

Auswertung von SOFIA / FIFI-LS – Daten mit SOSPEX

Anleitung für Schüler

Willkommen! Dies ist eine Anleitung für die Auswertung echter astronomischer Daten, die vom fliegenden Infrarot – Teleskop SOFIA (Stratosphären Observatorium für Infrarot Astronomie) stammen. Du solltest von deinem Lehrer / deiner Lehrerin einen kurzen Überblick über SOFIA, Infrarotastronomie und den Sinn eines abbildenden Linienspektrometers erhalten haben.

1 Voraussetzungen

Du benötigst einen FIFI-LS-Datensatz, den dir dein Lehrer / deine Lehrerin zur Verfügung stellt. Die Originaldaten haben meist einen langen Namen (z.B. F0161_FI_IFS_8700053_RED_WXY_100471-400729.fits).

Von deinem Rechner aus solltest du Zugang zur Python-Umgebung Anaconda haben. Der Startbefehl lautet „Anaconda Prompt“ (z.B. vom Windows Start-Menue aus). Ist Anaconda gestartet, erscheint ein Fenster mit schwarzem Hintergrund. Dort gibst du das Kommando „sospex“ ein und drückst die Eingabetaste. Nach einigen Sekunden startet das Programm; Die Willkommensmeldung bestätigst du durch Klick auf „OK“.

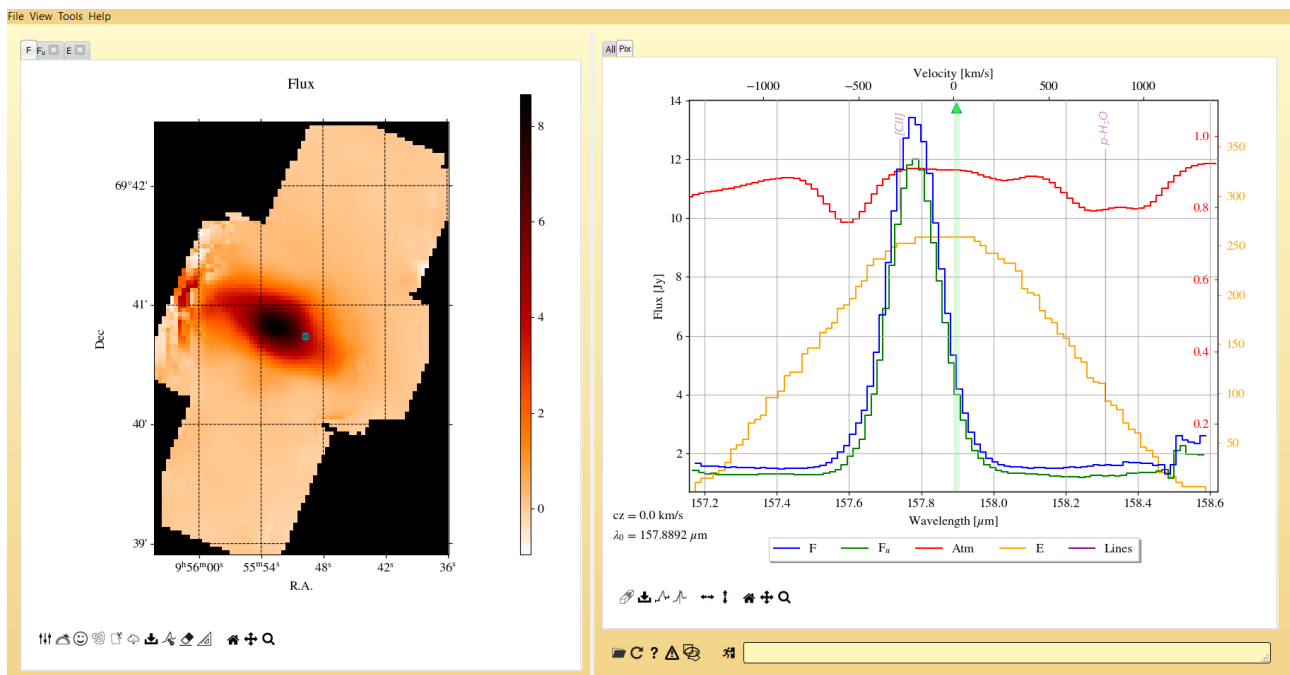


Abbildung I: SOSPEX mit frisch geöffnetem Datensatz (zum Text auf S. 2)

2.1 Überblick

Öffne das „File“ - Menue und wähle „Open cube“. Öffne den Datensatz mit dem langen Namen.

