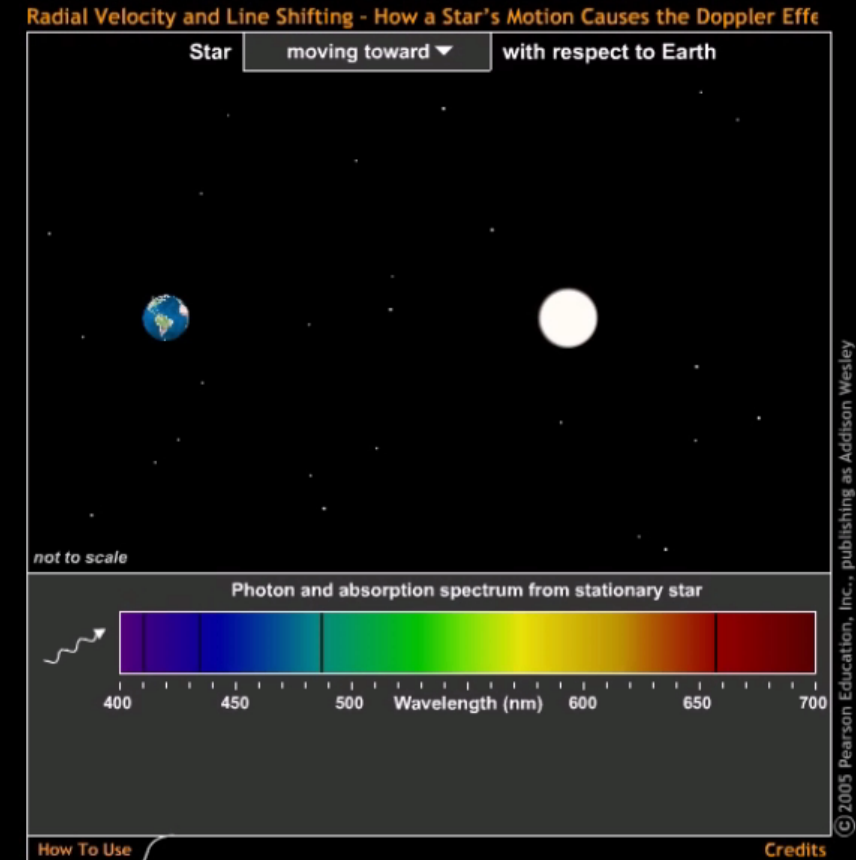
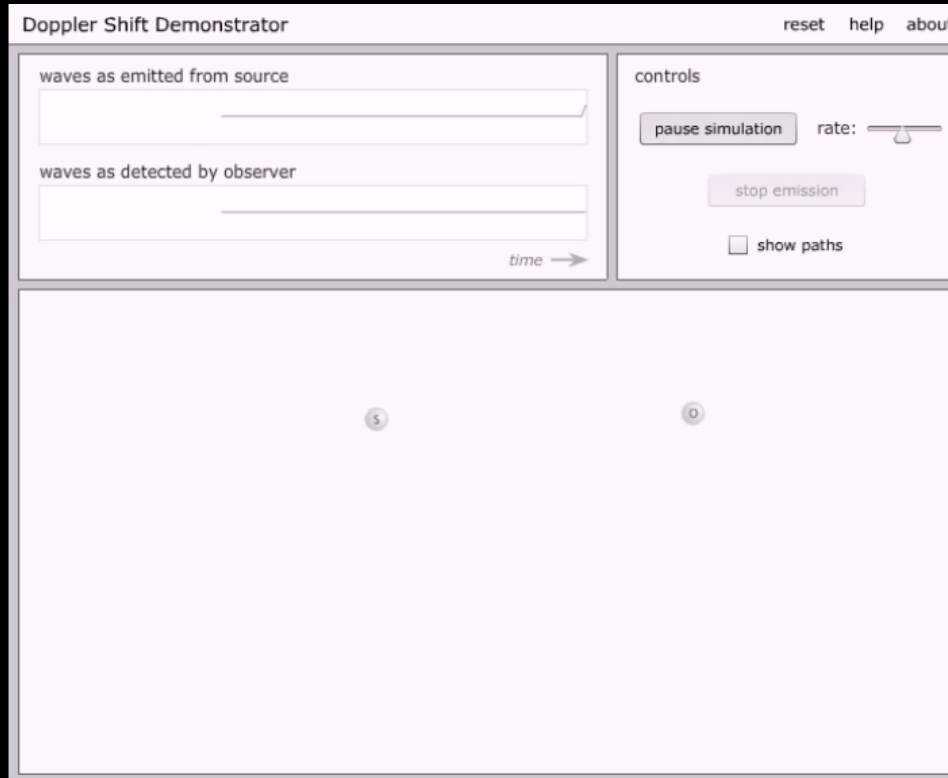
Würde sich ein Stern weder auf den Beobachter zubewegen noch wegbewegen, dann erscheinen die Absorptionslinien exakt an den Wellenlängen, wo wir sie auch im Labor oder mit unseren Referenzlampen messen können.

# Die Radialgeschwindigkeit



Entfernt sich der Stern vom Beobachter, werden durch den Doppler-Effekt die Wellen in die Länge gezogen (niedrigerfrequenter) und die Linien verschieben sich in Richtung Rot.

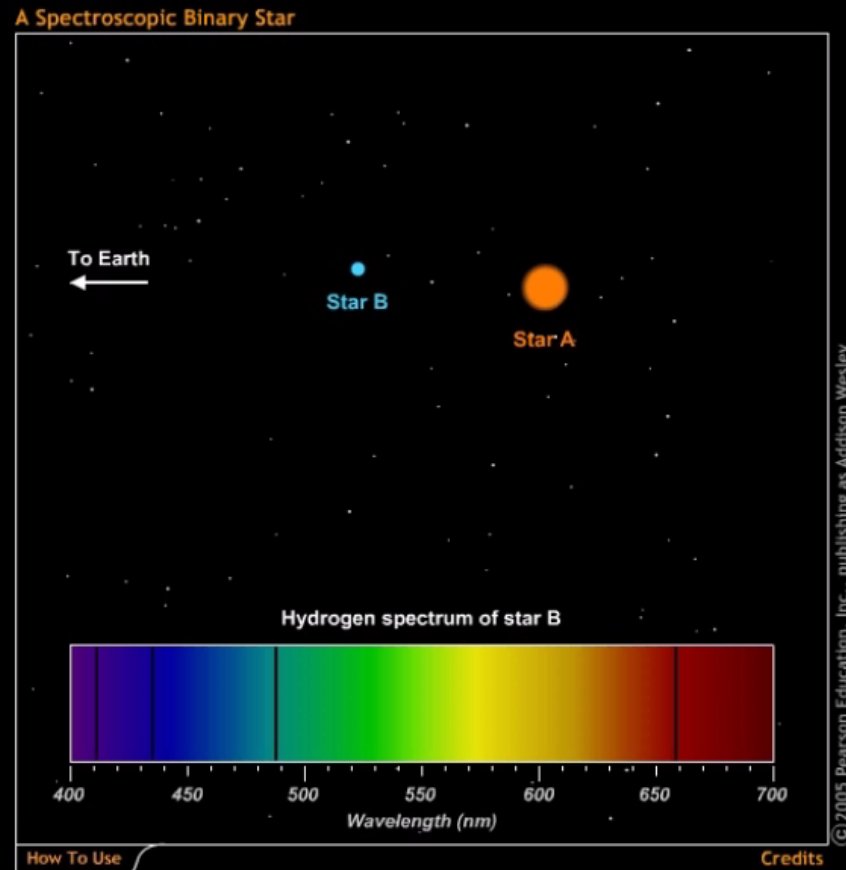
# Die Radialgeschwindigkeit



Bewegt sich der Stern auf den Beobachter zu, werden durch den Doppler-Effekt die Wellen zusammengestaucht (hochfrequenter) und die Linien verschieben sich in Richtung Blau.

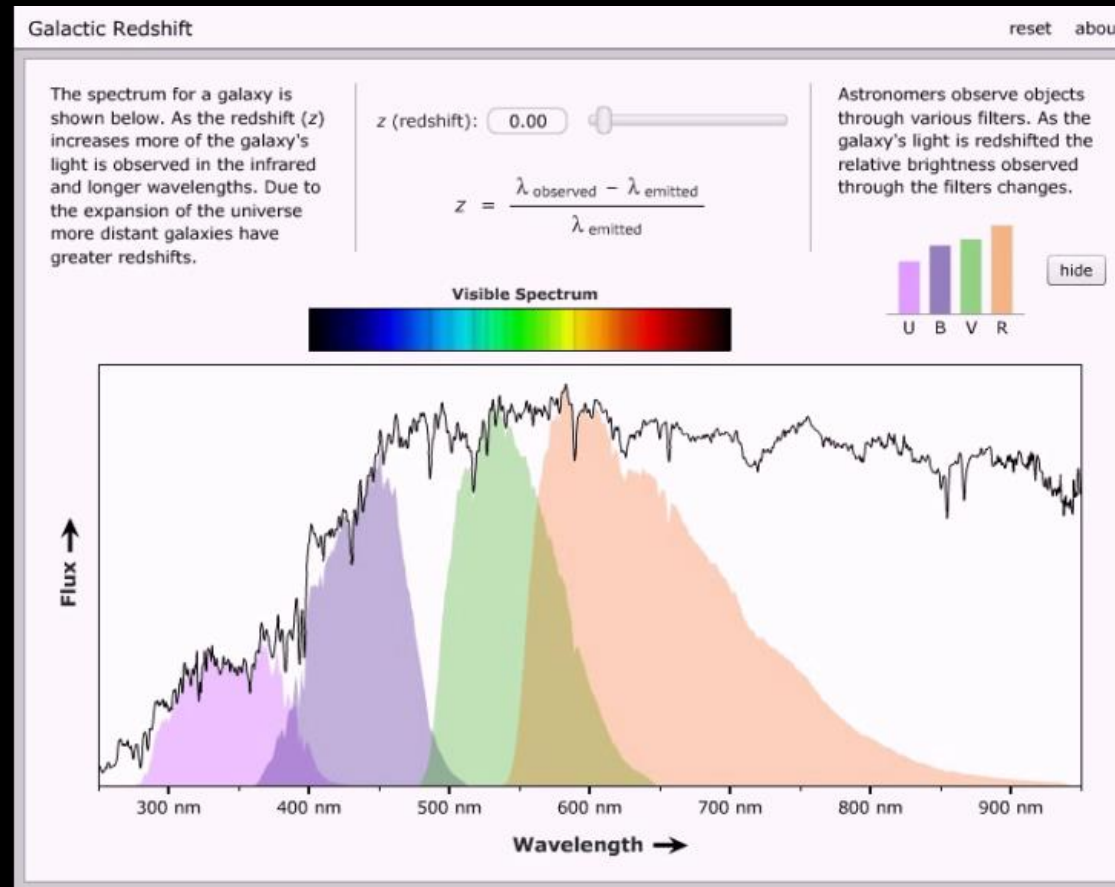


# Die Radialgeschwindigkeit



Sehen wir auf ein Doppelsternsystem nicht gerade direkt von oben darauf, erkennen wir über die Zeit die Umlaufbewegung durch die periodische Änderung der Linien in der Wellenlänge. Dies funktioniert auch, wenn wir den Doppelstern gar nicht optisch auflösen können. Dies nennt man dann spektroskopischer Doppelstern.

# Die galaktische Rotverschiebung



Durch die Ausdehnung des Raumes erscheinen weit entfernte Galaxien rotverschoben. Das heißt, dass die Linien, welche z.B. in Ruhe im visuellen Spektrum antreffen, findet man dann z.B. im Infrarot-Bereich. Wobei Linien aus dem Ultraviolett-Bereich in den visuellen Bereich wandern.

# Praxis Teil 2

## Spektroskopie mit niedererer Auflösung

### Staranalyser 200

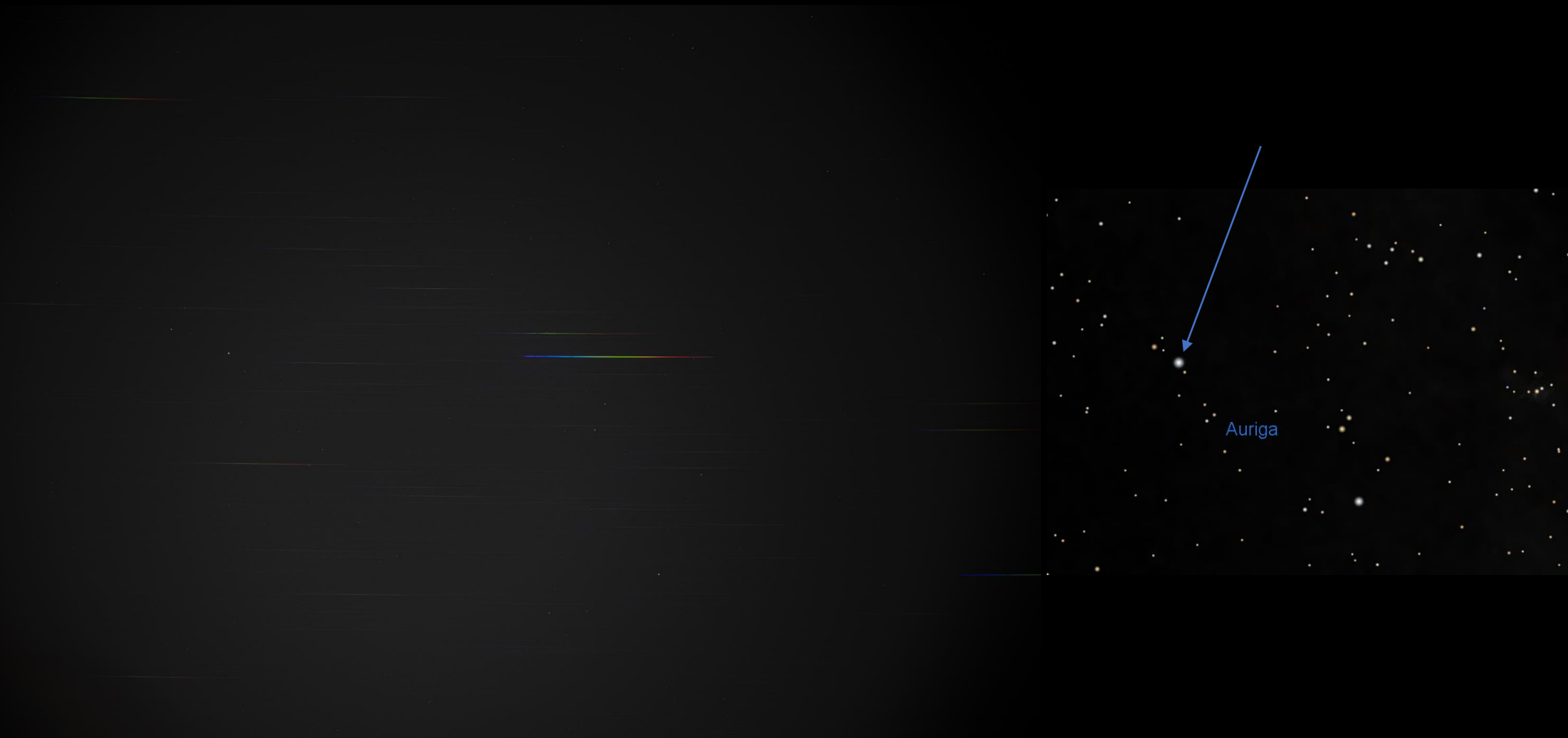


# Setup

- Staranalyser 200, Durchlicht-Gitter mit 200 Linien pro mm
- Fujifilm X-H2, APS-C Sensor mit 40MP
- Viltrox 75mm F/1,2
- Benro Polaris, (Elektronischer Stativkopf mit Astro-Funktion)
- Manfrotto 055

# Beta Aurigae – Menkalinan – A2 IV

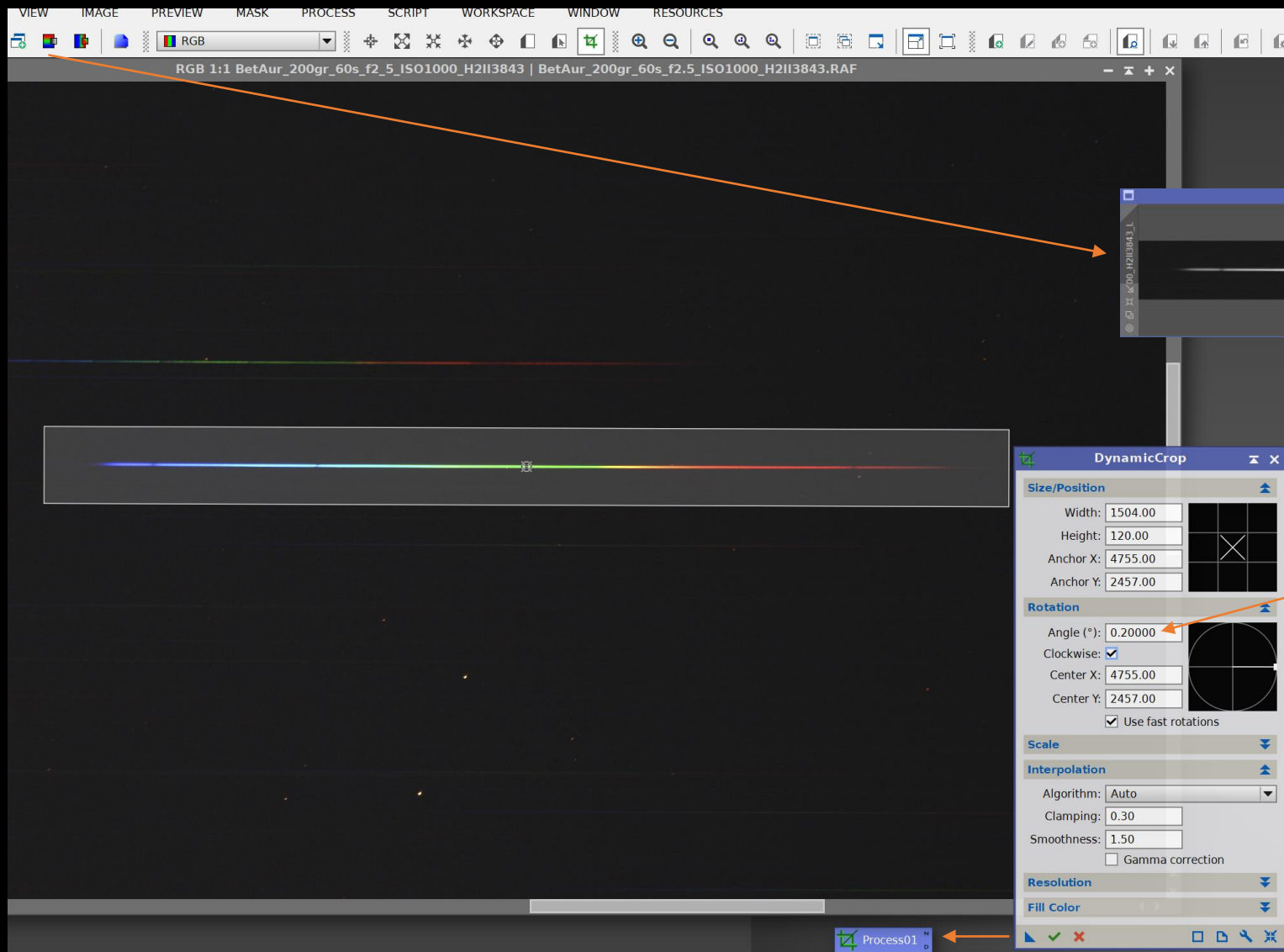
5 Aufnahmen in RAW mit je: 60s, 75mm, f/2,5, ISO1000, Staranalyser 200





# 2D Daten aufbereiten

PixInsight: Crop, L-Kanal, gleiche Einstellung für alle Einzelbilder!

