

# Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

CHRISTIAN NETZEL

31. JULI 2015

## **Vorwort**

Diese kurze Einführung ist für Anfänger gedacht, die sich in das interessante aber auch nicht ganz einfache Gebiet der astronomischen Spektroskopie einarbeiten wollen. Der erste Schritt besteht in der Aufnahme von Spektren. Als zweiter Schritt folgt aber die Umwandlung von einem 2-dimensionalen Spektrum in ein eindimensionales, ein Prozess, der Reduktion genannt wird und zu dem eine geeignete Software benötigt wird. Die Auswahl an entsprechenden Programmen ist reichlich. Obwohl sie teilweise sehr unterschiedlich strukturiert sind, müssen dennoch immer die gleichen Arbeitsschritte geleistet werden. Hat man diese verstanden, fällt das Verständnis der Software sehr viel leichter. Daher ist eine vom jeweils bevorzugten Programm unabhängige Beschreibung meiner Ansicht nach sinnvoll.

Die entsprechende Software kann in zwei Gruppen unterteilt werden:

1. Programme für Amateure, z. B. Iris, Vspec, RSpec, BASS
2. Programmpakete für Berufsastronomen, z. B. Iraf und MIDAS

Fast alle Programme bis auf RSpec können kostenlos heruntergeladen werden. Die Amateurprogramme laufen unter Windows, die professionellen unter Linux.

Obwohl letztere erheblich umfangreicher sind und ein Vielfaches an Möglichkeiten bieten, ist ihre Beherrschung nicht unbedingt schwerer zu erlernen. Es gibt z. B. für Iraf sehr viele Einführungen. Auf Deutsch gibt es eine Einführung der Universität Bonn. Etwas ausführlicher ist meine hier im Forum herunterladbare Einführung „Workflow“, die auch Verweise auf englischsprachige Literatur enthält:

<http://spektroskopieforum.vdsastro.de/viewtopic.php?f=4&t=4051&sid=6b927c52dfcb35e0f9dfe1c4d6ccb5e8&p=27002#p27002>

Für Iraf gibt es umfangreiche Unterstützung im Internet. Für MIDAS ist dort außer zwei Einführungen von Günter Gebhard kaum noch etwas zu finden. Dafür gibt es hier im Forum eine Reihe von Experten, die bei Bedarf weiterhelfen können. Für Iraf stehe ich auch für Hilfe gerne zur Verfügung.

In jedem Fall hoffe ich, hiermit allen Spektroskopiebegeisterten die ersten Schritte etwas erleichtert zu haben.

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

### Reduktion

Im Folgenden sollen die für eine Reduktion zweidimensionaler Spektren unbedingt erforderlichen Arbeitsschritte kurz beschrieben werden. Dies wird am Beispiel eines Spektrums von alpha Cygni, auch als Deneb bekannt, kurz erläutert. Ich habe absichtlich ein Spektrum gewählt, das nur mittelmäßige Qualität aufweist. Dies dürfte bei den ersten Versuchen eines Anfängers wohl eher die Regel sein. Die Bearbeitung erfolgt hier in Iraf, was aber nicht entscheidend ist. Die Bearbeitungsschritte sind unabhängig von der verwendeten Software. Das 2 dimensionale Objektspektrum, auch Rohspektrum genannt, sieht wie folgt aus:

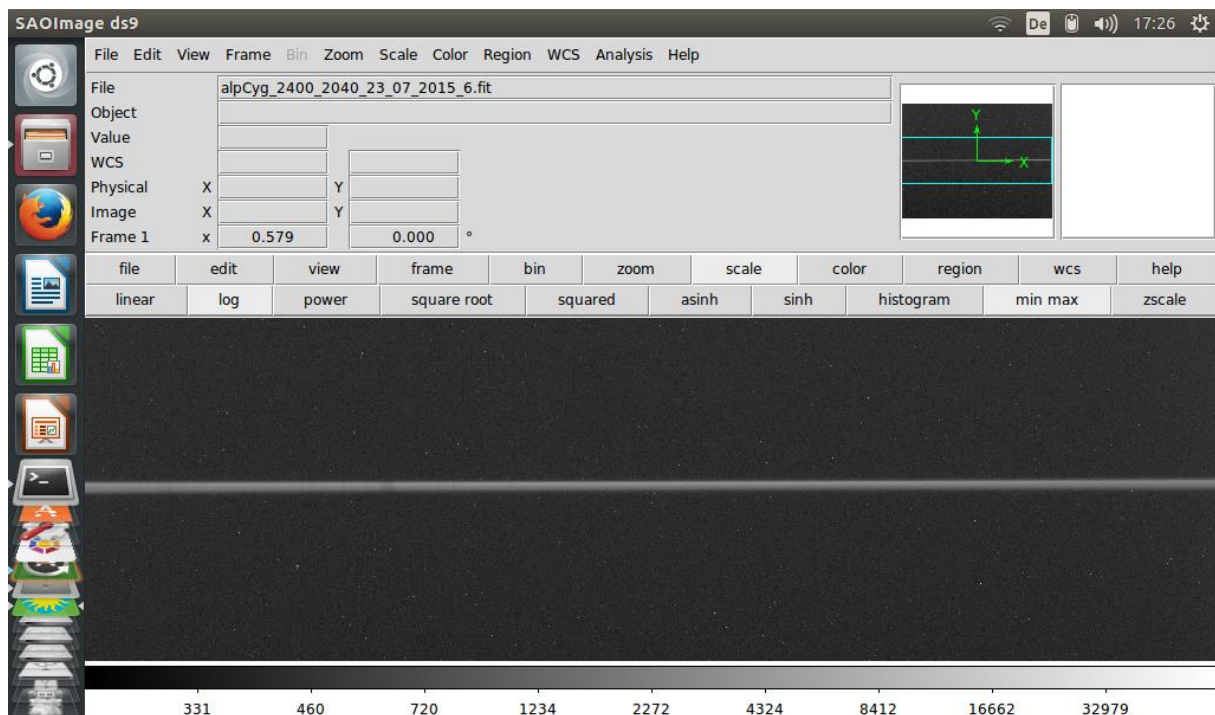


Abb.1

Dieses Spektrum wurde bei leichter Bewölkung mit einem Lhires III aufgenommen.

Teleskop: 11" Schmidt-Cassegrain

Gitter: 2400 Linien/mm

Spalt: 23  $\mu$

Belichtungszeit 180 s

Kamera: Atik 383L+, 2x2Binning

Das fertige Bild setzt sich wie folgt zusammen:

Durch Himmelslicht (Photonen) erzeugtes Signal + Dunkelstrom + Ausleserauschen

Dunkelstrom und Ausleserauschen sind kamerabedingt.

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Das eigentliche Spektrum wird noch von einem jeder Lichtquelle inwohnendem Rauschen gestört, das durch möglichst lange Belichtungszeit oder eine größere Anzahl von Aufnahmen reduziert werden kann.

Der querliegende helle Streifen stellt das eigentliche Spektrum dar. Darüber und darunter sollte außer dem normalen Himmelslicht möglichst wenig Streulicht sein. Das Spektrum wird aber ebenfalls durch Himmels- und Streulicht überlagert.

Diese unerwünschten Einflüsse können aber zumindest teilweise behoben werden.