Ist er geladen, zeigt das linke Feld („Panel“) die von FIFI-LS gemessene Gesamtintensität („Flux“); im Beispiel handelt es sich um den Kernbereich der Galaxie M82. Auf dem Skalenbalken rechts neben dem Bild siehst du, welche Strahlungsmenge mit welcher Farbe dargestellt wird. Mit den kleinen Tabs links oben kannst du auch den unkorrigierten Strahlungsfluss F_u oder die Belichtungskarte E („Exposure Map“) zur Anzeige auswählen. In der Mitte des Bildes befindet sich ein blaues Kästchen, das du mit der Maus anklicken und verschieben kannst. Damit wählst du das Pixel aus, dessen Spektrum im rechten Feld angezeigt wird.

Das rechte Feld ist das Spektrum. Es zeigt in diesem Fall die Linie des einfach ionisierten Kohlenstoffatoms CII. Mit den kleinen Tabs links über dem Bild kannst du die Summe des ganzen Bildes auswählen („All“) oder das Spektrum an dem einen Pixel, das im linken Bild ausgewählt ist („Pix“).

2.2 Spektrum aufräumen

Im Spektrum sind mehrere farbige Linien zu sehen, deren Erklärung in der Legende unter dem Bild steht: F für Flux (Intensität), F_u für den unkorrigierten Fluss, Atm für die Atmosphärenkorrektur, E für Exposure (Belichtungszeit) und Lines für die Beschriftung bekannter Linien. Um die Darstellung zu vereinfachen kannst du die Linien ausblenden, die wir nicht benötigen – das ist alles außer der ersten und letzten. Dazu klickst du auf die entsprechende Legende.

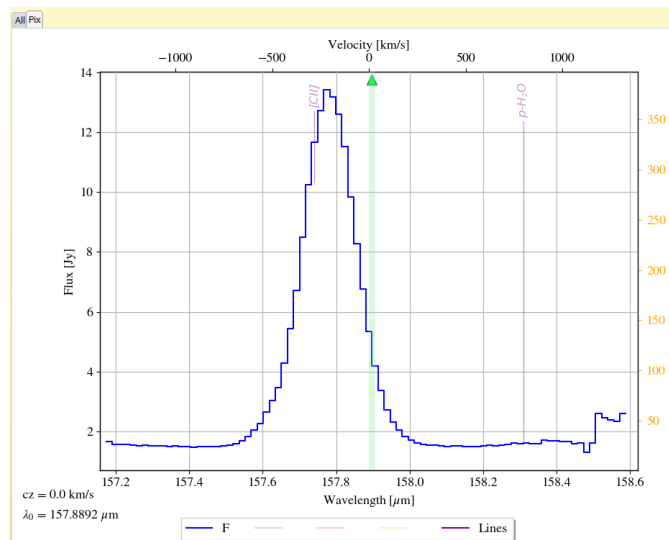


Abbildung II: Das aufgeräumte Spektrum: nur noch Flux und Lines anzeigen

2.3 Farbkodierung des Bildes ändern

Die Darstellung des linken Bildes kann man konfigurieren. Mit dem „Color Map“- Symbol unter dem Bild lässt sich die Farbdarstellung beeinflussen. Du kannst oben die Farbzuzuordnung und darunter die Skala bestimmen.