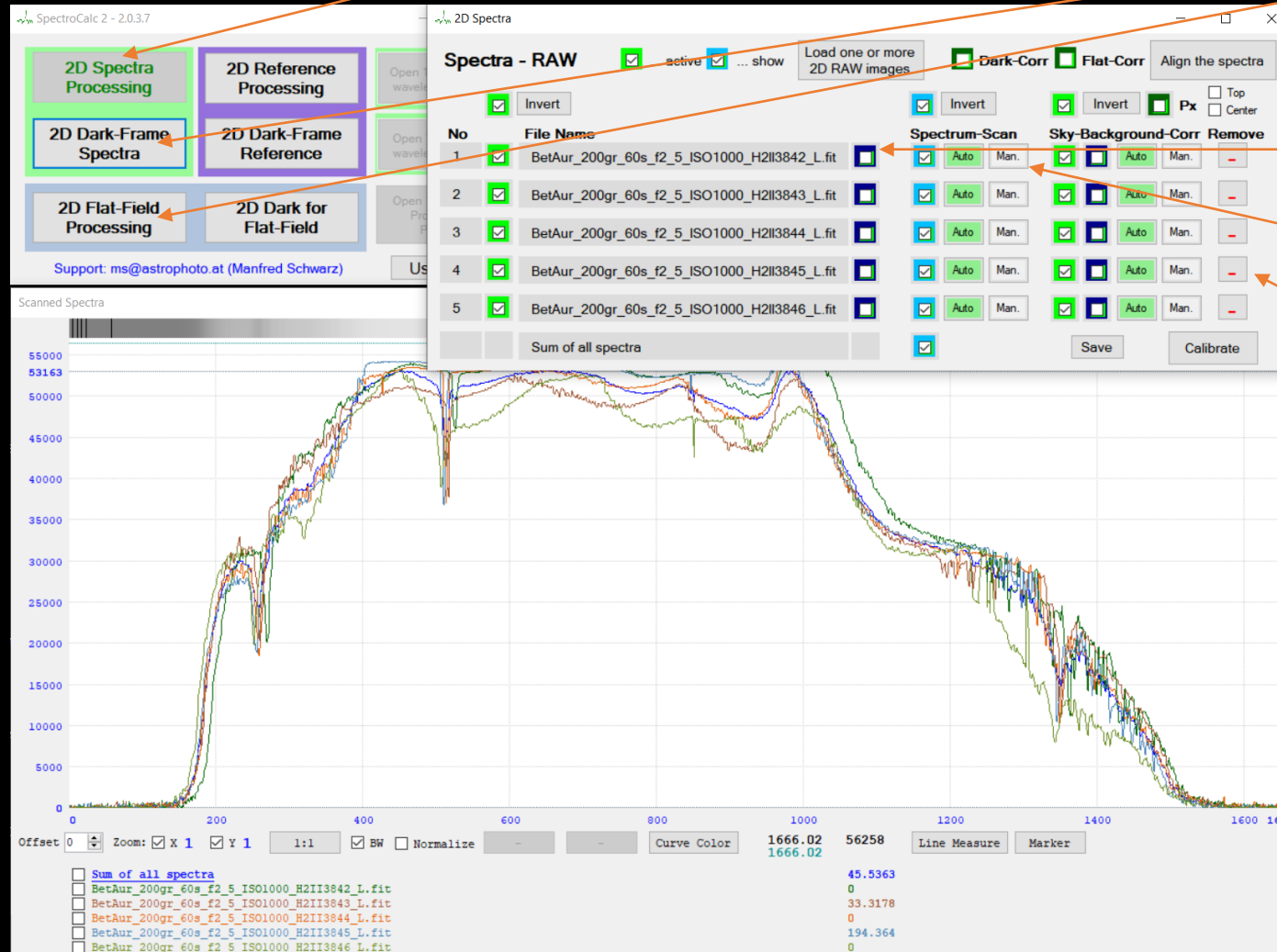


Speichern unter FITs 16-Bit

Eventuell drehen, um halbwegs waagrecht zu sein

# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

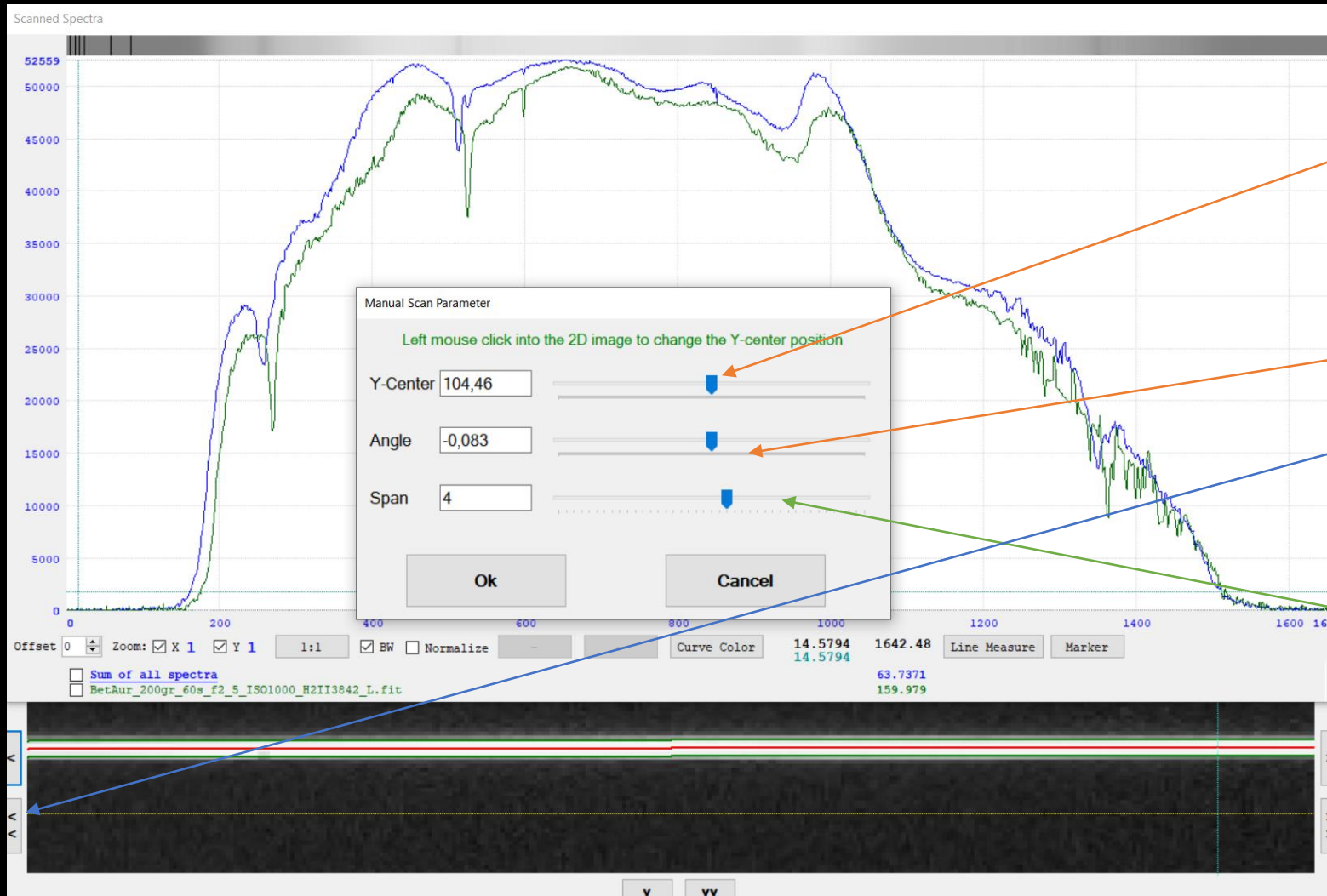
2D-FITs Dateien einlesen. Wenn vorhanden ebenfalls Darks und Flats



Alle Aufnahmen kontrollieren, ob der Scan korrekt ist und eventuell Anpassungen vornehmen oder ungeeignete Dateien löschen.

# Scan Überprüfen / Korrigieren

Die einzelnen Dateien durchgehen, eventuell korrigieren oder wenn die Aufnahme misslingen ist: löschen.



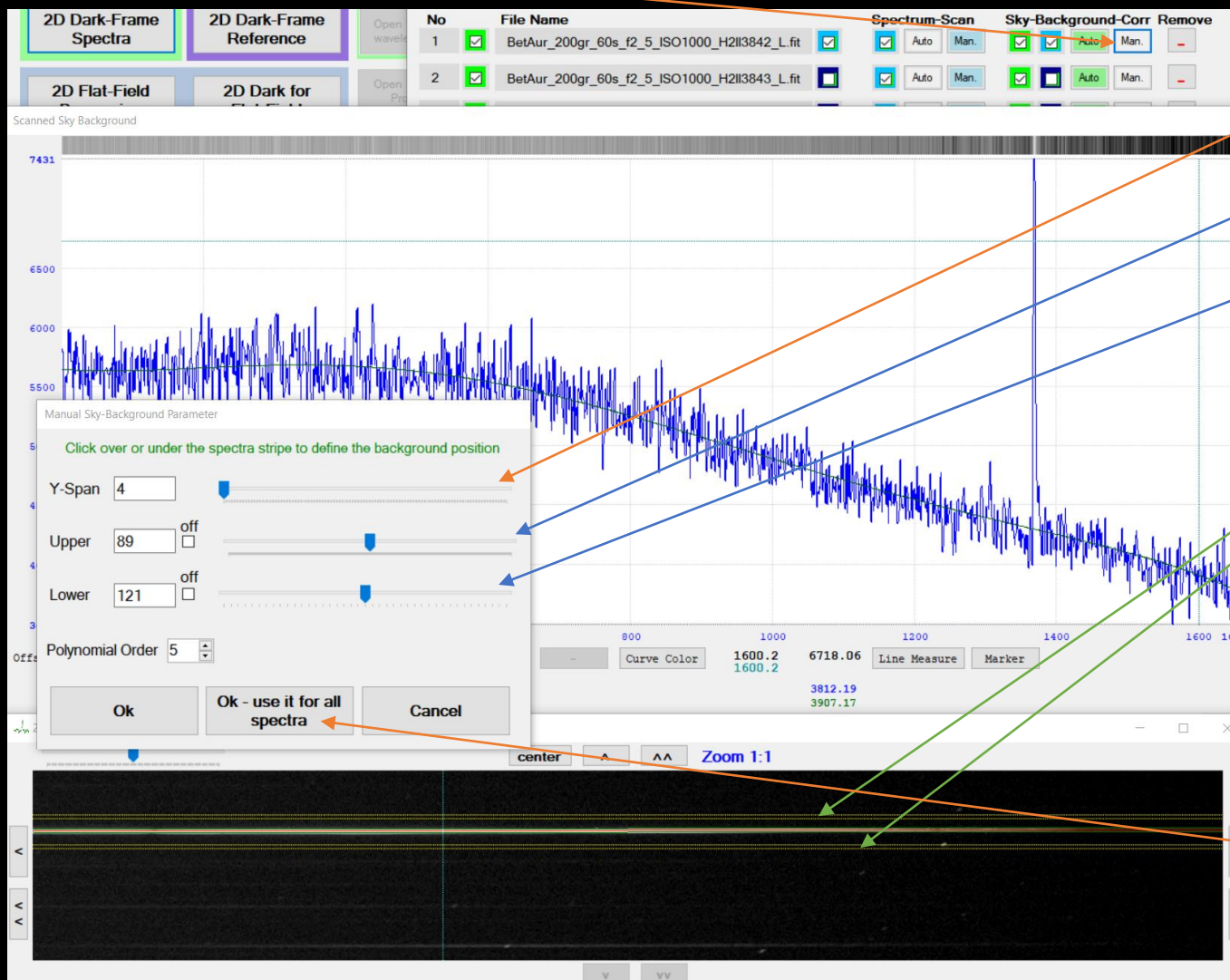
Verschieben des Scan-Mittelpunktes in Y (rote Linie), oder Maus-Klick auf das 2D-Bild unten

Winkeländerung. Mit den Pfeilen bis an die äußersten Ecken gehen und beurteilen, ob der Winkel passt

Scan-Höhe anpassen. Über die Höhe berechnet SpectroCalc2 bei jeder X-Position einen Mittelwert

# Himmelshintergrund abziehen

Der Himmelshintergrund ist ein „additiver“ Störeinfluss und beeinflusst das Verhältnis der Linien-Höhe zum Kontinuum.



Höhe des Messbereichs

Mitte des oberen Bereiches

Mitte des unteren Bereiches

Maus-Klick über oder unter den Spektrenstreifen, um den oberen oder unteren Scanbereich festzulegen

Der Bereich sollte nicht zu weit vom Spektrum entfernt sein, aber es sollte auch noch nicht das Spektrum selbst durchscheinen

Oft kann diese Einstellung für alle Dateien mit gleichen Einstellungen angewendet werden



# Spektren ausrichten

In einem Spektrum mit großen Änderungen im Kontinuum wie hier, funktioniert die Automatische Ausrichtung zumeist nicht. Wir wählen hier „Manual“

**Spectra - RAW**

... active  ... show Load one or more 2D RAW images  Dark-Corr  Flat-Corr  Align the spectra

Invert  Invert  Px  Top  Center

No	File Name	Spectrum-Scan	Sky-Background-Corr	Remove
1	BetAur_200gr_60s_f2_5_ISO1000_H2II3842_L.fit	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	-
2	BetAur_200gr_60s_f2_5_ISO1000_H2II3843_L.fit	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	-
3	BetAur_200gr_60s_f2_5_ISO1000_H2II3844_L.fit	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	-
4	BetAur_200gr_60s_f2_5_ISO1000_H2II3845_L.fit	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	-
5	BetAur_200gr_60s_f2_5_ISO1000_H2II3846_L.fit	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	<input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Man.	-

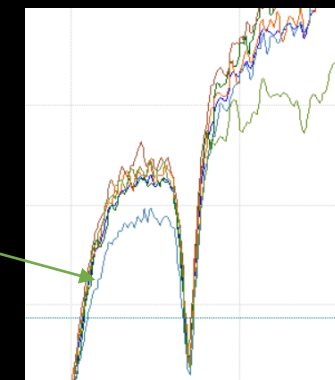
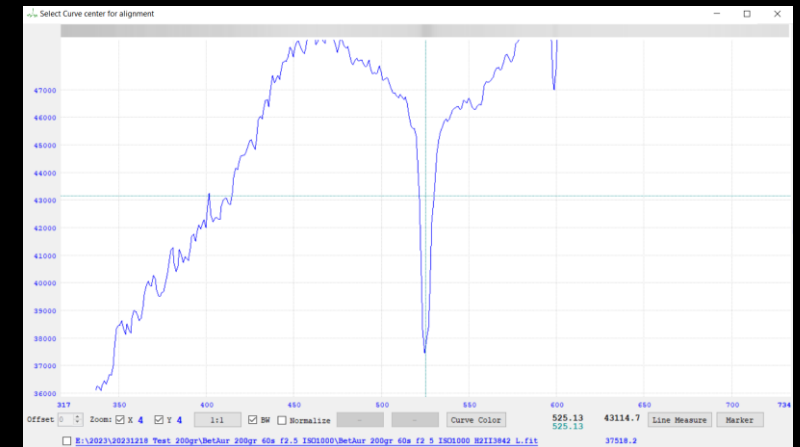
Sum of all spectra Save Calibrate

**Important Message**

Align the spectra

nChoose if you want align automatically with the spectra or manually

Den Anweisungen folgen und bei immer der gleichen Absorptionslinie in etwa die Mitte klicken.