Der erste Schritt besteht in der Eliminierung von Dunkelstrom und Ausleserauschen. Dazu erstellen wir zusammen mit den Roh- und Kalibrationsspektren ein sogenanntes Dark. Dies wird am besten genauso lang belichtet wie das Rohspektrum, also hier 180 s. Die Aufnahmebedingungen, also vor allem die Temperatur sollte möglichst genau den übrigen Aufnahmebedingungen entsprechen. Falls möglich sollte der Verschluss der Kamera dabei nicht geöffnet werden. Das sieht dann wie folgt aus:

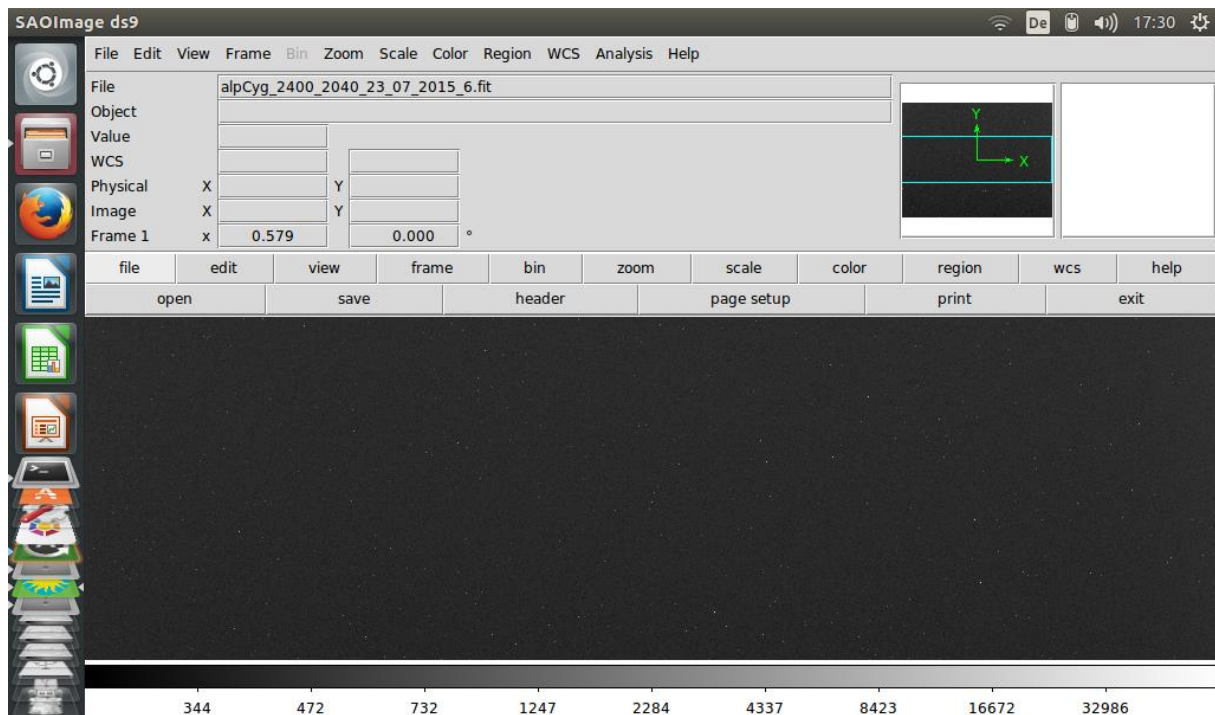


Abb. 2

Dieses Dark ist allerdings als Mittel von drei Einzeldarks entstanden. Es wird vom Rohspektrum „subtrahiert“, in dem Pixel für Pixel die Belichtungswerte des Darks vom Rohspektrum subtrahiert werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, daß keine negativen Werte erzeugt werden. Das Ergebnis sieht dann so aus:

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

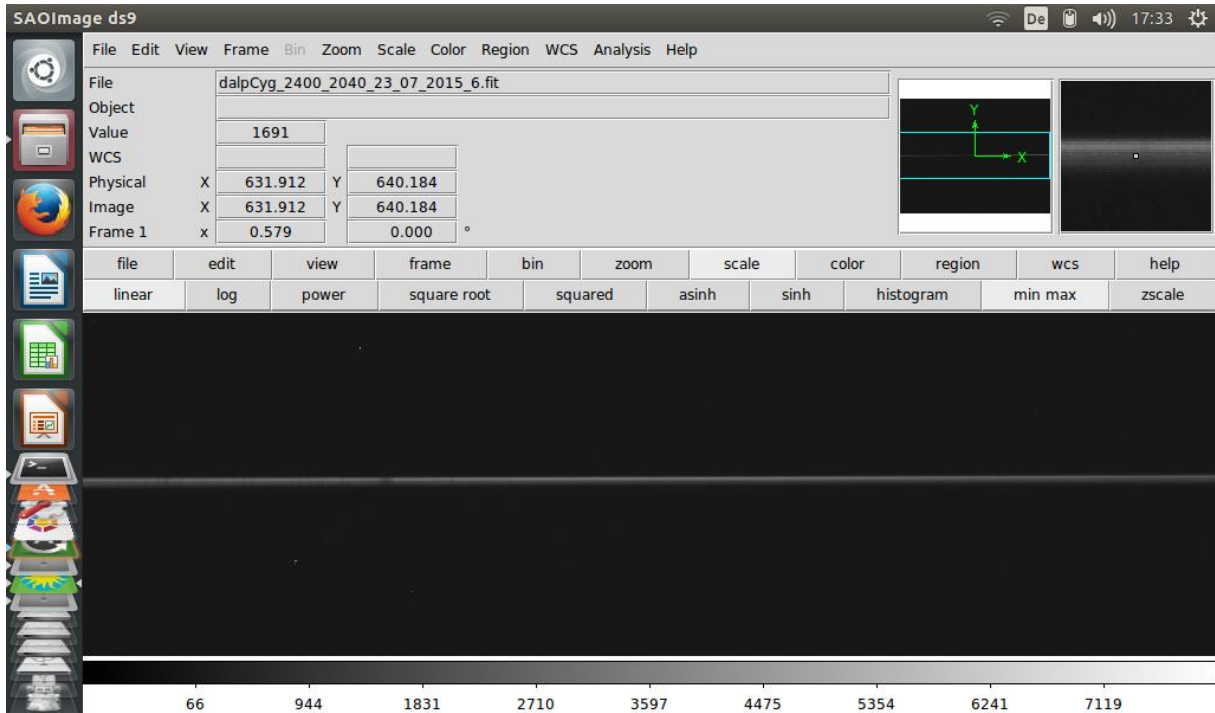


Abb. 3

Wir können uns mit DS9 den Verlauf längs des Spektrums vorab zeigen lassen:

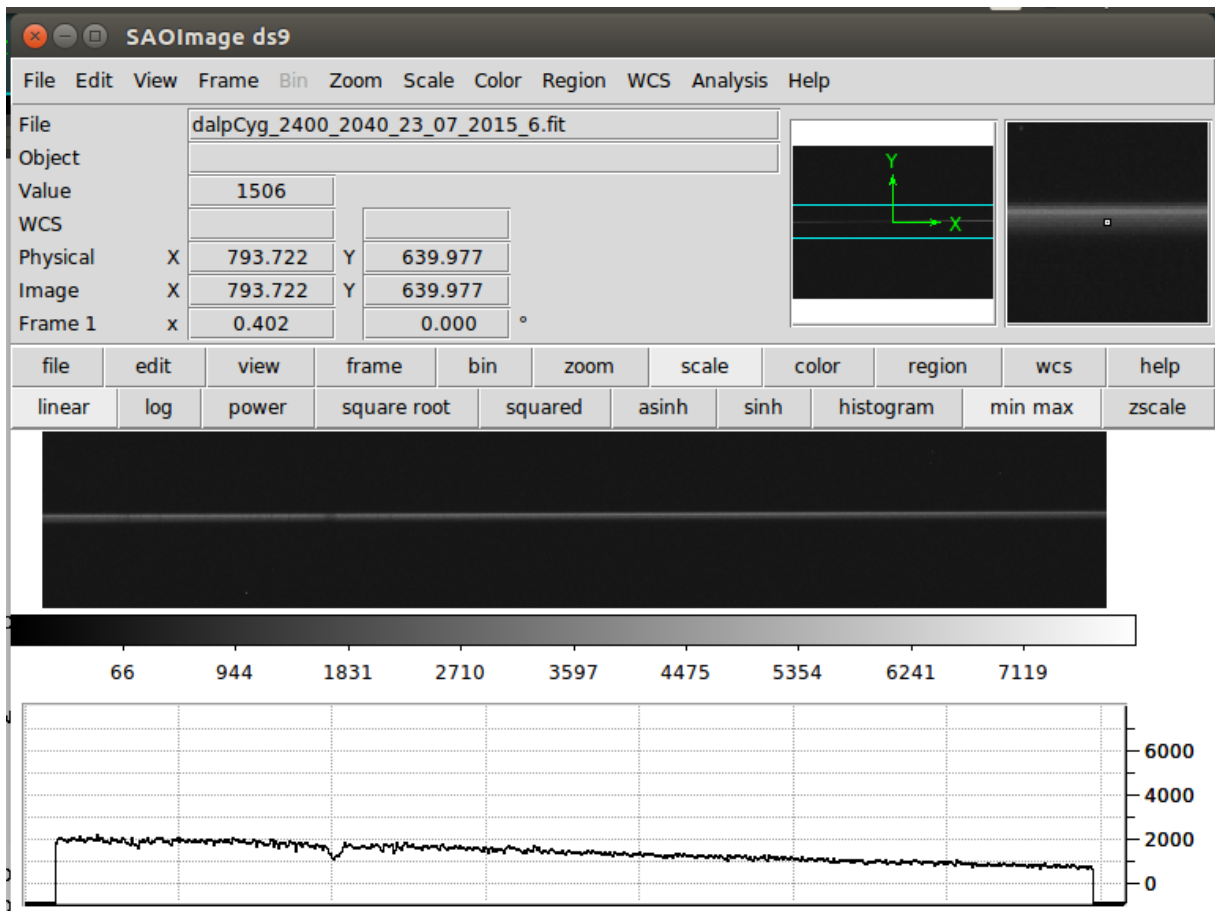


Abb.4

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Der nächste Schritt besteht darin, daß wir den schmalen Streifen des Spektrums extrahieren und in ein 1-dimensionales Bild, also eine Kurve umwandeln. Häufig verläuft der Streifen nicht ganz parallel zu den Bildrändern. In diesen Fällen muß eine Korrektur durch eine leichte Drehung erfolgen. In Iraf ist dies nicht erforderlich, bzw. es erfolgt, wie wir gleich sehen werden, automatisch. In Iraf erfolgt dieser Schritt mittels der Funktion `apall`. Wir erhalten dann folgendes Bild:

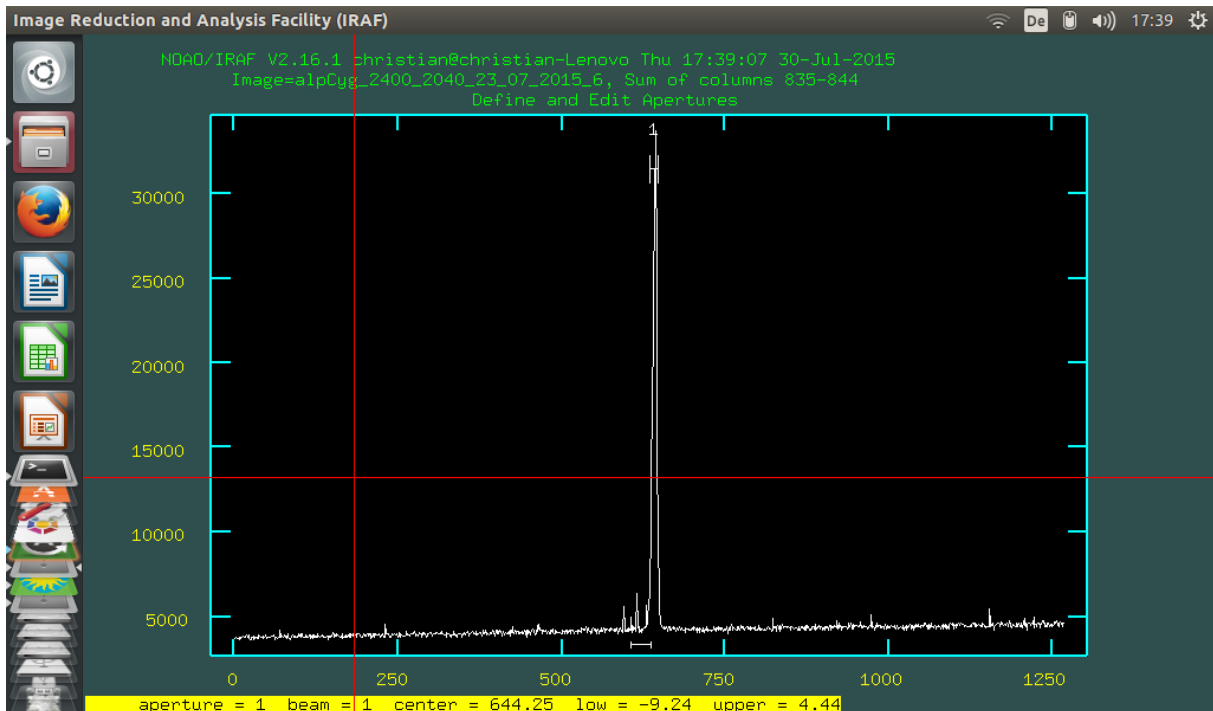


Abb. 5

Die Kurve stellt den Helligkeitsverlauf entlang einer Spalte (y-Koordinate) in der Mitte des Rohspektrums dar. Das Spektrum (x-Richtung) verläuft horizontal. Wir sehen also einen Querschnitt von dem Streifen. Das „H“ am oberen Ende kennzeichnet den Bereich, der vom Programm zur Auswertung vorgeschlagen wird. Es wird natürlich nur der hellste Teil des Spektrums genutzt, da er das wenigste Rauschen aufweist. Wir können das ganze auch etwas vergrößern:

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

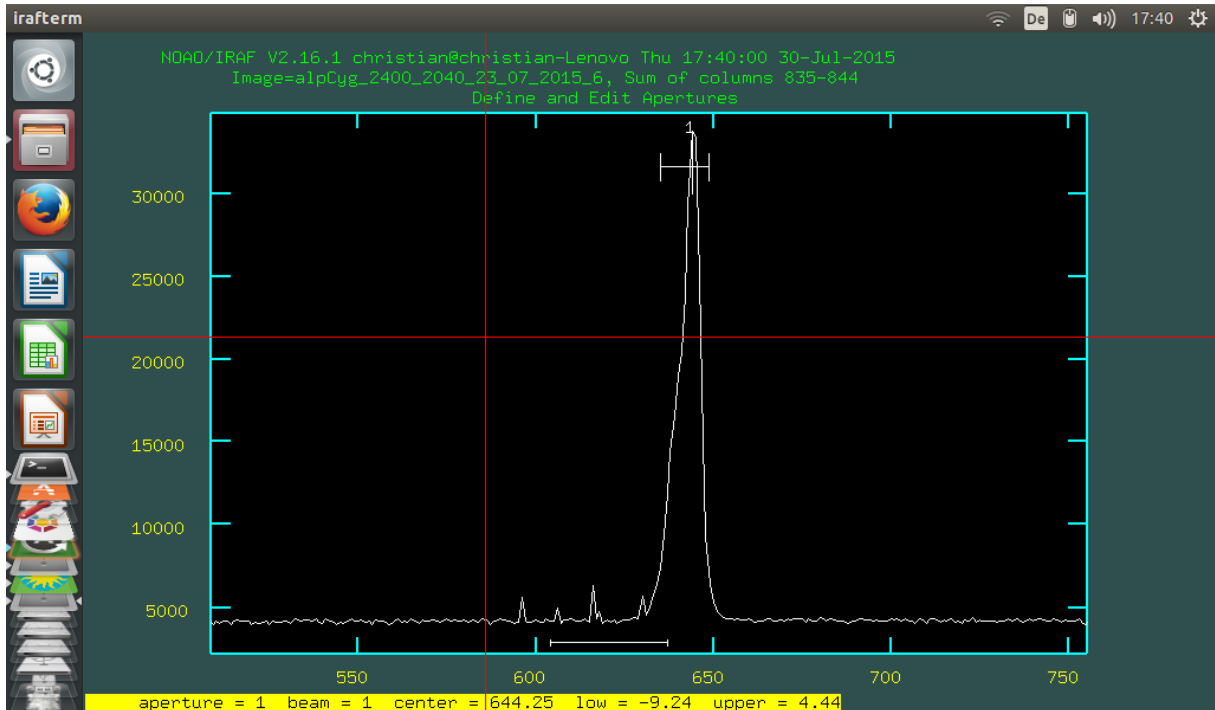


Abb. 6

Der Teil links vom Maximum ist nach meinem Geschmack etwas groß geraten und kann etwas reduziert werden.

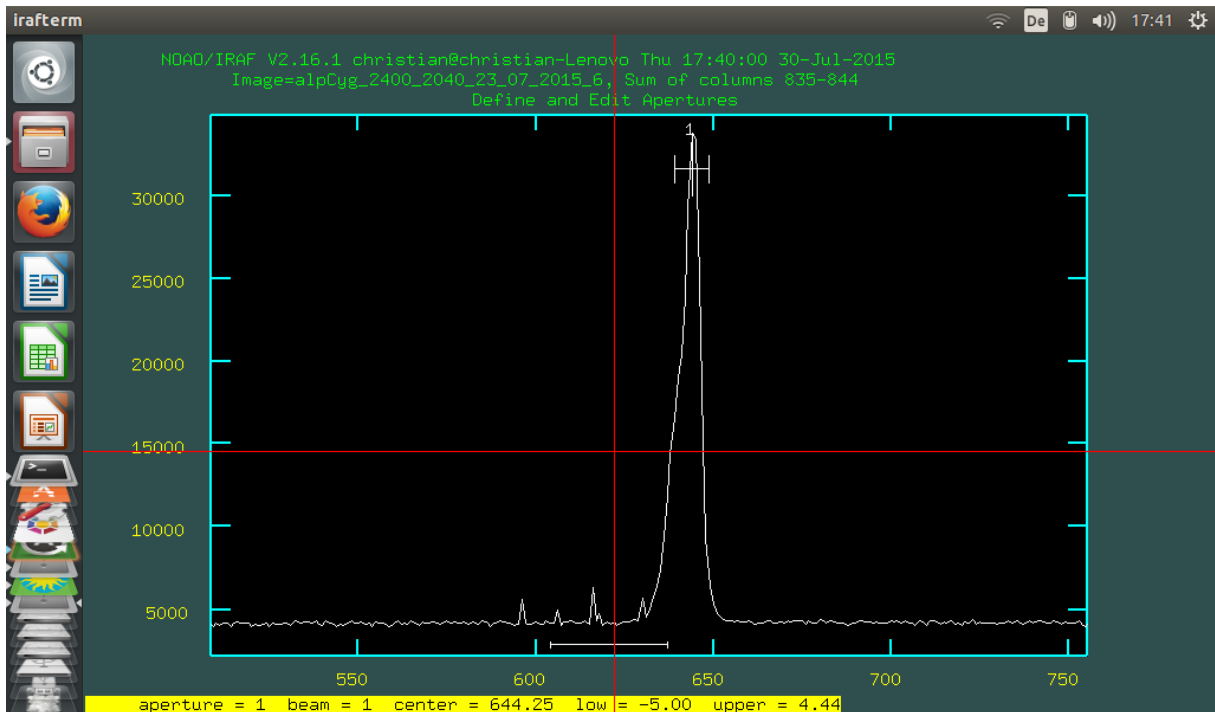


Abb. 7

Wir werden später bei der Kalibration sehen, daß es nicht sinnvoll ist, diesen Bereich allzu groß zu wählen. Es bleibt noch die Himmelselligkeit und das Streulicht zu eliminieren. Dazu