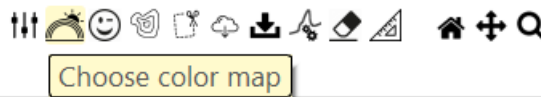


Abbildung III: Farbdarstellung ändern: Color Map Symbol

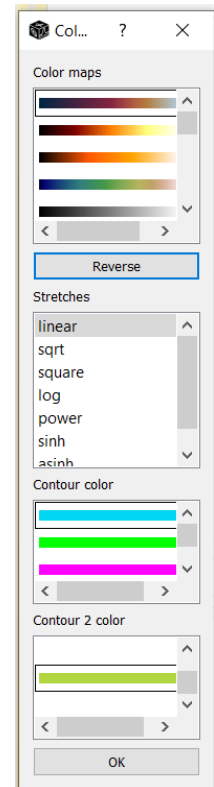


Abbildung IV: Einstellungen der Color Map

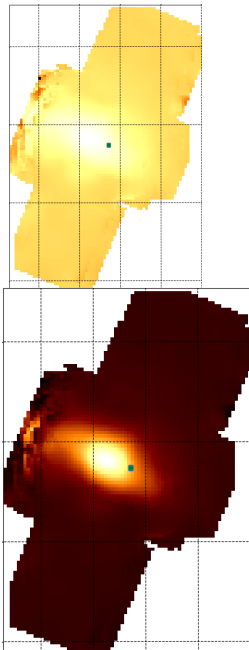


Abbildung V: Lineare (unten) und logarithmische Color Map

Die meisten Nutzer empfinden eine Farbzuzuordnung als intuitiver, die hohe Intensität hell darstellt. Das erreicht man mit dem Button „Reverse“.

Bei der Skala ist die Voreinstellung linear oft zweckmäßig. Allerdings bildet sie die ganz schwach oder sehr stark strahlenden Bereiche des Bildes nicht gut ab. Will man den ganzen Helligkeitsbereich gut überblicken, ist oft die logarithmische Skala besser geeignet.

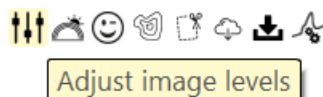


Abbildung VI: Farbenbereich anpassen
Mit der Maus kann man nun den

Ihr volles Potenzial zeigen diese Skalen aber erst, wenn man noch den Farbbereich anpasst. Das geht mit dem Symbol „Adjust Image Levels“ ganz links unter dem

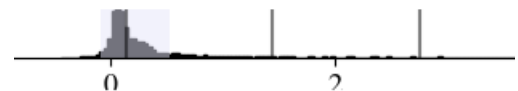


Abbildung VIII: Histogramm der Flux-Werte mit dargestelltem Bereich

Bereich eingrenzen, der in Farben umgesetzt werden soll: einfach Klicken und ziehen. Alles links vom markierten Bereich wird in der untersten Farbe angezeigt (hier schwarz), alles rechts davon in der obersten (hier weiß).

In den Bildern rechts wurde versucht, den dunklen Teil des Bildes links unten und rechts oben etwas genauer darzustellen. Man sieht deutlich, dass im linken Bild (mit der logarithmischen Skala) trotzdem auch nahe des hellen Zentrums noch Konturen zu erkennen sind, während im rechten (linear skalierten) die Mitte fast komplett weiß erscheint.

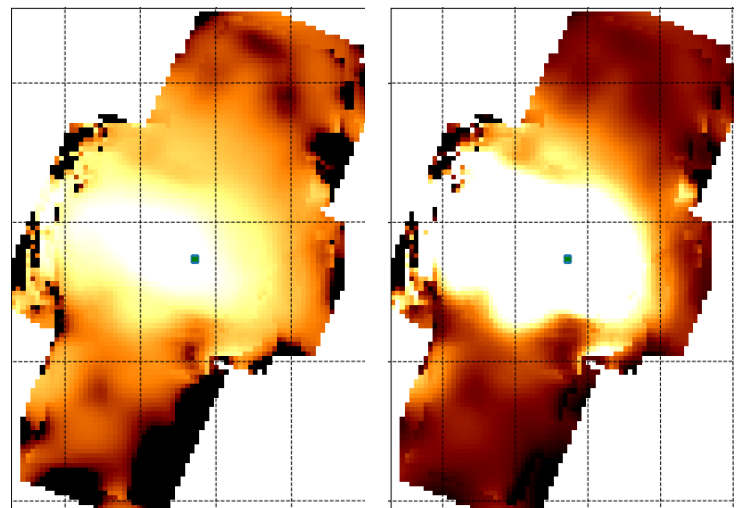


Abbildung VII: Logarithmische (links) und lineare Farbdarstellung mit angepasster Skala

2.4 Koordinatenanzeige

Wandert man mit dem Mauszeiger über die beiden Felder, bekommt man rechts unten die Koordinaten angezeigt. Im linken Feld sind das die Himmelskoordinaten des Punktes unter der Maus (Rektaszension und Deklination), dahinter in Klammern die Pixelkoordinaten (in FIFI-LS-Pixeln) und zuletzt der angezeigte Farbwert, im Beispiel der Fluss (in Jansky).