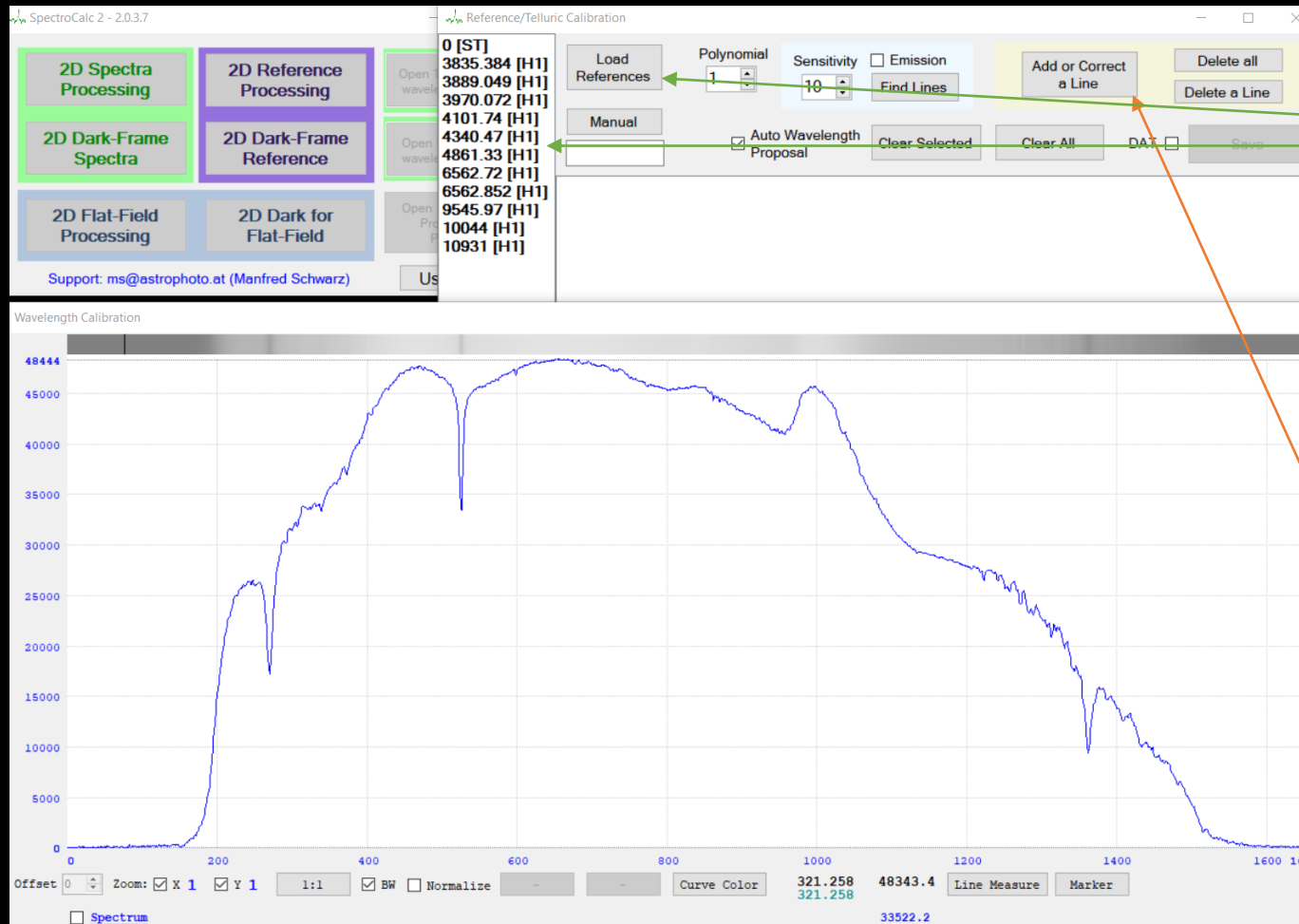


Das Programm richtet mit 1/100 Pixel Auflösung aus



# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Durch Drücken auf „Calibrate“ gelangt man in den zweiten Abschnitt von SpectroCalc2.

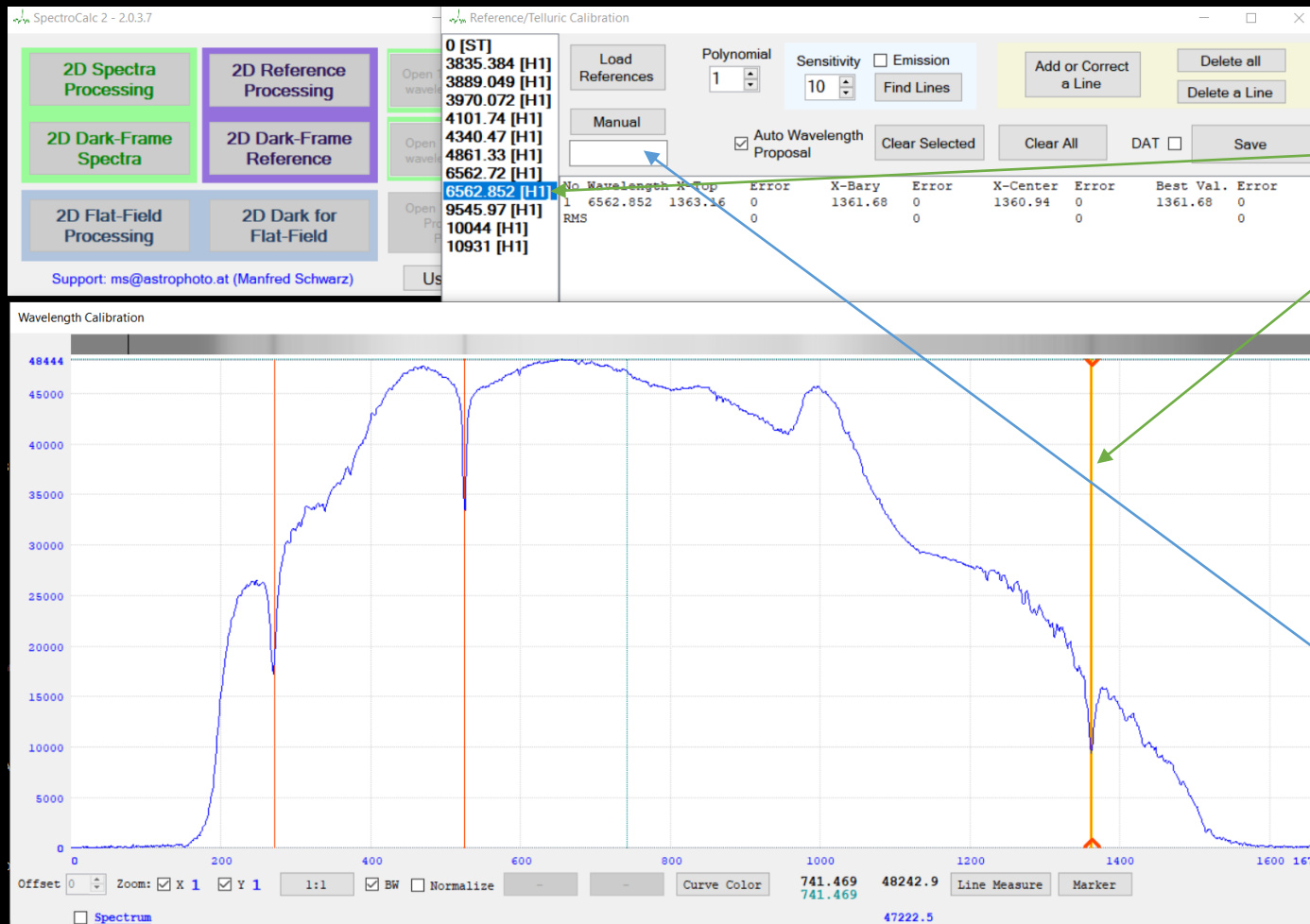


Wir laden die gewünschte Kalibrationstabelle, in diesem Falle die Wasserstofflinien

Durch die hohe Kontinuumsänderung funktioniert das automatische Linienfinden meistens nicht „Find Lines“. Wir definieren deshalb mit „Add or Correct a Line“ die Linien selbst, indem wir die Linke und rechte Flanke in etwa der selben Höhe anklicken.

# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Durch Drücken auf „Calibrate“ gelangt man in den zweiten Abschnitt von SpectroCalc2.



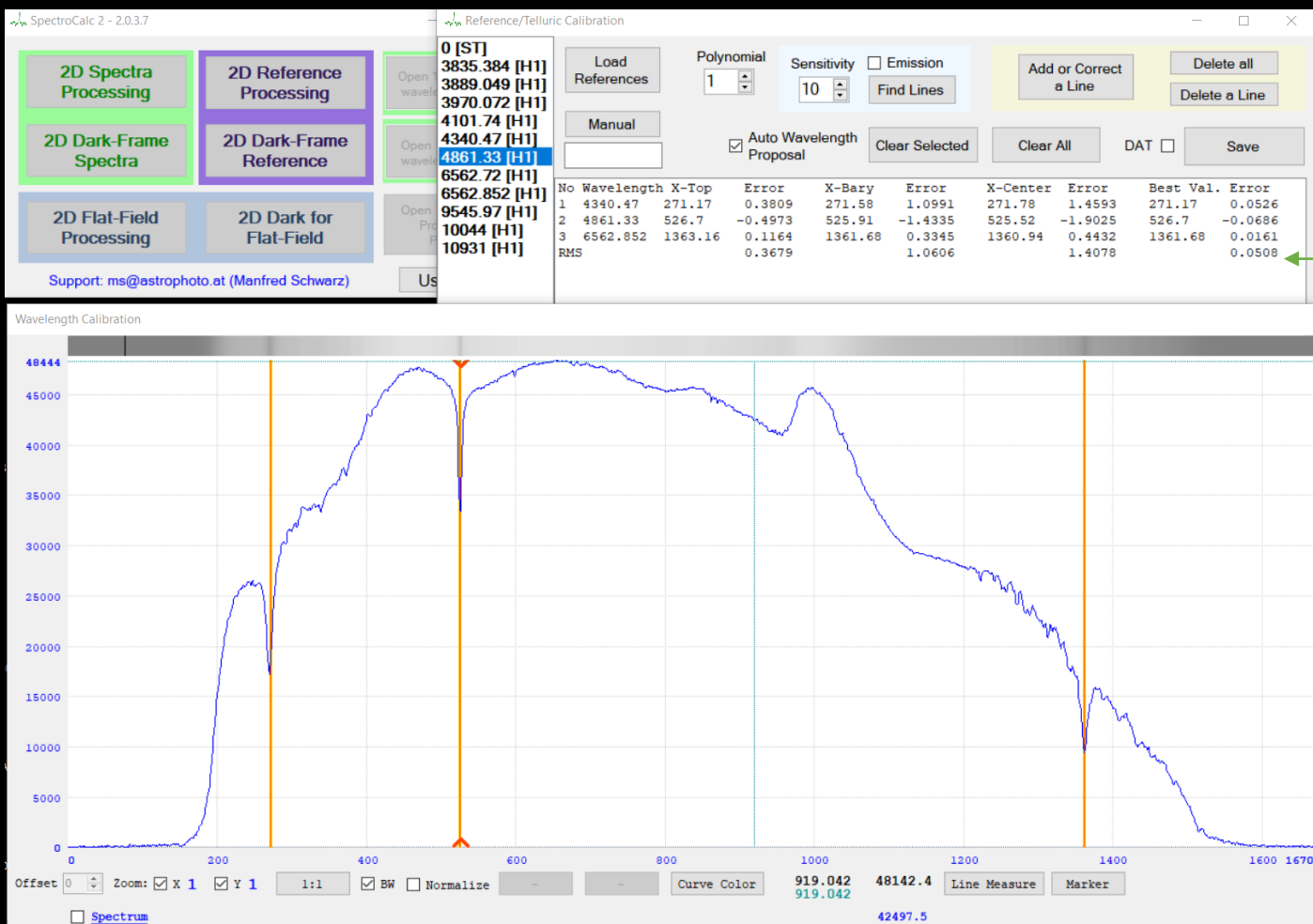
Selektieren einer Linie mit Maus-Klick und klicken auf die entsprechende Wellenlänge in der Tabelle

Die zweite Linie sollte so weit wie möglich von der ersten entfernt sein, dann findet das System automatisch alle nachfolgend selektierten Linien.

Sollte eine bekannte Linie nicht in der Tabelle sein, kann man den Wert auch händisch einfügen

# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Durch Drücken auf „Save“ gelangt man in den dritten Abschnitt von SpectroCalc2, dem Post-Processing.



Der RMS Abweichungsfehler sollte sehr niedrig sein. Hat man Ausreißer, wurde eventuell eine falsche Wellenlänge bei einer Linie zugewiesen

# Post Processing

## Korrektur der Instrumentenlinie

The screenshot displays the SpectroCalc 2 software interface. The main window shows a spectral plot with a peak at approximately 4000 units. The 'Post Processing' control panel is visible, featuring buttons for 'Load Spectra', 'Save', 'Calculate S/N', 'Correct Inst Response', 'Remove Continuum', 'Calculate EW-A', 'Ordinate Scaling', 'Crop the spectrum', 'BeSS Header', and 'Remove Telluric'. The 'Instrument Response' dialog box is open, showing a 'Load Ref.' button and a list of reference spectra. A file explorer window is also open, displaying a list of files in the '\_References > REF\_Miles' folder, with 'A1IV s0796 HD204041.dat' selected.

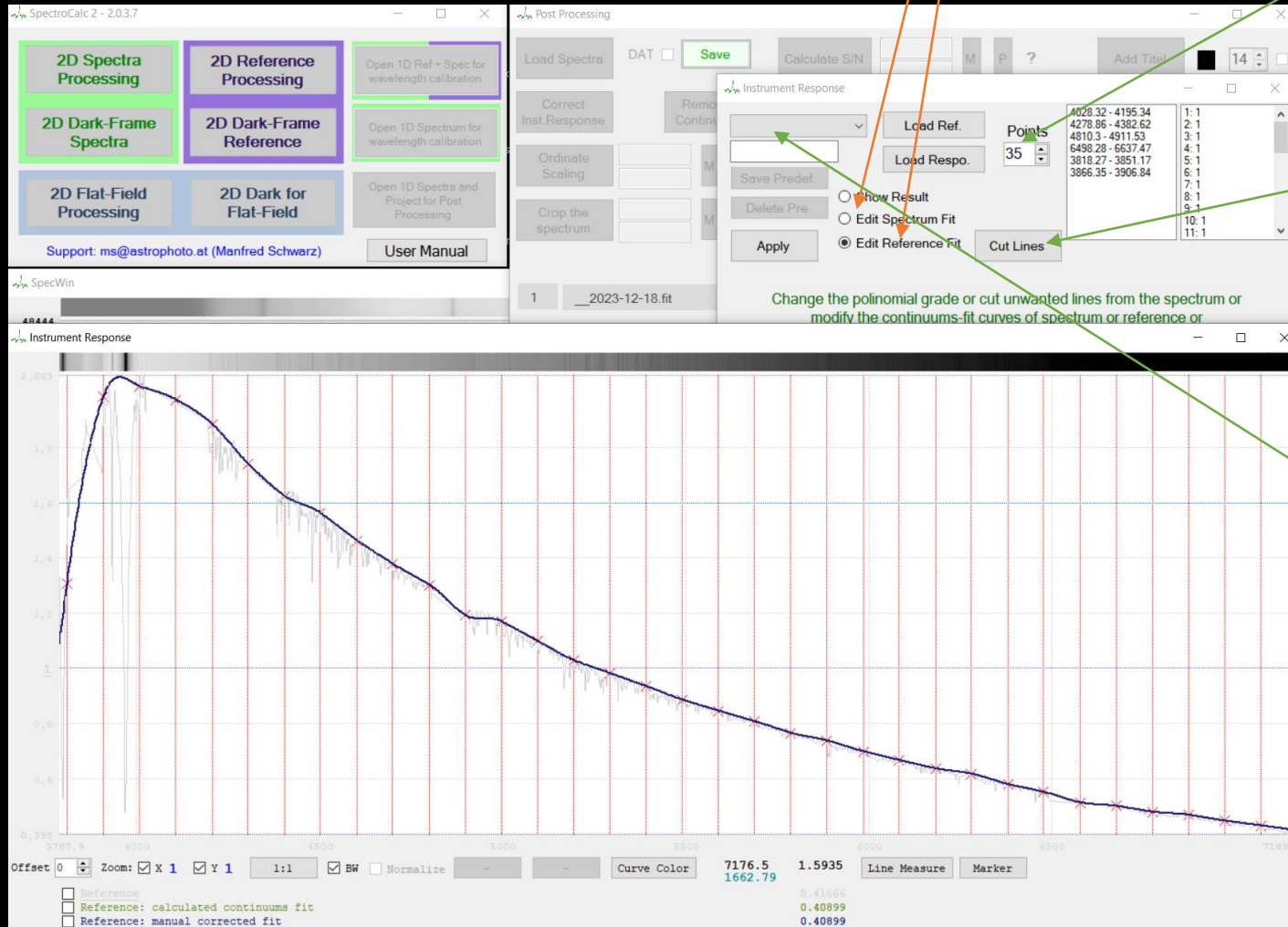
„Correct Inst.Response“

„Load Ref.“

Wenn kein eigens  
aufgenommener Referenzstern  
aufgenommen wurde, dann aus  
einen der Datenbanken einen  
ähnlichen Stern der  
Spektralgruppe wählen

# Post Processing

Korrektur der Instrumentenlinie: Sowohl vom Spektrum selbst als auch von der Referenz das Kontinuum definieren!



Anzahl der Stützpunkte

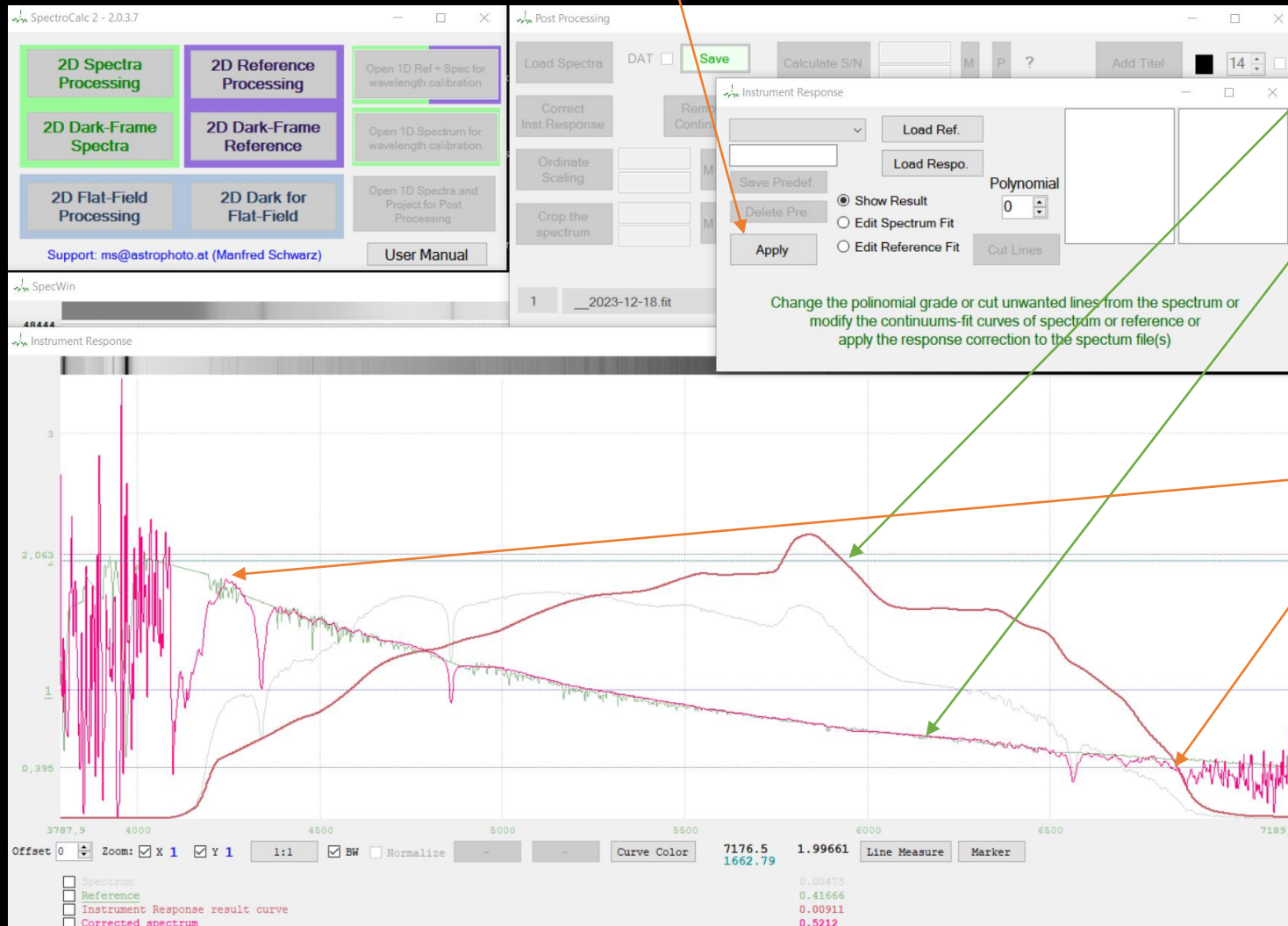
„Cut Lines“, zum ausschneiden von Linien, da man ja nur das Kontinuum festlegen möchte

Wenn bereits da fleiche Objekt im selben Wellenlängenbereich bearbeitet wurde, kann man auch auf ein gespeichertes Parameter-Set zugreifen.



# Post Processing

Korrektur der Instrumentenlinie: „Apply“ zur Korrektur der Instrumentenkurve



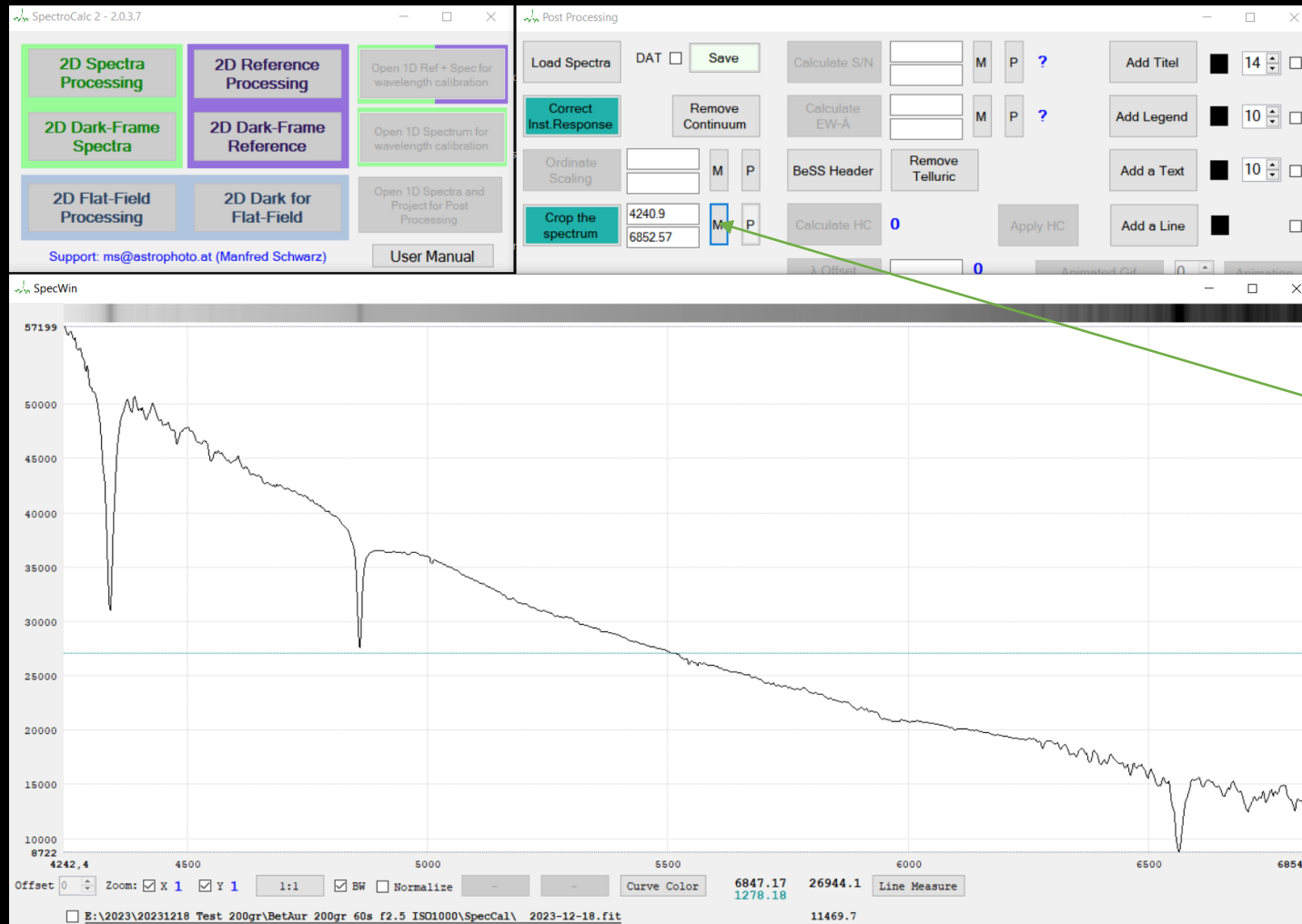
Instrumentenkurve

Korrigiertes Spektrum

Sinnvoller Ausschnitt

# Post Processing

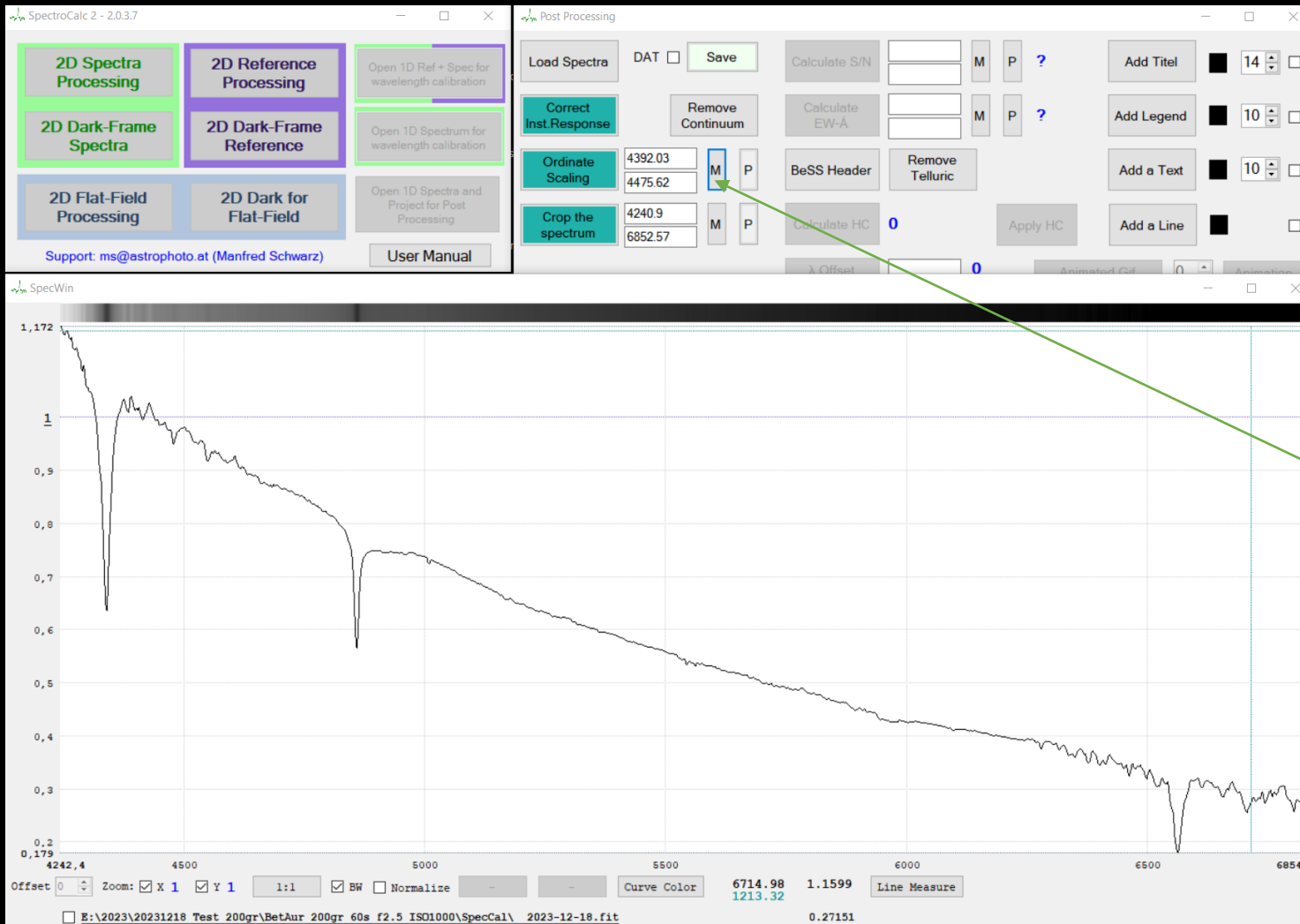
Zuschneiden des Spektrums auf sinnvollen Bereich



In diesem Fall werden wir per Maus-Klicks den Bereich des Zuschnitts festlegen

# Post Processing

Skalierung (Normierung) der Ordinate.



Da auf der Y-Achse AD-Werte aufgetragen sind und diese natürlich Kamera- und Aufnahmeabhängig sind, möchte man diese Achse auf 1 normieren. In Forschungsprojekten werden die Wellenlängen definiert, wo die Y-Achse auf 1 liegen soll. Da ich hier keine Angaben habe, lege ich diesen per Maus-Klick in den oberen Bereich.

# Post Processing

Ergänzung der FITs-Header-Daten „BeSS Header“.

The screenshot shows the SpectroCalc 2 - 2.0.3.7 interface. The main window displays a spectrum plot with various processing options on the left. The BeSS Header dialog is open, showing fields for Object (Bet Aur), RA 2000, DEC 2000, Star Type (A1IV-Vp), JD (middle), Date (2023-12-18), Time (UT) (17:48:29), Latitude, Longitude, Altitude, Location Name (Wiener Neustadt), and Instrument details (Observer: Manfred Schwarz, Camera: Fujifilm\_X-H2, Telescope: Viltrox 75mm f1.2, Spectrograph: Staranalyser 200).

Eingabe des Namens und Klick auf „Get Data from Simbad“ füllen automatisch den oberen Bereich aus.

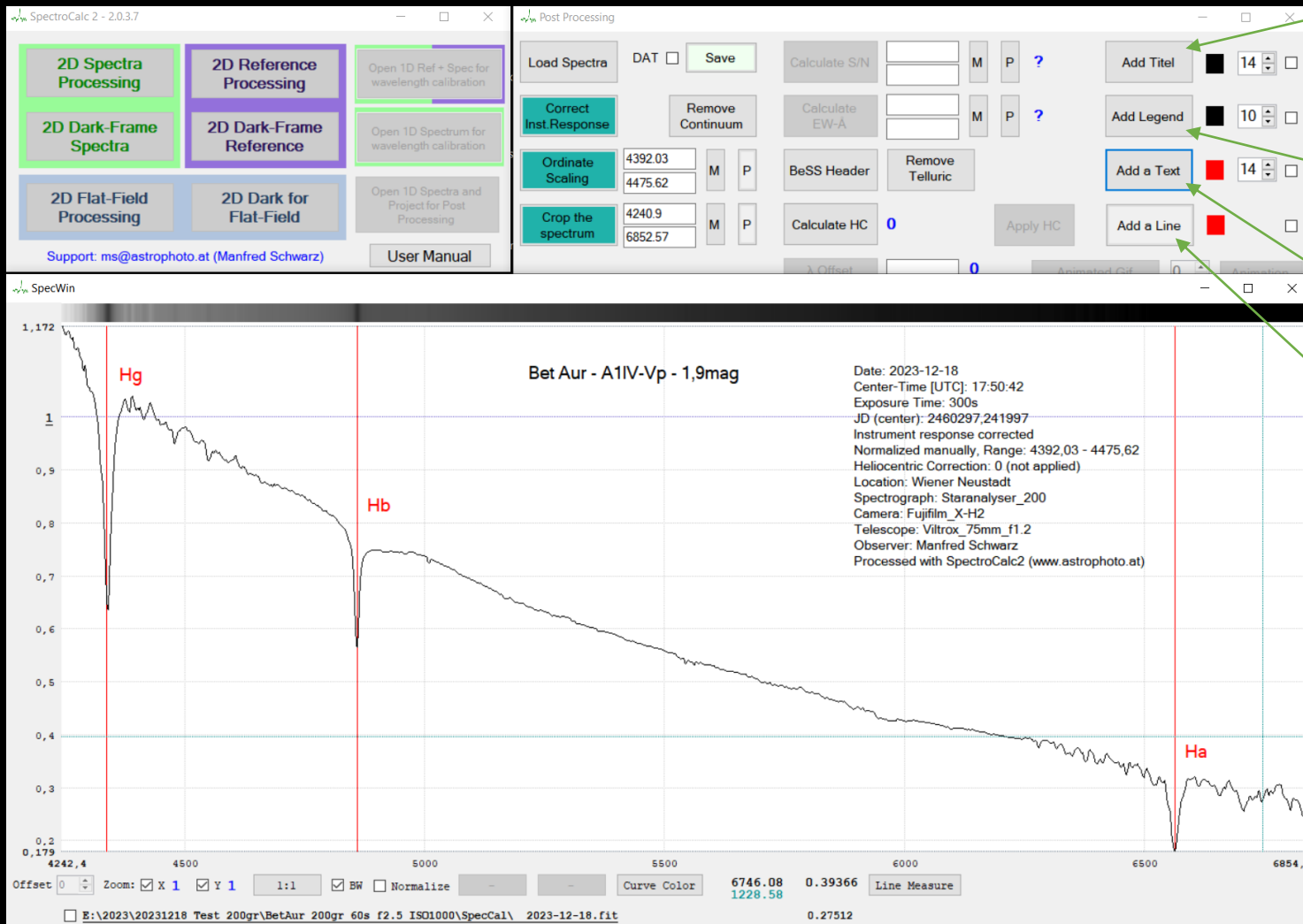
Diese Daten werden aus den Aufnahmedaten genommen

Die Aufnahmeposition kann gespeichert und danach immer einfach abgerufen werden

Die Instrumentendaten können gespeichert und danach immer einfach abgerufen werden

# Post Processing

Beschriftung.



Automatische Erstellung eines Titels

Automatische Erstellung einer Legende

Erstellung eines freien Textes

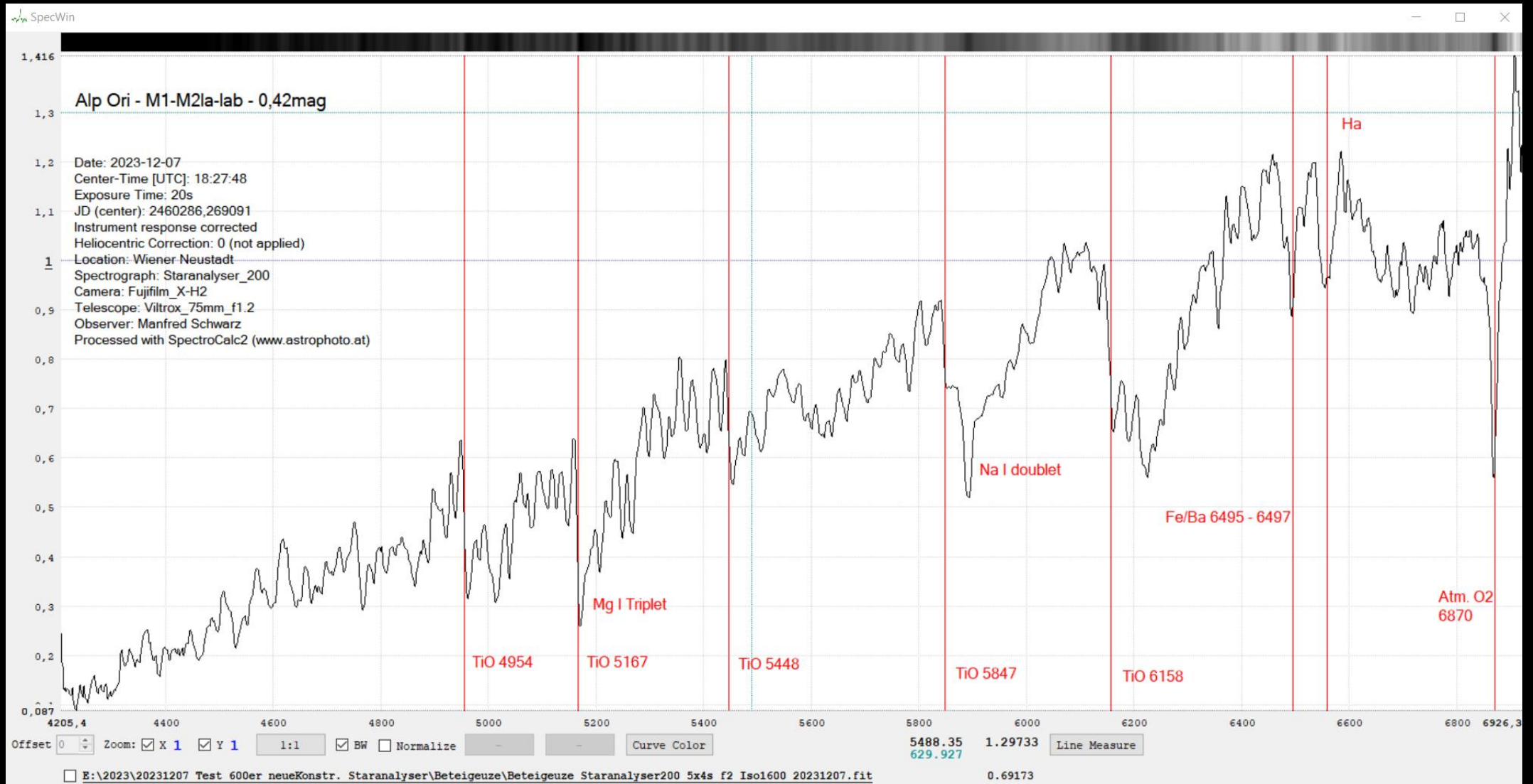
Zeichnen von senkrechten Linien

Um einen Text oder eine Linie zu verschieben, klickt man das Objekt an (wird gelb markiert) und klickt dann auf die Zielposition