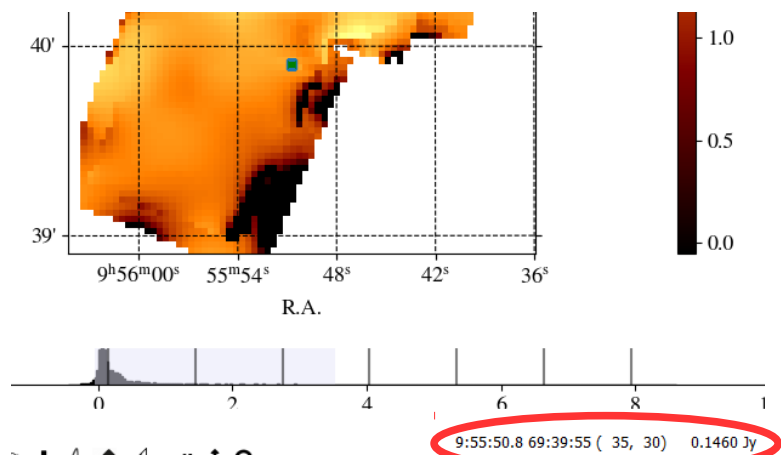


Abbildung IX: Koordinatenanzeige unter dem linken Feld

Das funktioniert auch im Spektrum im rechten Feld, aber hier werden nur die Koordinaten am Mauszeiger angezeigt, zuerst die Wellenlänge mit der zugehörigen z-Geschwindigkeit in Klammern und der Fluss.

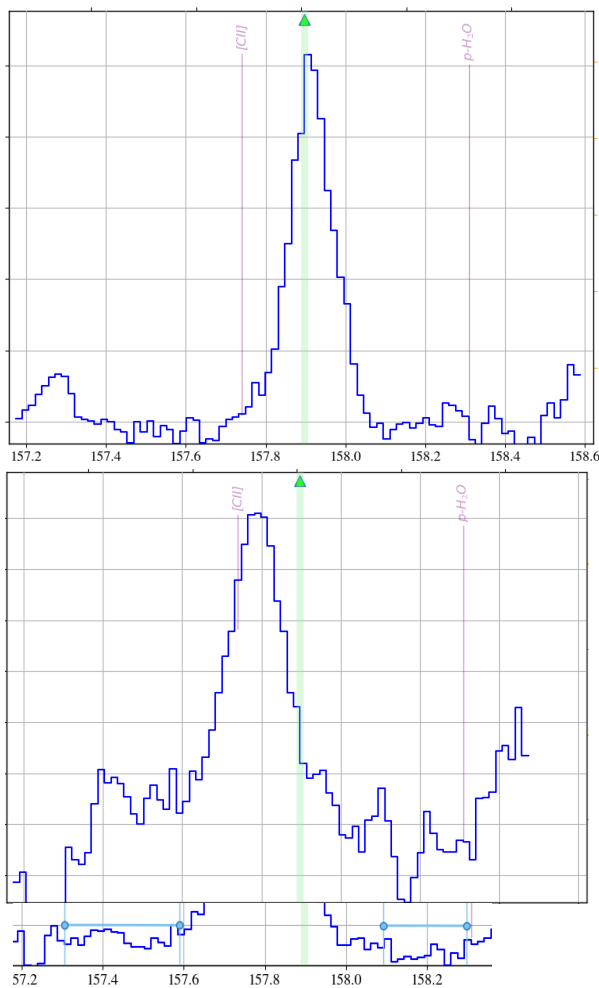


Abbildung X: Position der Linie an verschiedenen Pixeln

3 Linie anpassen

Um die Eigenschaften der gemessenen Linie anzeigen zu können, müssen diese zuerst an jedem Pixel mit einer Modellfunktion angepasst werden. Die Funktion ist im Programm fest eingebaut, aber man muss dem Anpassungsalgorithmus einen Satz Startwerte liefern. Damit wird dem Programm mitgeteilt, wo im Spektrum die Linie liegt, für die man sich interessiert.

3.1 Untergrund anpassen

Dieser Prozess beginnt mit der Anpassung des Untergrundes – das ist der Teil des Spektrums, der *nicht* zu der Linie gehört. Er stammt hauptsächlich von einer einigermaßen gleichmäßig über die gemessenen Wellenlängen verteilten Emission von interstellarem Staub.

Man muss dem Programm mitteilen, wo rechts und links der Linie der Bereich des Spektrums liegt, in dem möglichst nur der Untergrund liegt. Dazu braucht man zuerst einen Überblick, wo die Linie an verschiedenen Orten des Bildes liegt. Man schaltet also im rechten Feld auf den „Pix“ - Tab und verschiebt im linken Feld das blaue Quadrat.

Dabei beobachtet man, wie sich die Linie im rechten Feld verschiebt. In Abb. X sind zwei extreme Positionen abgebildet.

Man erkennt ganz links und ganz rechts kleine Ausschläge, die offenbar weder zur Linie noch zum Untergrund gehören. Sie sind oft auf höheres Rauschen der Daten an den Bildrändern zurückzuführen. Ein geeignete Wahl für die beiden Bereiche des Untergrundes links und rechts der Linie wären in diesem Fall etwa 157,3 bis 157,6 μm und 158,1 bis 158,3 μm .

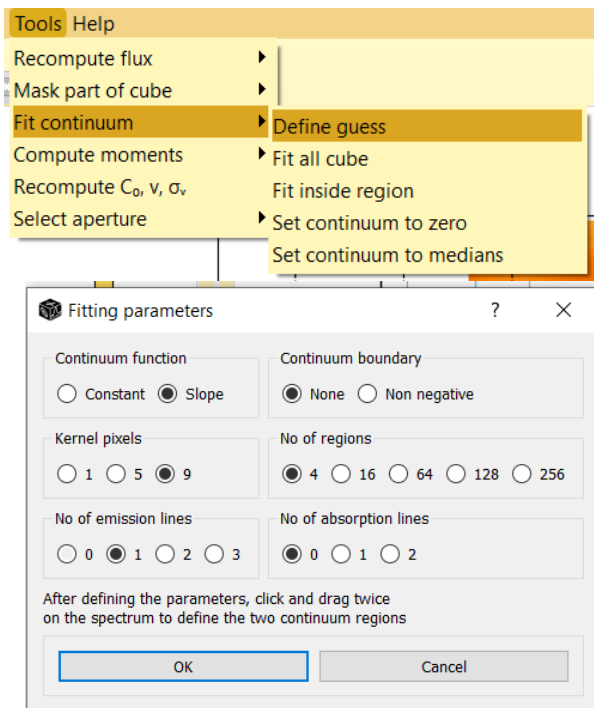


Abbildung XI: Untergrund anpassen: Einstellungen

Anpassungsprozess. Wähle wieder im „Tools“ - Menue „Fit Continuum“, dann aber jetzt „Fit all Cube“, um das Kontinuum im ganzen Datensatz anzupassen. Es erscheint sofort ein neuer Tab „C₀“ über dem linken Feld; er zeigt aber erst ein Bild an, wenn der Anpassungsprozess nach einigen 10 Sekunden abgeschlossen ist. Dieses Bild stellt die Höhe des Untergrundes dar. Auf den ersten Blick ähnelt es dem Bild des Gesamtflusses stark – kein Wunder, meistens treten Staub und Gas an den gleichen Stellen auf.

Im rechten Feld zeigt nun eine weitere blaue Linie den angepassten Untergrund an. Er sollte in den angegebenen Bereichen nahe am eigentlichen Spektrum (dunkelblaue zackige Linie) liegen. Da wir bei den „Fitting parameters“ oben „slope“ ausgewählt haben, verläuft die Linie manchmal auch schräg; bei „constant“ hätten wir immer eine waagrechte Linie erhalten.

Diese muss man nun eingeben. Man wählt im „Tools“ - Menue den Punkt „Fit Continuum“, gibt im nachfolgenden Fenster „Fitting parameters“ ein paar Bedingungen an (linke Seite: „Slope“, „Kernel pixels“ 9 und „No of emission Lines“ 1, die rechte Seite kann unverändert bleiben) und klickt auf „OK“.

Dann zieht man im rechten Feld die Maus nacheinander über die beiden Bereiche (jeweils Anfang des anklicken, Maustaste festhalten und bis zum Ende ziehen); es erscheinen hellblaue Linien mit Kreisen an den Enden, die den gewählten Bereich für den Untergrund zeigen.

Nun ist das Programm bereit für den

Tipp: willst du die Bilder „Flux“ und „C₀“ vergleichen, dann stelle die Farbskalen ähnlich ein und klicke auf den kleinen Smiley ☺ unter dem linken Feld – das ist die „Blink“ - Funktion. Wenn du nun auf den anderen Tab klickst, werden beide abwechselnd angezeigt. Ein weiterer Klick auf das „Blink“ - Symbol beendet das hin und her Schalten.