# Beispiel Beteigeuze

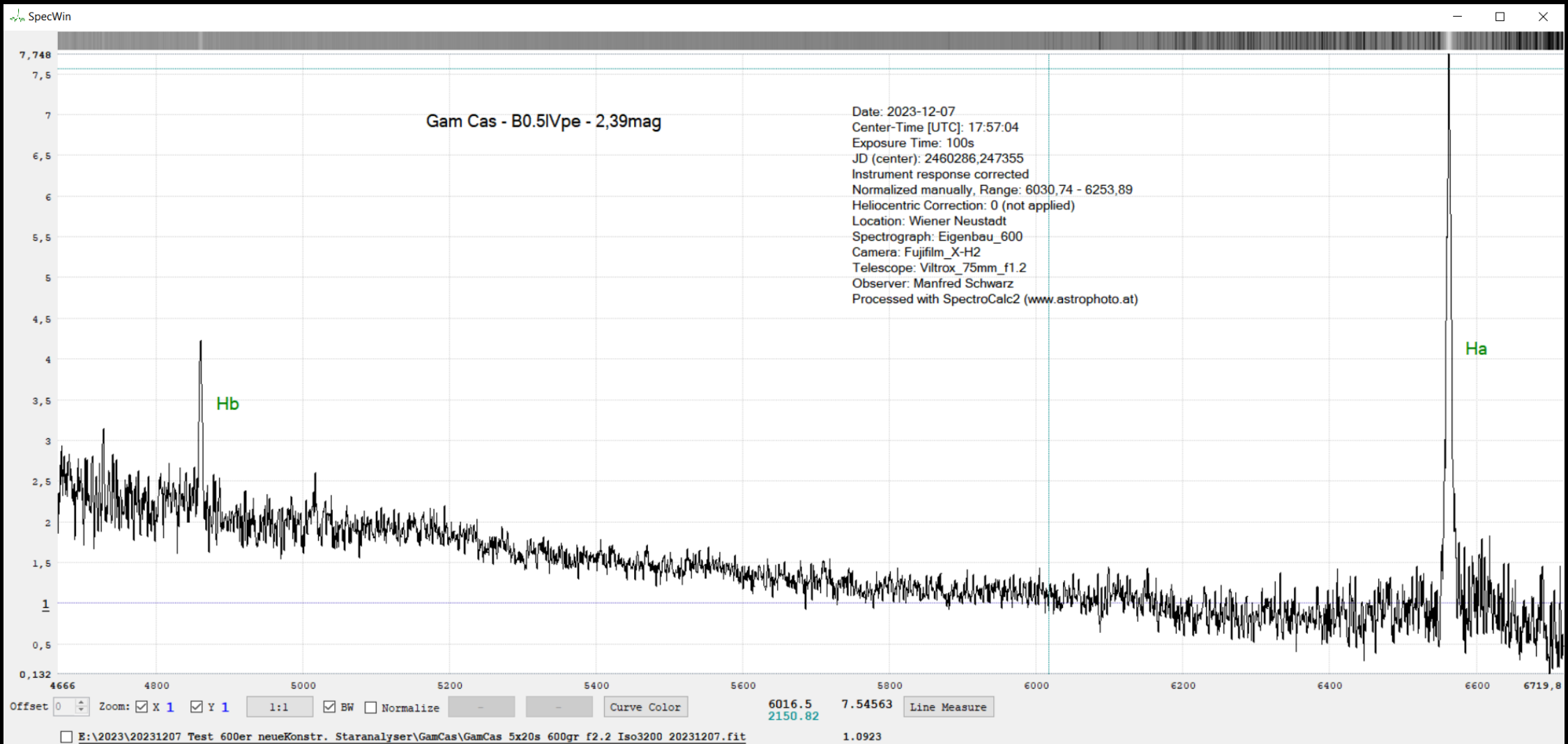
Mit Staranalyser 200 und stehendem Stativ (nicht nachgeführt). 5 Aufnahmen je 4s, ISO1600, F/2.





# Beispiel Gam Cas

Mit Eigenbau Spektrograf 600l/mm nicht nachgeführt. 5 Aufnahmen je 20s, ISO3200, F/2,2.



# Praxis Teil 3

## Spektroskopie mit hoher Auflösung

Lhires III mit 2400 l/mm

# Setup

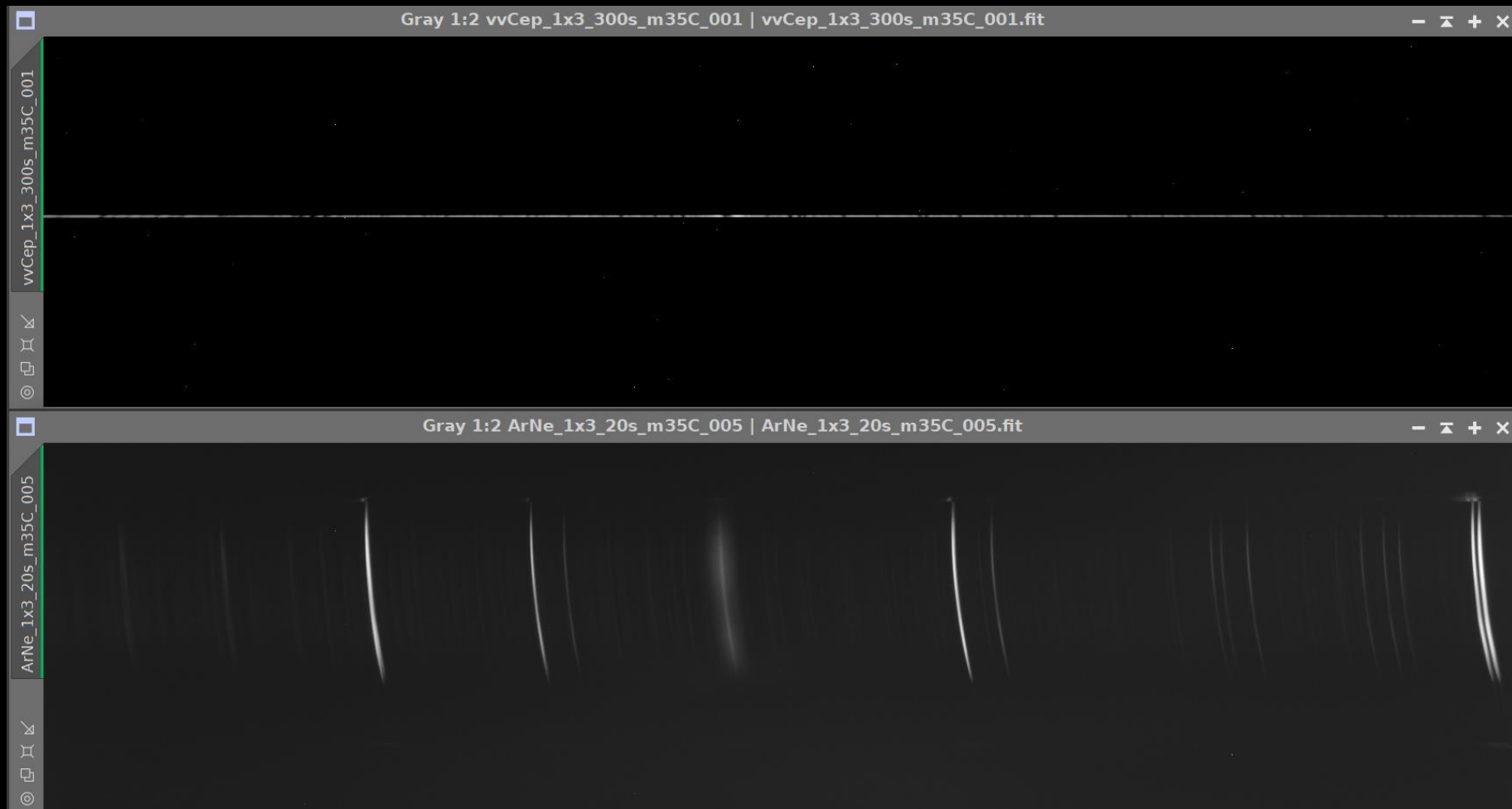


Foto noch mit alten Kameras  
und Losmandi G-11

- Lhires III Spaltspektrograf mit 2400 Linien pro mm
- Sbig STT-8300 monochrom Kamera und Sbig ST-i Nachführkamera
- Celestron C11
- Losmandi HGM-Titan

# Vv Cephei – M2epla-lab + B8:eV

10 Aufnahmen je: 5min, 11 Referenzlampenaufnahmen (ArNe) je: 20s, Y: 3-fach Binning



# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

2D-FITs Dateien einlesen.

The screenshot shows the SpectroCalc 2 interface with the '2D Spectra' window open. The 'Spectra - RAW' window displays a list of 10 FIT files loaded for processing. The '2D Spectra Processing' section is highlighted in green, and an orange arrow points to it from the text above. The main window shows a 2D plot of the spectra with a wavelength axis from 0 to 3358 and a flux axis from 0 to 8652. The 'Spectra - RAW' window has the following settings:

- ... active  ... show
- Load one or more 2D RAW images
- Dark-Corr  Flat-Corr
- Align the spectra
- Invert
- Invert  Px  Top  Center
- Spectrum-Scan  Sky-Background-Corr  Remove

No	File Name	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	Man.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Auto	Man.	-
1	vvCep_1x3_300s_m35C_001.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	vvCep_1x3_300s_m35C_002.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	vvCep_1x3_300s_m35C_003.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	vvCep_1x3_300s_m35C_004.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	vvCep_1x3_300s_m35C_005.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	vvCep_1x3_300s_m35C_006.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	vvCep_1x3_300s_m35C_007.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	vvCep_1x3_300s_m35C_008.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	vvCep_1x3_300s_m35C_009.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	vvCep_1x3_300s_m35C_010.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sum of all spectra	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Buttons: Save, Calibrate

Scanned Spectra plot shows wavelength (0-3358) vs flux (0-8652). The plot shows multiple spectra overlaid, with a zoomed-in view of the 2964.99 region.

Zoom:  X 1  Y 1 | 1:1 |  BW  Normalize | Curve Color | 2964.99 | 9023.89 | Line Measure | Marker

Legend:

- Sum of all spectra
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_001.fit
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_002.fit
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_003.fit
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_004.fit
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_005.fit
- vvCep\_1x3\_300s\_m35C\_006.fit



# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

2D-FITs Darks einlesen und Master-Dark erzeugen.

The screenshot shows the SpectroCalc 2 interface. A dialog box titled "Darks for Spectra Images" is open, displaying a list of dark frame files. The files are:

No	File Name	Remove
1	Dark_1x3_300s_m35C_001.fit	<input type="checkbox"/> -
2	Dark_1x3_300s_m35C_002.fit	<input type="checkbox"/> -
3	Dark_1x3_300s_m35C_003.fit	<input type="checkbox"/> -
4	Dark_1x3_300s_m35C_004.fit	<input type="checkbox"/> -
5	Dark_1x3_300s_m35C_005.fit	<input type="checkbox"/> -
6	Dark_1x3_300s_m35C_006.fit	<input type="checkbox"/> -
7	Dark_1x3_300s_m35C_007.fit	<input type="checkbox"/> -
8	Dark_1x3_300s_m35C_008.fit	<input type="checkbox"/> -
	MasterSpecDark.fit	<input type="checkbox"/> Save

The main interface shows the "2D Dark-Frame Spectra" button selected. The spectral plot displays multiple spectra with a y-axis ranging from 1337 to 8652 and an x-axis from 0 to 3358. The status bar at the bottom shows "Sum of all spectra" and a list of file names.



# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

2D-FITs Flats einlesen und Master-Flat erzeugen.

The screenshot shows the SpectroCalc 2 - 2.0.3.7 interface. A dialog box titled 'Flat - RAW' is open, listing several flat-field files and a 'MasterFlat.fit' file. The '2D Flat-Field Processing' menu option is highlighted in the main interface. The background shows a plot of 'Scanned Spectra' with a wavelength axis from 0 to 3358 and a flux axis from 0 to 8638. The plot displays multiple spectra with various absorption lines. The 'Flat - RAW' dialog box has a table with the following data:

No	File Name	Remove
1	Flat_1x3_20s42_m35C_001.fit	<input type="checkbox"/> -
2	Flat_1x3_20s42_m35C_002.fit	<input type="checkbox"/> -
3	Flat_1x3_20s42_m35C_003.fit	<input type="checkbox"/> -
4	Flat_1x3_20s42_m35C_004.fit	<input type="checkbox"/> -
5	Flat_1x3_20s42_m35C_005.fit	<input type="checkbox"/> -
6	Flat_1x3_20s42_m35C_006.fit	<input type="checkbox"/> -
7	Flat_1x3_20s42_m35C_007.fit	<input type="checkbox"/> -
8	Flat_1x3_20s42_m35C_008.fit	<input type="checkbox"/> -
	MasterFlat.fit	<input type="checkbox"/> Save

The '2D Flat-Field Processing' menu option is highlighted in the main interface. The 'Flat - RAW' dialog box has a 'Save' button next to the 'MasterFlat.fit' file. The '2D Flat-Field Processing' menu option is highlighted in the main interface. The 'Flat - RAW' dialog box has a 'Save' button next to the 'MasterFlat.fit' file.

# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

2D-FITs Referenz-Lampen Dateien einlesen.

The screenshot displays the SpectroCalc2 interface with the '2D Reference Processing' workflow selected. The 'References - RAW' panel shows a list of 11 reference files for ArNe lamps. The 'Scanned References' plot shows the resulting spectra with a wavelength scale from 1613 to 3358 nm.

No	File Name	Spectrum-Scan	Remove
1	ArNe_1x3_20s_m35C_001.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	ArNe_1x3_20s_m35C_002.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	ArNe_1x3_20s_m35C_003.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	ArNe_1x3_20s_m35C_004.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	ArNe_1x3_20s_m35C_005.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	ArNe_1x3_20s_m35C_006.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	ArNe_1x3_20s_m35C_007.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	ArNe_1x3_20s_m35C_008.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	ArNe_1x3_20s_m35C_009.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	ArNe_1x3_20s_m35C_010.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	ArNe_1x3_20s_m35C_011.fit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sum of all spectra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Da bei hochauflösender Spektroskopie die nächtliche Temperaturänderung zu Verschiebungen auf der Wellenlängenachse führt, empfehle ich am Beginn der Aufnahmeserie und immer nach jeder Spektrumaufnahme eine Referenzlampenaufnahme zu tätigen. Dadurch kann SpectroCalc2 die Verschiebung zwischen den Aufnahmen berechnen und die Spektren mit den gleichen Parametern wie die zugehörigen Referenzaufnahmen in Bezug auf die erste Aufnahme ausrichten.

# 2D Daten in SpectroCalc2 einlesen

2D-FITs Referenz-Lampen Darks einlesen und Master-Dark erzeugen.

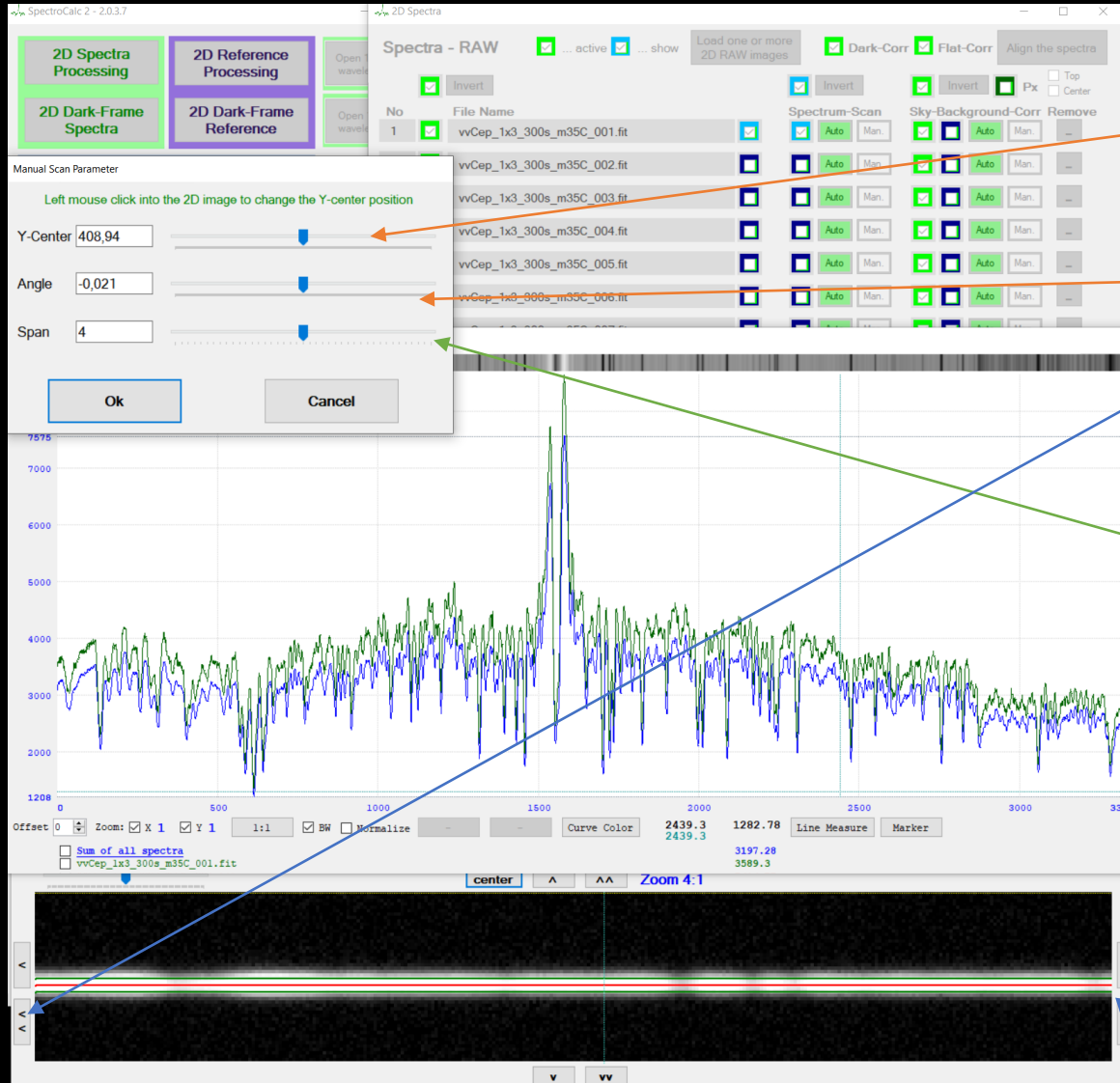
The screenshot displays the SpectroCalc2 software interface. The main window shows a '2D Reference Processing' panel with options for '2D Reference Processing', '2D Dark-Frame Reference', '2D Flat-Field Processing', and '2D Dark for Flat-Field'. A 'Dark - RAW' dialog box is open, showing a list of files for reference images. The 'Dark - RAW' dialog has a 'Save' button highlighted. The background shows a 'References - RAW' table with columns for 'No', 'File Name', and 'Remove'. The table lists several files, including 'Bias\_1x3\_m35\_64x.fit' and 'MasterRefDark.fit'. The bottom part of the interface shows a 'Scanned Spectra' plot with a wavelength axis from 1613 to 3358 nm and a signal axis from 0 to 26406. The plot shows several sharp peaks, with the most prominent ones at approximately 1829 nm and 2748 nm. The bottom status bar shows 'Offset: 0', 'Zoom: X 1 Y 1', and 'Line Measure' buttons.