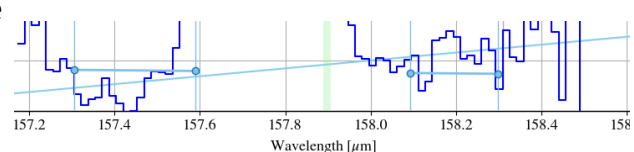


Abbildung XII: Angepasster Untergrund (schräge blaue Linie)

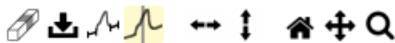
Durch Verschieben des blauen Pixels im linken Feld kannst du dich nun davon überzeugen, dass der Untergrund zumindest in den hellen Bereichen des Bildes akzeptabel angepasst wurde. Achte dabei auch auf die Flux-Achse, die sich automatisch anpasst: bedeutend erscheinende Abweichungen sind in absoluten Zahlen oft recht klein.

3.2 Linie anpassen

Im zweiten und letzten Schritt passen wir nun die Linie an. Ziel ist es, für jedes Pixel einen Zahlenwert für

1. Die Intensität der Linie (als Maß für die Menge der empfangenen Strahlung und damit für die Menge an vorhandenem Gas)
2. die Wellenlänge der Linie (als Maß für die Dopplerverschiebung und damit für die Geschwindigkeit des Gases auf der Sichtlinie)
3. die Breite der Linie (als Maß für Turbulenz oder Gleichförmigkeit der Gasströmung)
4. sowie Asymmetrie und Form (die wir nicht auswerten werden)

zu erhalten. Diese Werte werden dann alle farbcodiert als eigenes Bild angezeigt.



Display a slice of the cube and show a slider

Abbildung XIV: Slicer

Zunächst müssen wir dem Programm wieder mitteilen, in welchem Wellenlängenfenster die Linie zu finden ist. Nach Abb. X auf S. 4 liegt sie etwa zwischen 157,7 und 158,0 μm .

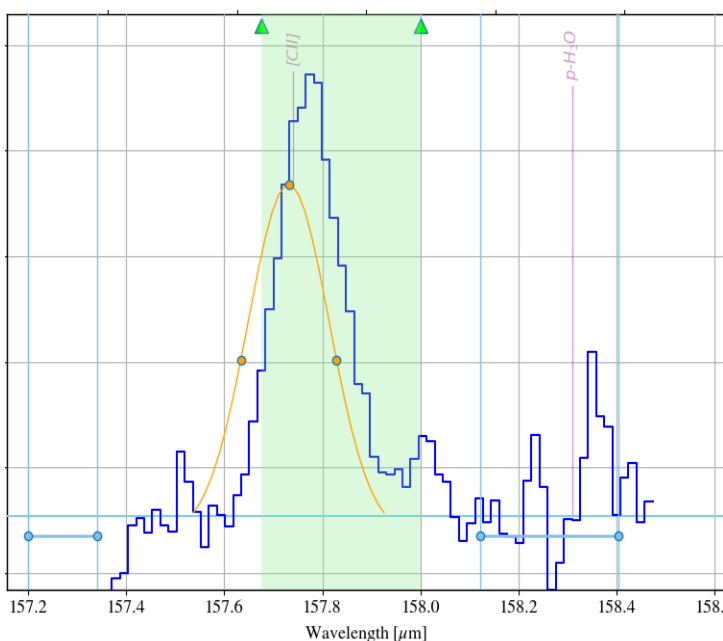


Abbildung XV: Einstellen des Bereichs für die Linie im Spektrum

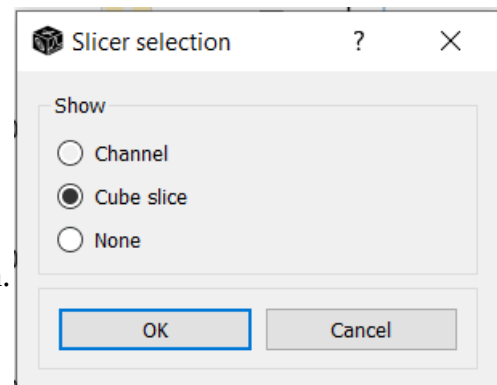
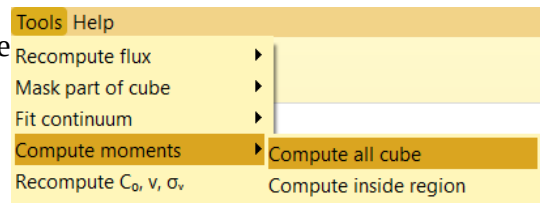


Abbildung XIII: Slicer selection Fenster

Die Eingabe erfolgt wieder grafisch, diesmal im „Slicer“-Menue. Das ist das vierte Symbol unter dem rechten Feld (s. Abb. XIII). Klickt man darauf, öffnet sich das Fenster „Slicer selection“. Dort wählen wir „Cube slice“ aus, denn wir wollen ja eine Schicht des Datenkubus auswählen, in dem sich die Linie befindet.

Beim Klick auf „OK“ erscheint nun im Spektrum ein grün schattierter Bereich, am oberen Rand durch zwei grüne Pfeile begrenzt. Diese Pfeile lassen sich mit der

Maus auf die oben genannten Grenzen verschieben. Damit kennt das Programm jetzt den Bereich für die Linie und wir können die Anpassung starten. Dies geschieht wieder im „Tool“-Menue, im Untermenue „Compute Moments“ und dort mit dem Punkt „Compute all Cube“.

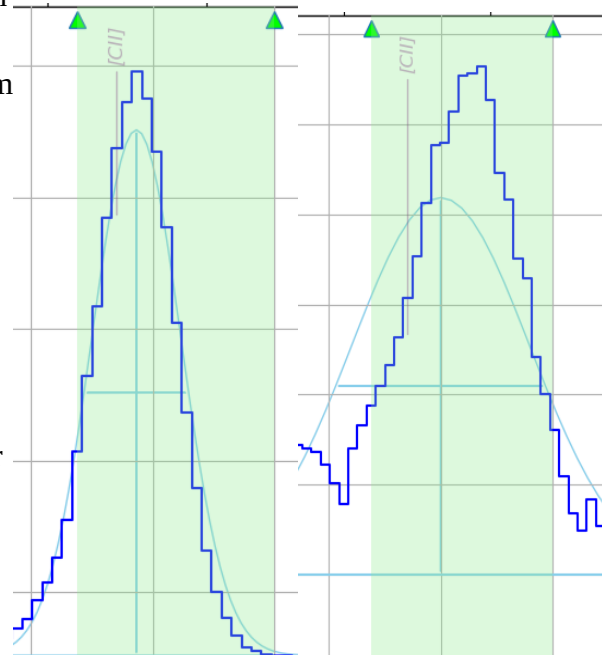


Die Ergebnisse der Anpassung werden wieder im linken Feld als neue, farbcodierte Bilder angezeigt – diesmal sind es sieben.

Abbildung XVI: Starten der Linienanpassung

Sie sind mit M_0 bis M_4 , v und σ_v bezeichnet. Dies sind die ersten fünf „Momente“ der Linien – ein Fachbegriff aus der Statistik – und zwei daraus abgeleitete Größen. M_0 ist schlicht die Linienintensität, also unser Maß für die Menge des Gases auf der Sichtlinie. M_1 spiegelt die Lage der Linie wider, also die Wellenlänge des Maximums, angegeben in μm ; daraus abgeleitet wird der vorletzte Tab, die Geschwindigkeit v des Gases in km/s . Bei M_2 handelt es sich um die Linienbreite auf halber Höhe, daraus abgeleitet wird die Breite der Geschwindigkeitsverteilung σ_v in km/s (letzter Tab). Die verbleibenden beiden Tabs, M_3 und M_4 , spiegeln die Asymmetrie und die Form der Linie wider und sind für uns unbedeutend.

Auch hier lässt sich wieder im rechten Feld (dem Spektrum) kontrollieren, ob die Anpassung funktioniert hat. In Abbildung XVII sieht man im linken Beispiel, dass die hellblaue Modelllinie recht nah an den dunkelblauen Daten liegt. Im rechten dagegen ist weder die Linienposition noch die Breite besonders gut getroffen.



Daran kann man nur wenig ändern. Man kann versuchen, die Wellenlängenbereiche von Untergrund und / oder Linie neu anzupassen. Meist wird die schlechte Anpassung aber mit der Qualität der Daten zusammen hängen, z.B. hohem Rauschen und geringer Intensität in den Randbereichen des Datensatzes.

Dies muss man ggf. bei der Interpretation der Daten berücksichtigen.

Abbildung XVII: Kontrolle der Anpassung: links ok, rechts schlecht.