In diesem Fall habe ich bereits ein Masterdark und lese dieses ein. Durch „Save“ wird dann nur diese eine Datei als Masterdark herangezogen.

Der verwendete CCD-Chip ist sehr rauscharm und ich nehme daher für die 20s Referenzlampen-Aufnahmen das Bias als Dark.

# Scan Überprüfen / Korrigieren

Die einzelnen Dateien durchgehen, eventuell korrigieren oder wenn die Aufnahme misslingen ist: löschen.

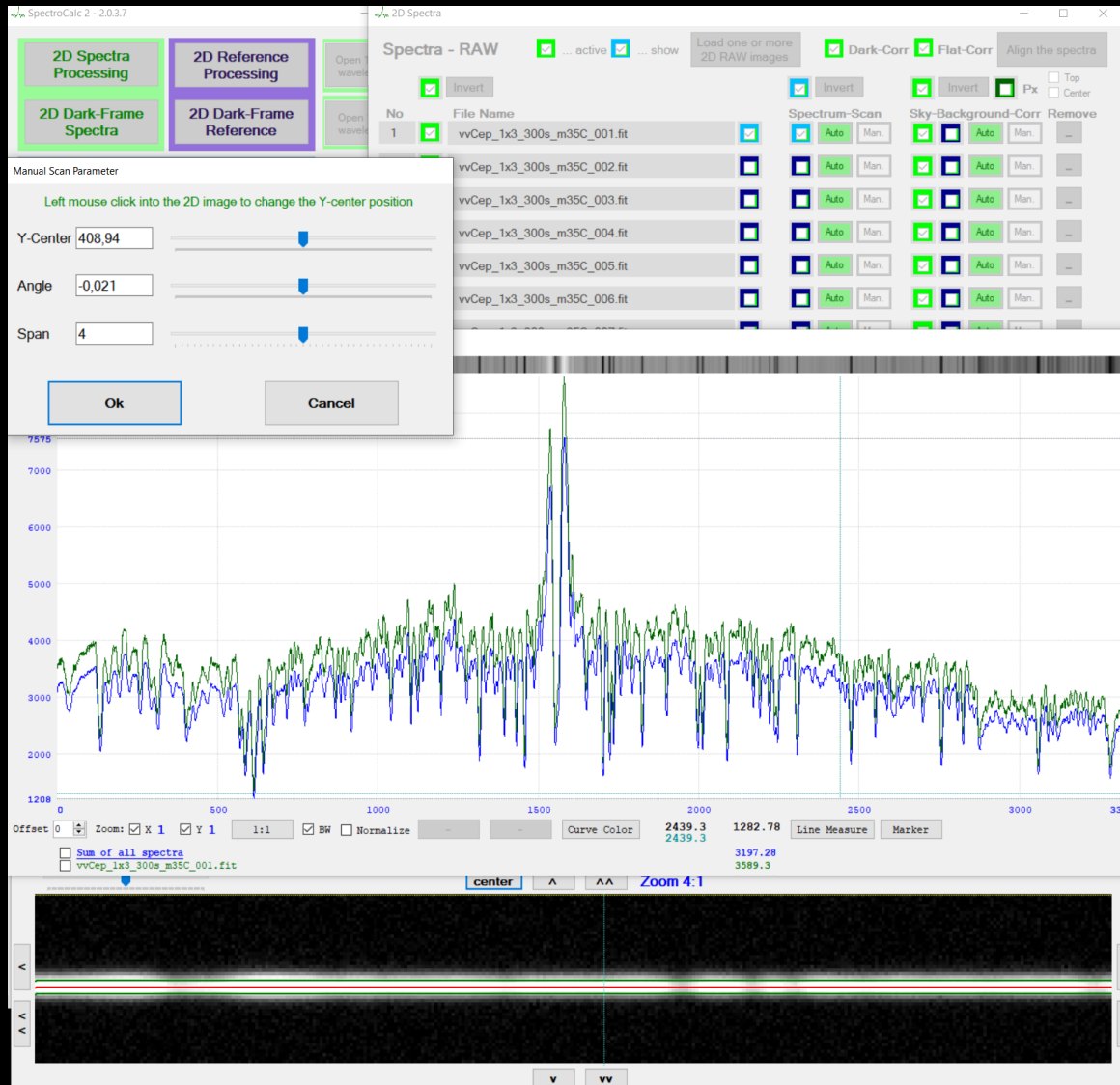


Verschieben des Scan-Mittelpunktes in Y (rote Linie), oder Maus-Klick auf das 2D-Bild unten

Winkeländerung.  
Mit den Pfeilen bis an die äußersten Ecken gehen und beurteilen, ob der Winkel passt

Scan-Höhe anpassen. Über die Höhe berechnet SpectroCalc2 bei jeder X-Position einen Mittelwert

# Scan der Referenzlampen-Aufnahmen



Die Referenzlampenaufnahmen werden zeitlich der Spectrum-Aufnahme zugeordnet und dann automatisch mit den exakt gleichen Parametern gescannt.

Dies ist wichtig, damit die durch das Littrow-Spektrografensystem schrägen Referenzlinien auch an exakt der Wellenlänge gescannt werden, wo sich auch die entsprechende Wellenlänge im Spektrum befindet.

Da nach jedem Spektrum eine Referenz aufgenommen wurde, können dadurch die temperaturbedingten Wellenlängenverschiebungen ausgeglichen werden und es kommt zu keinen „Verschmierungen“ der Linien!



# Himmelshintergrund abziehen

Der Himmelshintergrund ist ein „additiver“ Störeinfluss und beeinflusst das Verhältnis der Linien-Höhe zum Kontinuum.

The image shows the 'Manual Sky-Background Parameter' dialog box in spectroLab 2. It includes the following fields and controls:

- Y-Span:** 19
- Upper:** 372 (off)
- Lower:** 445 (off)
- Polynomial Order:** 5
- Buttons: **Ok**, **Ok - use it for all spectra**, **Cancel**

The 'Spectra - RAW' window displays a table of spectra files:

No.	File Name	Spectrum-Scan	Sky-Background-Corr	Remove
1	vvCep_1x3_300s_m35C_001.fit	Auto	Auto	Man.
2	vvCep_1x3_300s_m35C_002.fit	Auto	Auto	Man.
3	vvCep_1x3_300s_m35C_003.fit	Auto	Auto	Man.
4	vvCep_1x3_300s_m35C_004.fit	Auto	Auto	Man.
5	vvCep_1x3_300s_m35C_005.fit	Auto	Auto	Man.
6	vvCep_1x3_300s_m35C_006.fit	Auto	Auto	Man.
7	vvCep_1x3_300s_m35C_007.fit	Auto	Auto	Man.

The 'Scanned Sky Background' window shows a 2D image of the selected spectrum with a zoom of 2:1. The 1D spectrum plot at the bottom shows the spectrum with various controls like Zoom, Offset, and Curve Color.

Höhe des Messbereichs

Mitte des oberen Bereiches

Mitte des unteren Bereiches

Maus-Klick über oder unter den Spektrenstreifen, um den oberen oder unteren Scanbereich festzulegen

Der Bereich sollte nicht zu weit vom Spektrum entfernt sein, aber es sollte auch noch nicht das Spektrum selbst durchscheinen

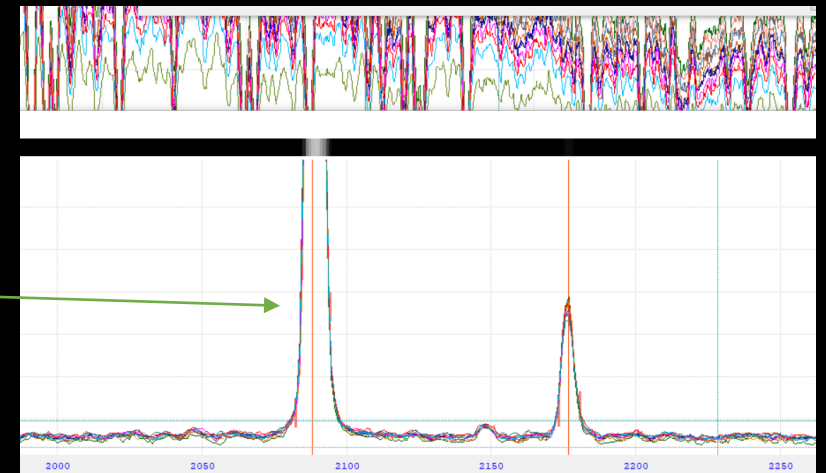
Oft kann diese Einstellung für alle Dateien mit gleichen Einstellungen angewendet werden

# Spektren ausrichten

Zuerst versuche ich immer mit der Automatik über die Referenzlinien auszurichten. Sollte das nicht gut funktionieren, über die Automatik am Spektrum oder manuell.

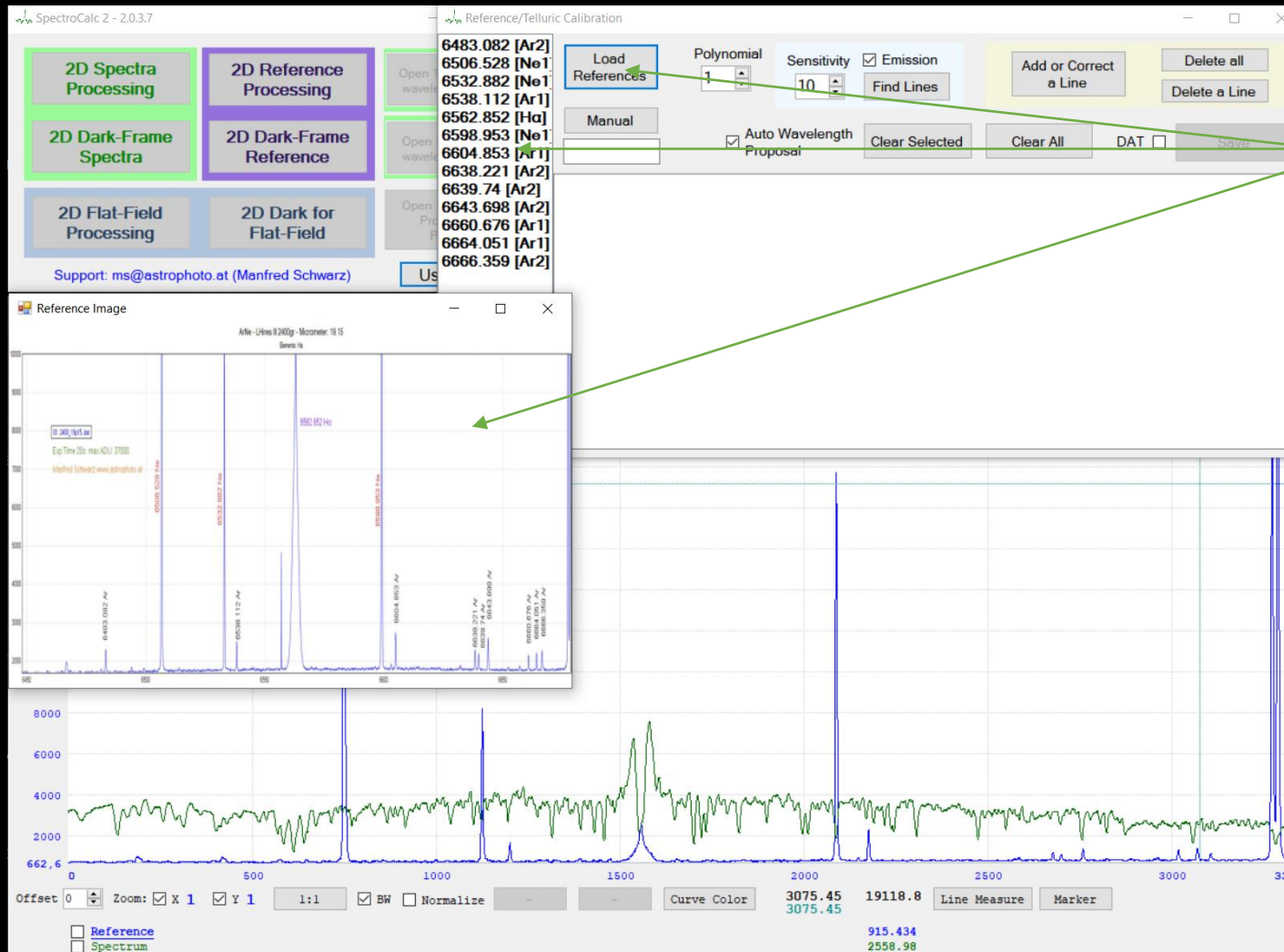
The screenshot shows the SpectroCalc 2 interface. On the left, there are buttons for '2D Spectra Processing', '2D Dark-Frame Spectra', and '2D Flat-Field Processing'. The main window displays a list of 10 spectra files under 'Spectra - RAW'. An 'Align the spectra' dialog box is open, with the 'References' button highlighted. The background plot shows 'Scanned Spectra' and 'Scanned References' with a zoomed-in view of two reference lines at 2276.79 and 3939.64 nm.

Das Programm richtet mit 1/100 Pixel Auflösung aus



# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Durch Drücken auf „Calibrate“ gelangt man in den zweiten Abschnitt von SpectroCalc2.

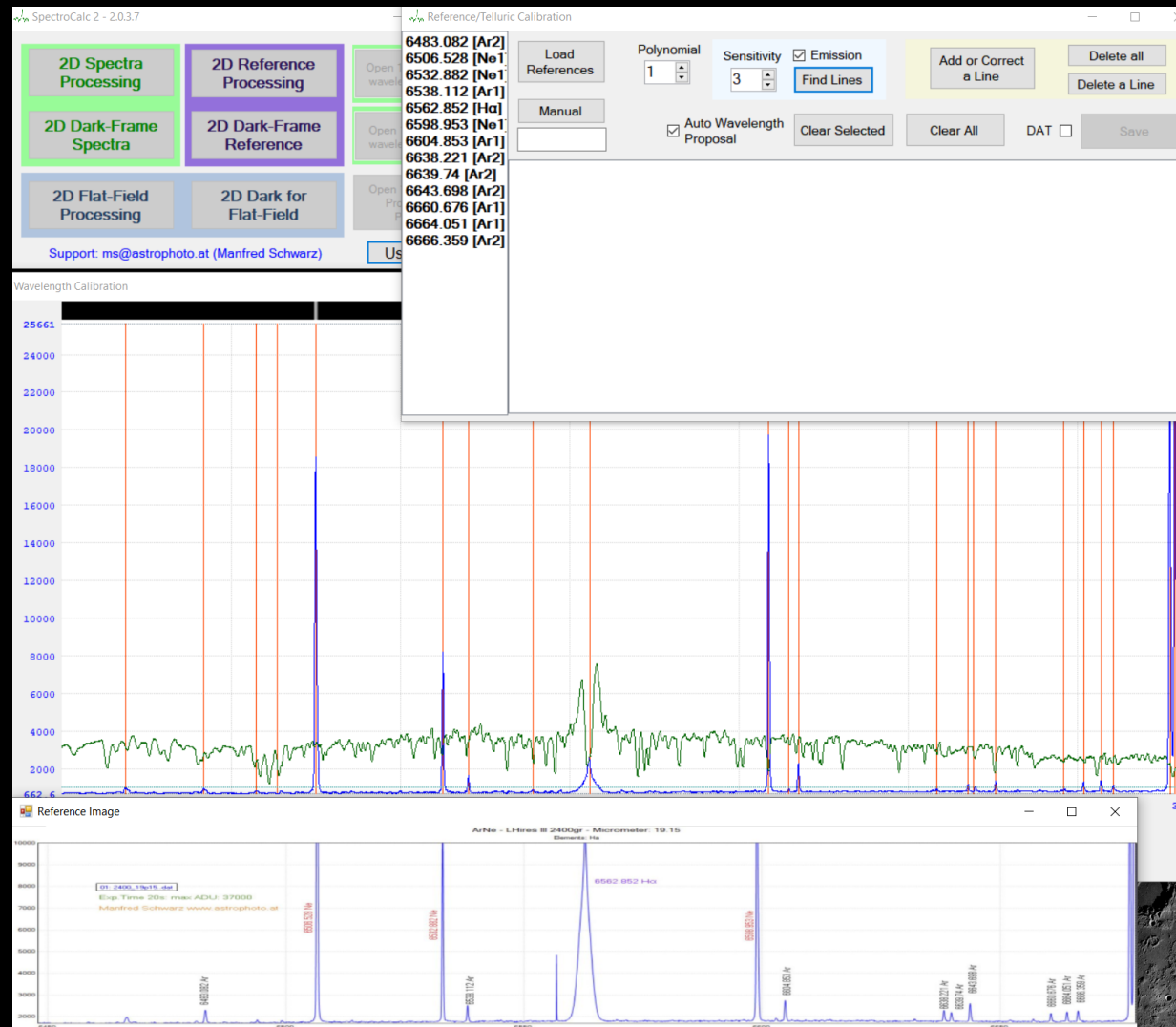


Wir laden die gewünschte Kalibrationstabelle, in diesem Falle die ArNe Linien im Bereich von H-alpha.



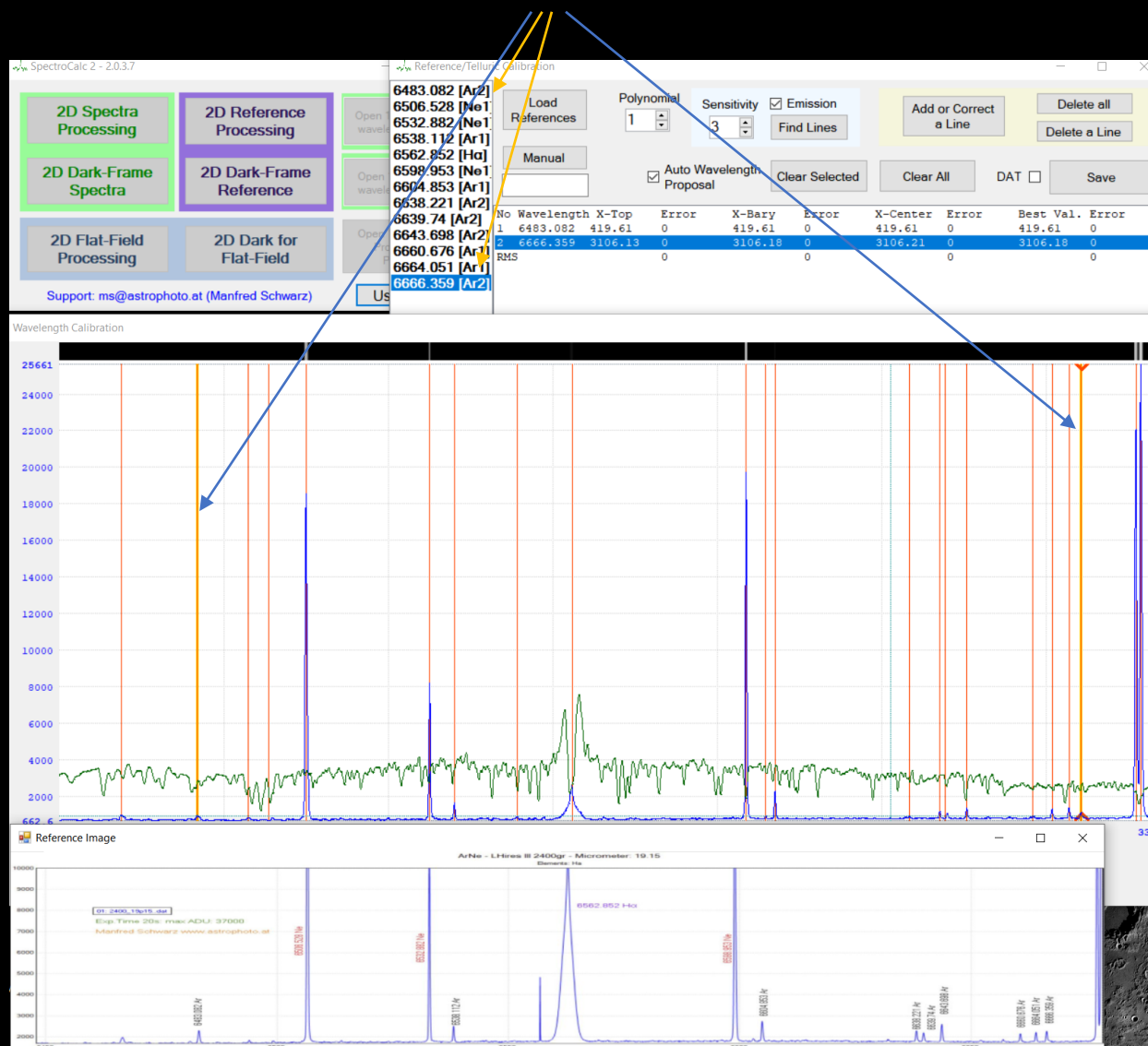
# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Mit „Find Lines“ und der richtigen Einstellung von „Sensitivity“ werden die gewünschten Referenz-Emissionslinien gefunden.



# Spektren Wellenlängenkalibrieren

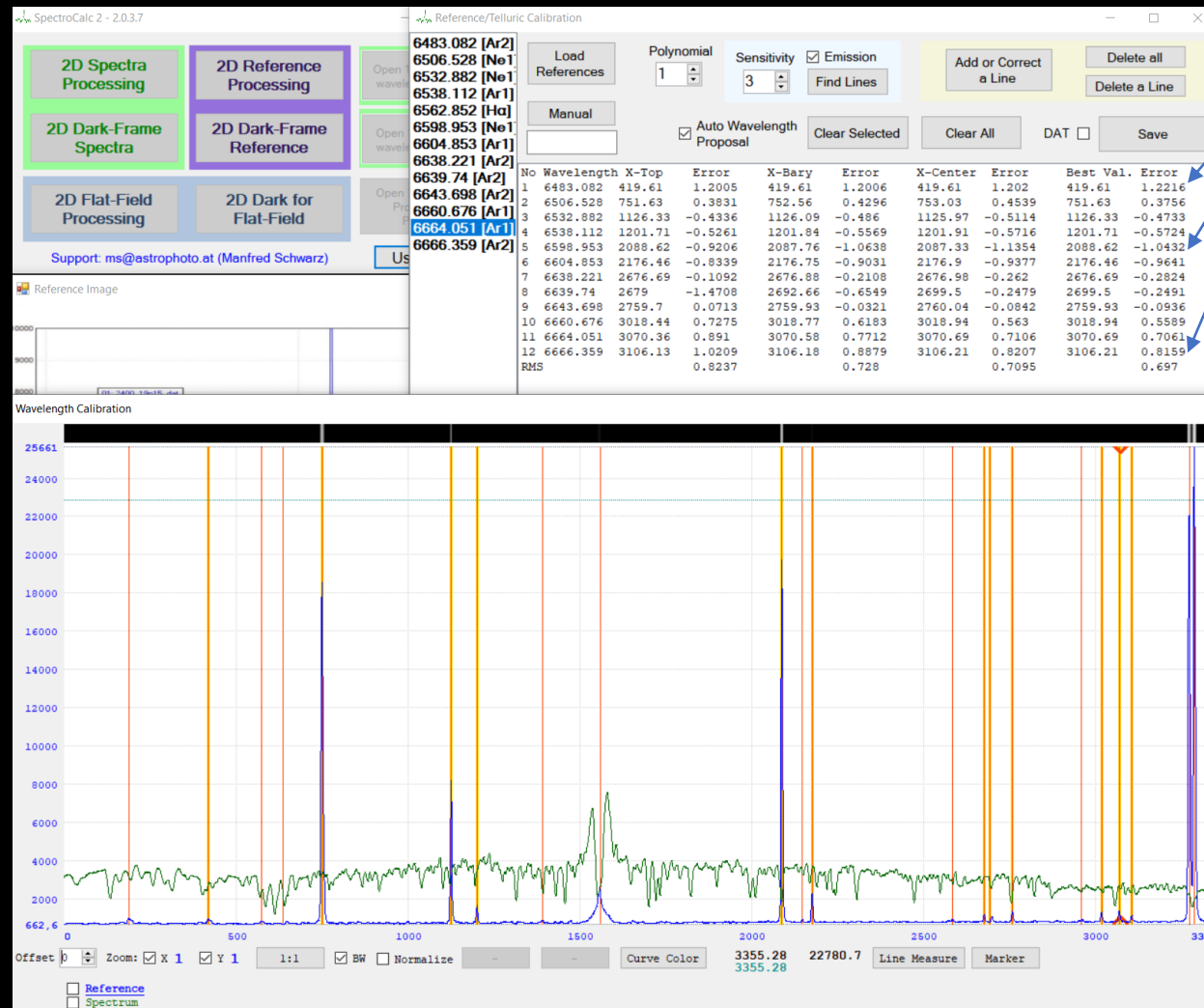
Markieren und zuweisen der Wellenlänge der beiden bekannten äußersten Linien.





# Spektren Wellenlängenkalibrieren

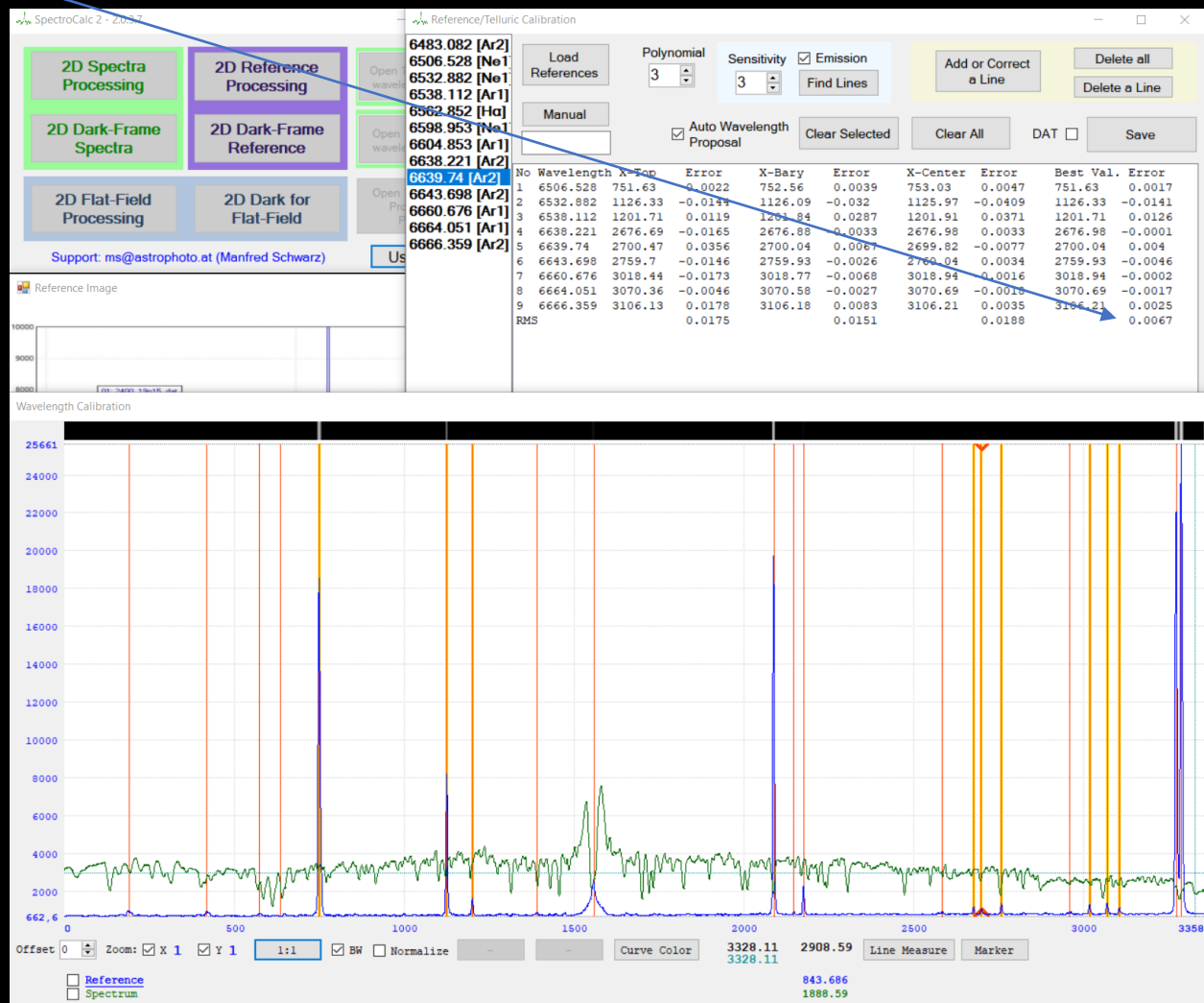
Anklicken der restlichen bekannten Linien. SpectroCalc2 findet die zugehörigen Wellenlängen automatisch.



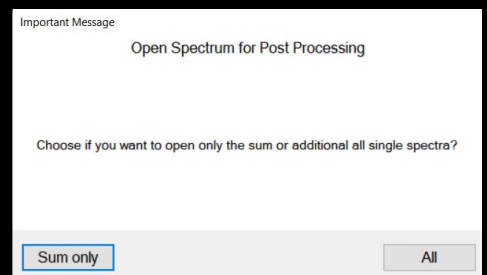
Die Ausreißer genauer unter die Lupe nehmen. Entweder die Linie händisch nachkorrigieren oder aus der Auswertung herausnehmen „Clear Selected“

# Spektren Wellenlängenkalibrieren

Ist der RMS-Fehlerwert entsprechend gut, kann mir „Save“ zum nächsten Abschnitt gegangen werden-



Beim Post-Processing kann dann mit dem Summenspektrum oder mit allen einzelnen Spektren weitergearbeitet werden, wenn man z.B. die Änderungen der Linienformen über die Aufnahmeserie herausarbeiten möchte.



# Post Processing

## Korrektur der Instrumentenlinie

„Correct Inst.Response“

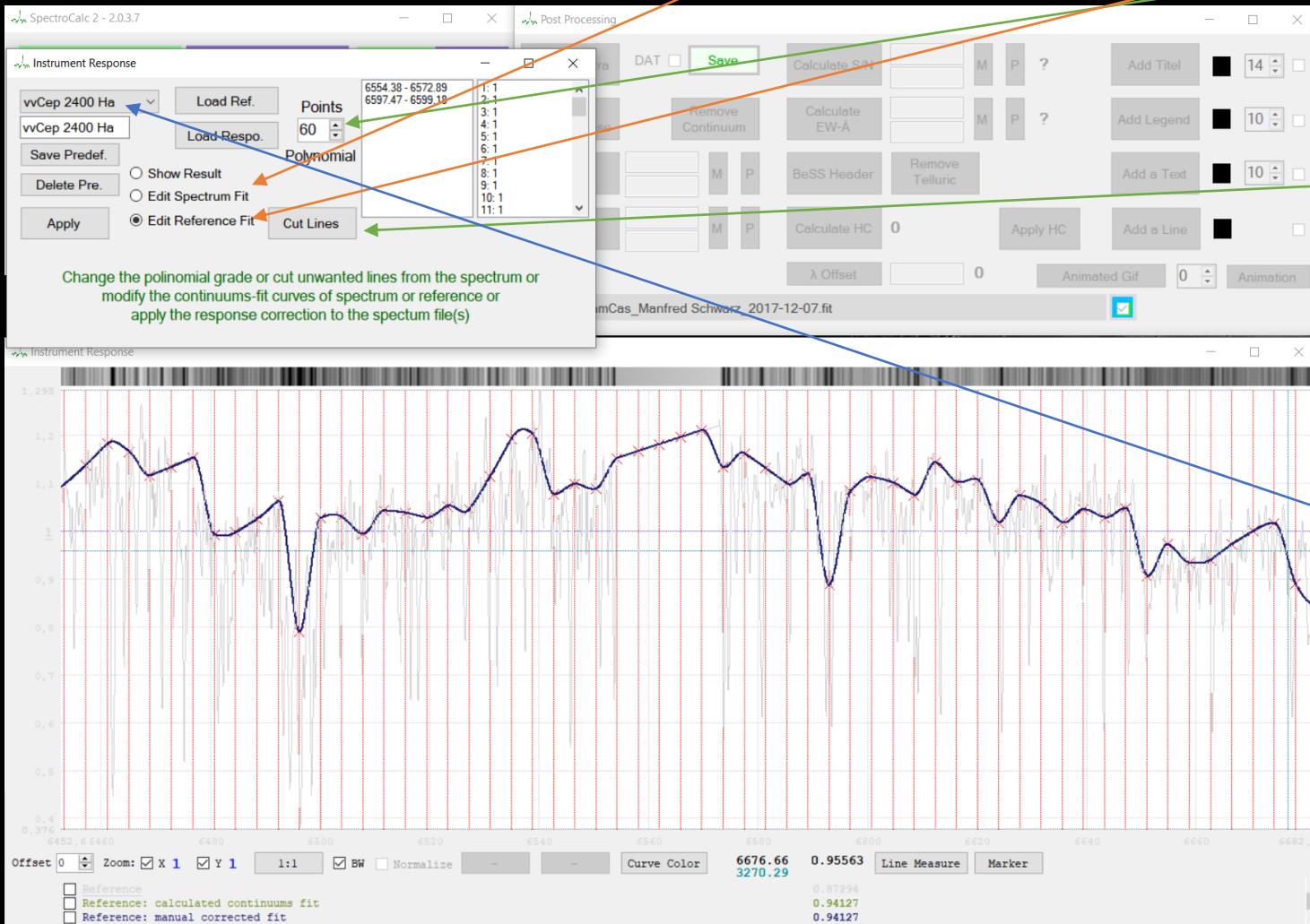
„Load Ref.“

Wenn kein eigens aufgenommenen Referenzstern aufgenommen wurde, dann aus einer der Datenbanken einen ähnlichen Stern der Spektralgruppe wählen, oder wie hier genau diesen Stern. In diesem Falle aus der Elodie-Datenbank.

# Post Processing

Korrektur der Instrumentenlinie: Sowohl vom Spektrum selbst als auch von der Referenz das Kontinuum definieren!

Anzahl der Stützpunkte

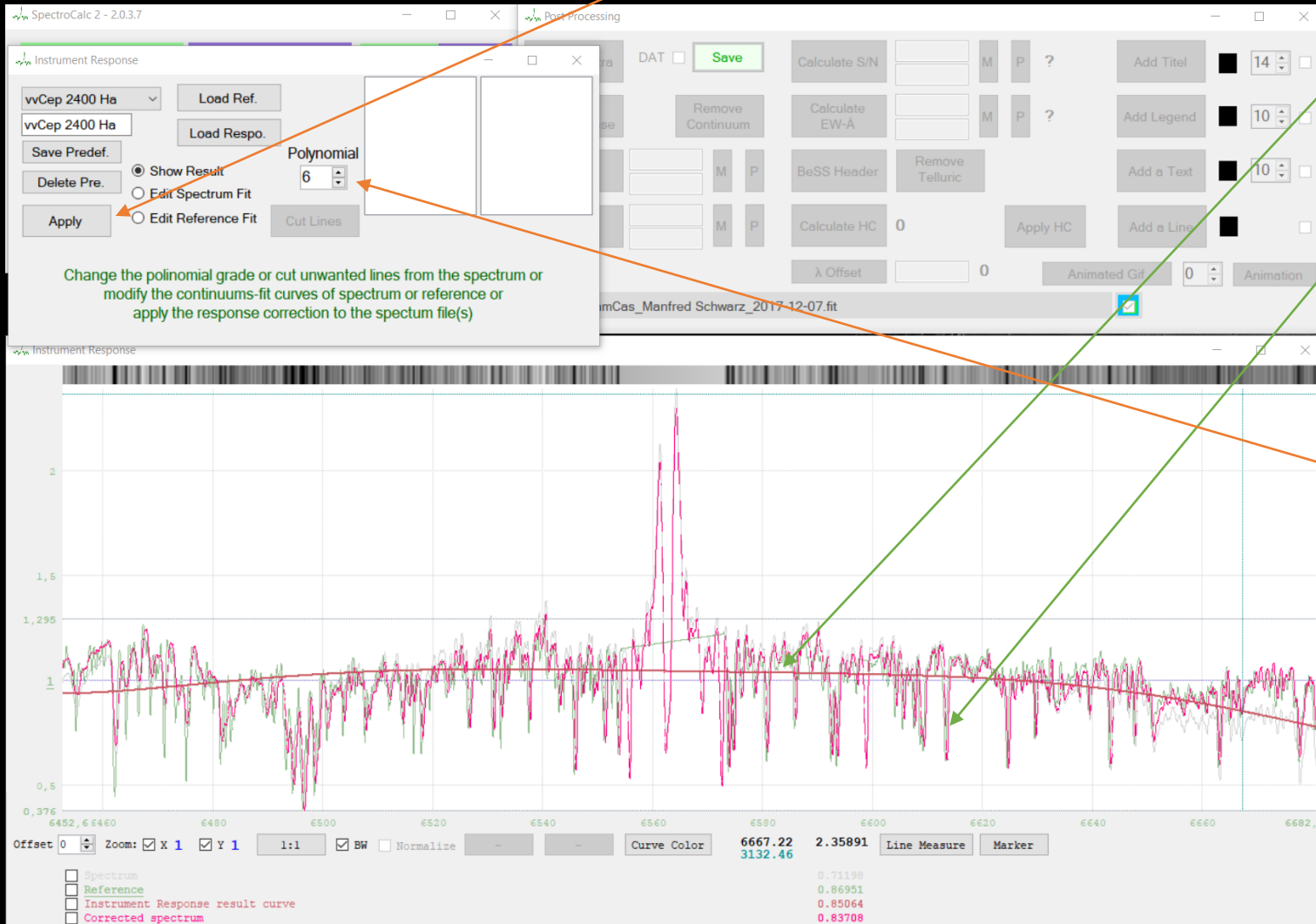


„Cut Lines“, zum ausschneiden von Linien, da man ja nur das Kontinuum festlegen möchte

Wenn bereits da fleiche Objekt im selben Wellenlängenbereich bearbeitet wurde, kann man auch auf ein gespeichertes Parameter-Set zugreifen.

# Post Processing

Korrektur der Instrumentenlinie: „Apply“ zur Korrektur der Instrumentenkurve



Instrumentenkurve

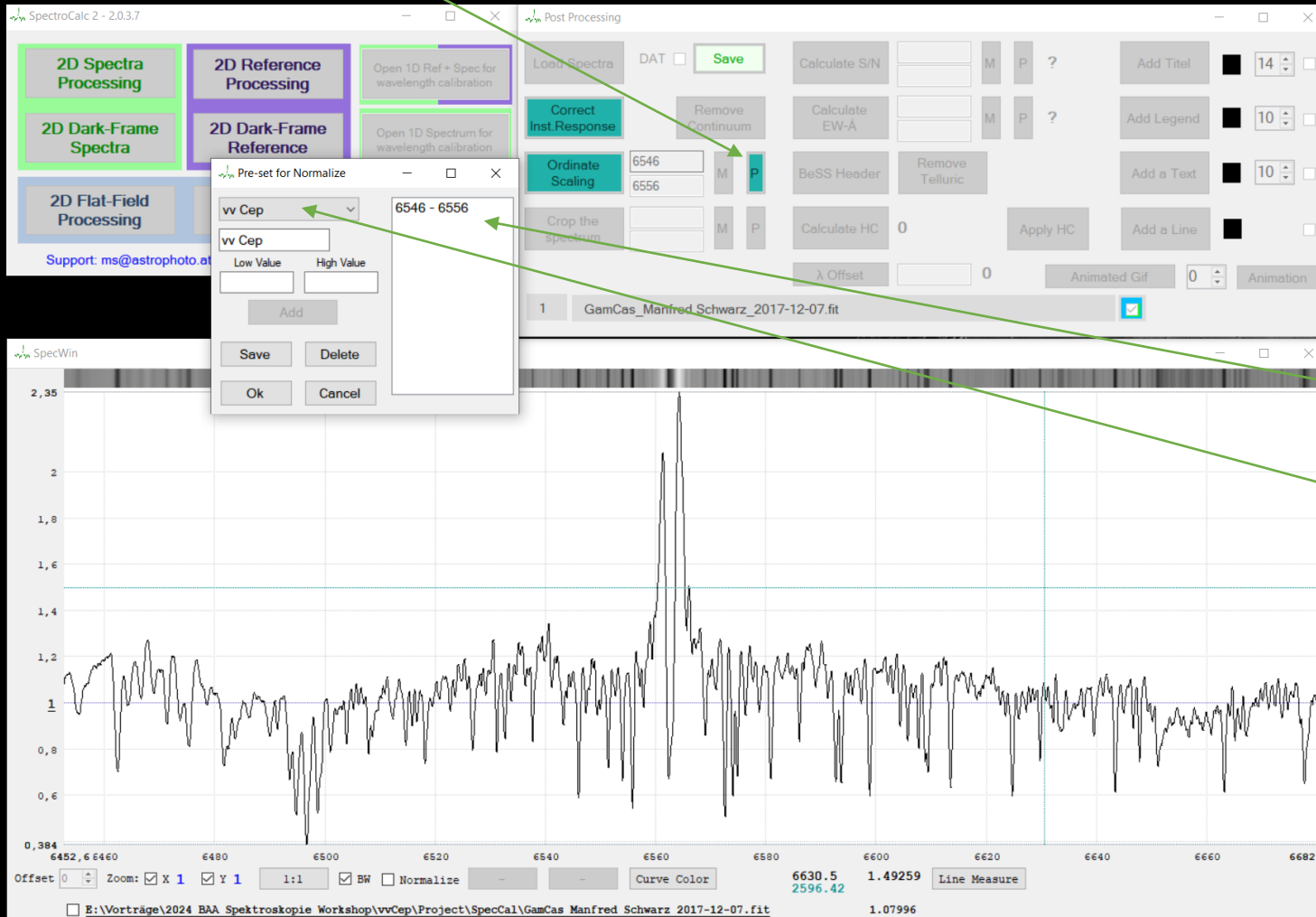
Korrigiertes Spektrum

Polynom über die Kurve legen, damit durch die vielen Linien nicht eine „unruhige“ Korrektur angewendet wird.



# Post Processing

Skalierung (Normierung) der Ordinate.



Bei dem Forschungsprojekt wurde für das Ermitteln von Flux = 1, ein Wellenlängenbereich von 6546 bis 6556 festgelegt. Man kann den Bereich auch wie hier abspeichern, um ihn das nächste Mal bequem abrufen zu können.

# Post Processing

Ergänzung der FITs-Header-Daten „BeSS Header“.

The screenshot displays the SpectroCalc 2.0.3.7 interface. The 'Post Processing' window is active, showing a list of spectra with 'GamCas\_Manfred Schwarz\_2017-12-07.fit' selected. A 'BeSS Header Information' dialog box is open, containing the following data:

Object	vv Cep	Get data from Simbad
RA 2000 (°)	329.16309	21 h 56 m 39.142 s
DEC 2000 (°)	63.62555	63 ° 37 ' 31.98 "
Star Type	M2Ibep+B2?ep_sh	Vmag 4.9
JD (middle)	2458095.355231	Date 2017-12-07 Time (UT) 20:31:32
Latitude (°)	47.62	N 47 ° 37 ' 12 "
Longitude (°)	16.28	E 16 ° 16 ' 48 "
Altitude (m)	700	Location Name Wiesmath
Preset Locat.	Wiesmath	Save Location as Preset
Remove Cont.	none	Ok
Rem. Cosmics	none	Cancel
Atmosph. Corr	none	
Helio Centric Velocity		<input type="checkbox"/> V-Hel is applied to the spectrum
Observer	Manfred Schwarz	Camera STT8300M
Telescope	C11	Spectrograph LHIRE53-2400
Preset Name	C11 Lhires24 8300	Inst. Resolution 18600
	Save Preset	C11 Lhires24 8300

The main window shows a spectral plot with a wavelength range from 6452.6 to 6682.7 Å. The plot displays a complex spectrum with numerous absorption lines. The y-axis represents intensity, ranging from 0.6 to 1.4. The x-axis is labeled 'Offset' and 'Zoom'. The status bar at the bottom shows the file path: 'E:\Vorträge\2024 BAA Spektroskopie Workshop\vvCep\Project\SpecCal\GamCas\_Manfred Schwarz\_2017-12-07.fit'.

Eingabe des Namens und Klick auf „Get Data from Simbad“ füllen automatisch den oberen Bereich aus.

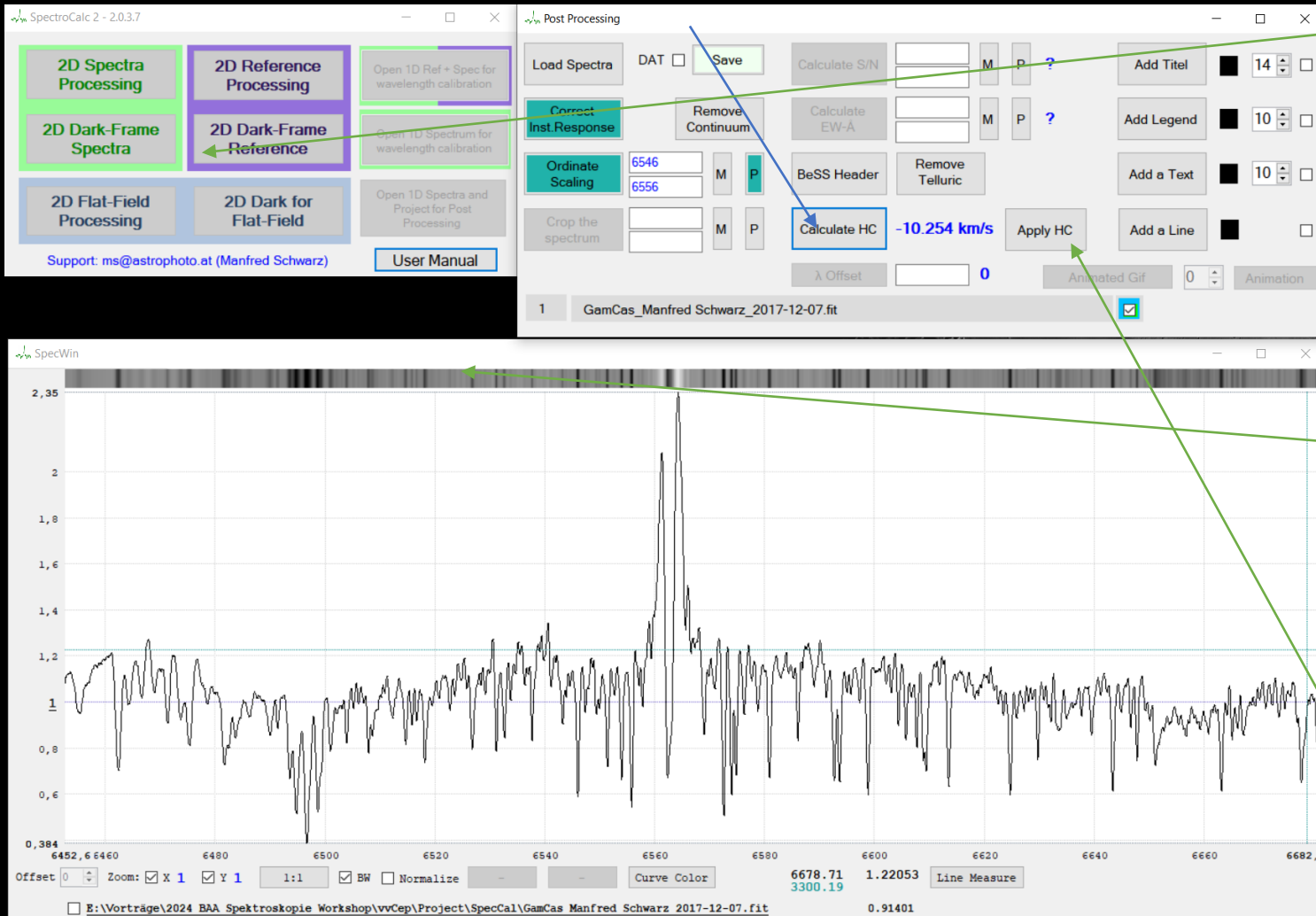
Diese Daten werden aus den Aufnahmedaten genommen

Die Aufnahmeposition kann gespeichert und danach immer einfach abgerufen werden

Die Instrumentendaten können gespeichert und danach immer einfach abgerufen werden

# Post Processing

## Berechnung der Heliozentrischen Korrektur



Die Bewegung des Beobachters, also in diesem Falle bin das ich bei der Aufnahme, verfälscht die Wellenlänge, je nach dem ob wir uns auf das Objekt zubewegen oder davon weg.

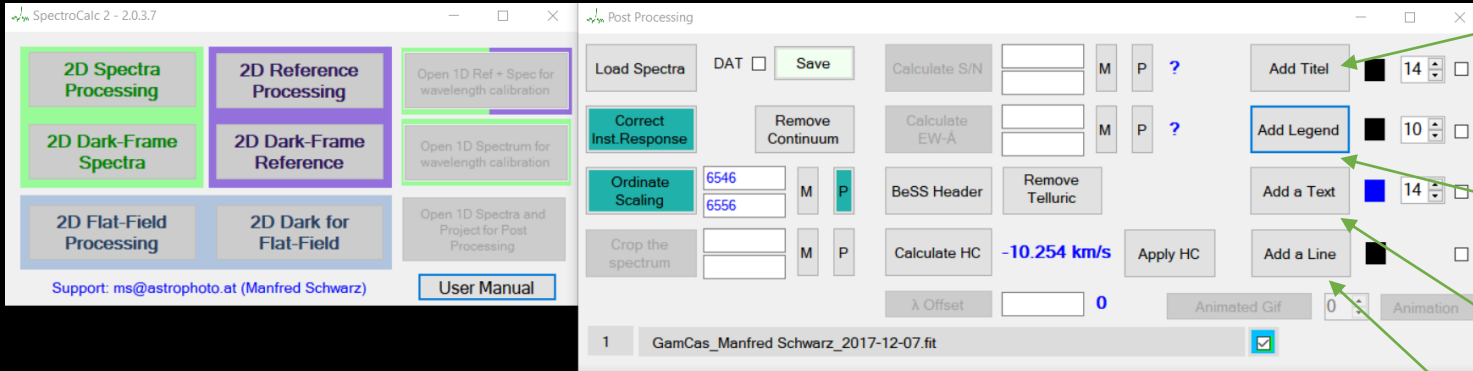
Bei dieser Auflösung kommt diese Verfälschung zum tragen und muss korrigiert werden.

Es reicht meistens, wenn man die Berechnung durchführt, diese aber nicht auf das Spektrum anwendet. Der Wert wird dann im FITs-Header hinterlegt.

Möchte man sie anwenden, drückt man auf „Apply HC“.

# Post Processing

Beschriftung.

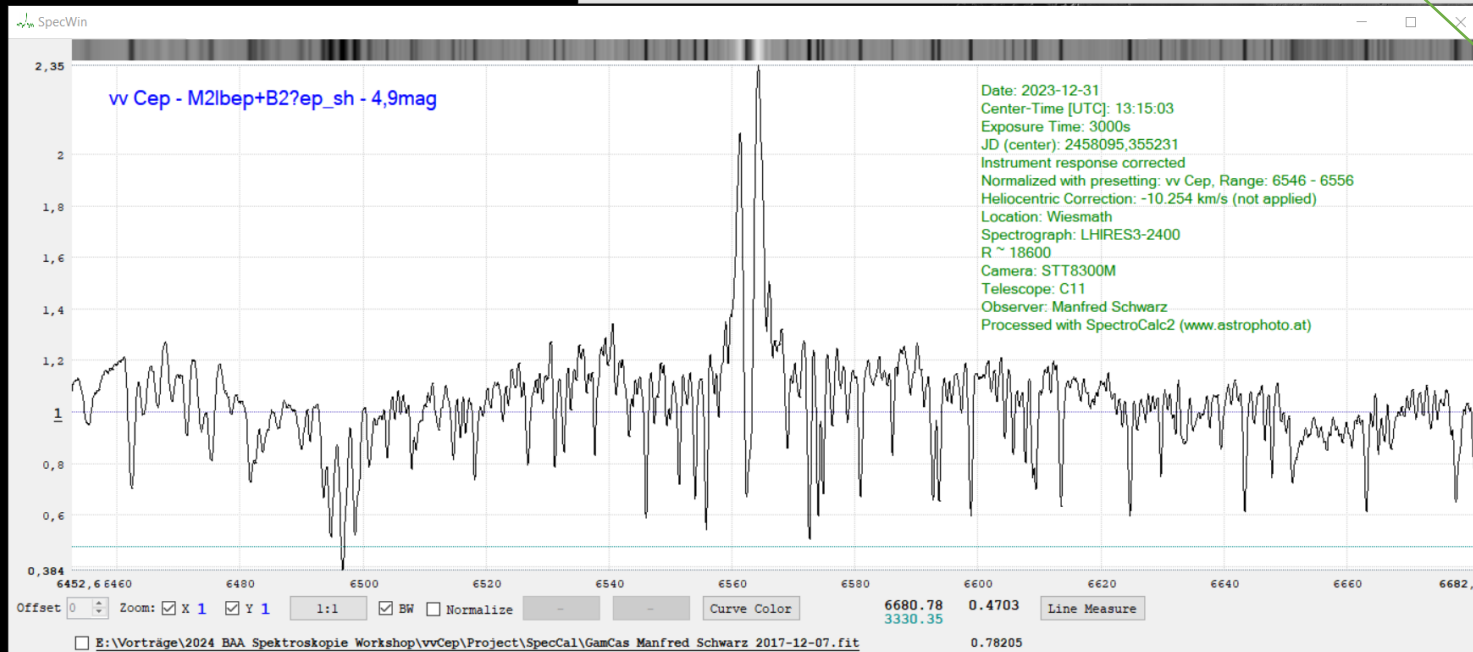


Automatische Erstellung eines Titels

Automatische Erstellung einer Legende

Erstellung eines freien Textes

Zeichnen von senkrechten Linien



Um einen Text oder eine Linie zu verschieben, klickt man das Objekt an (wird gelb markiert) und klickt dann auf die Zielposition

# Ende des Workshops

Abschließende Diskussionen und Fragen.

Vielen Dank für Euer Interesse  
und  
viel Erfolg und Freude mit der  
Spektrografie!