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

verwenden wir Teile unter- und oberhalb des Rohspektrums, also hier rechts bzw. links des Streifens. Zur Bearbeitung öffnen wir ein spezielles Fenster:

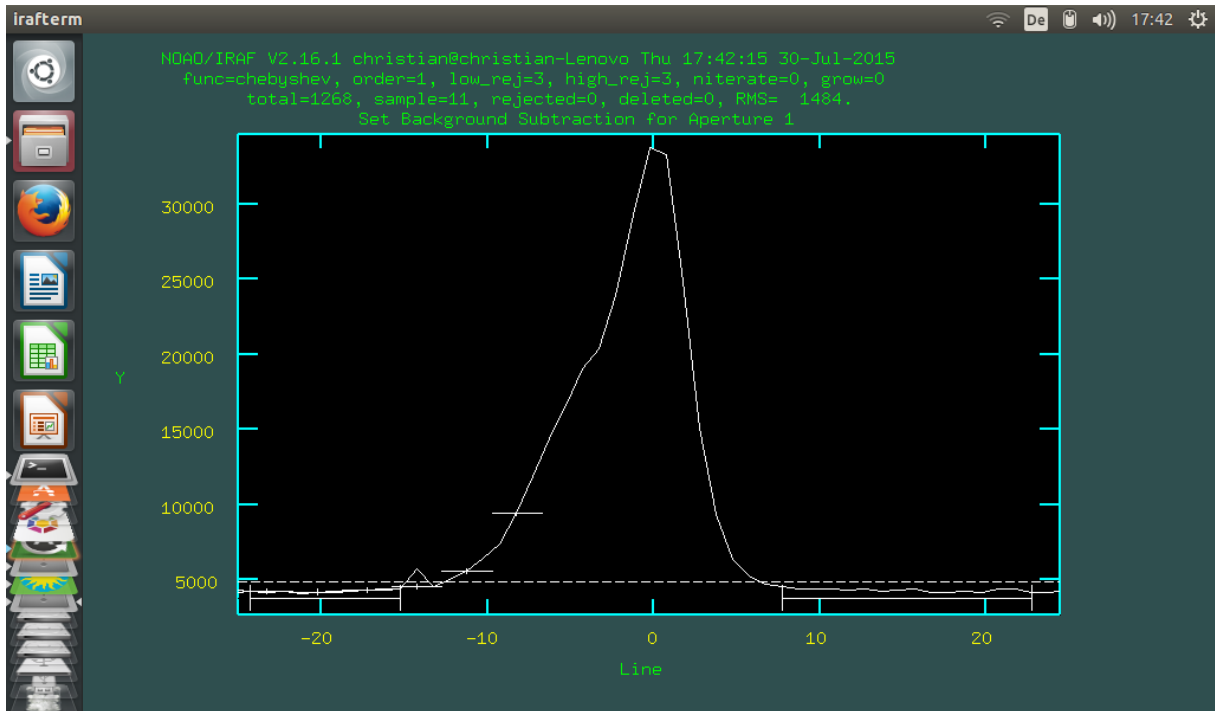


Abb. 8

Die durch die beiden von uns festgelegten Intervalle rechts und links unten legen die Bereiche des Rohspektrums fest, die zur Bestimmung der Himmelhelligkeit dienen. Den Abzug der Himmelhelligkeit erledigt unser Programm. Dies wird durch fast jede angebotene Software erledigt.

Als nächstes lassen wir uns den Verlauf des ausgewählten Spektrums anzeigen:

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

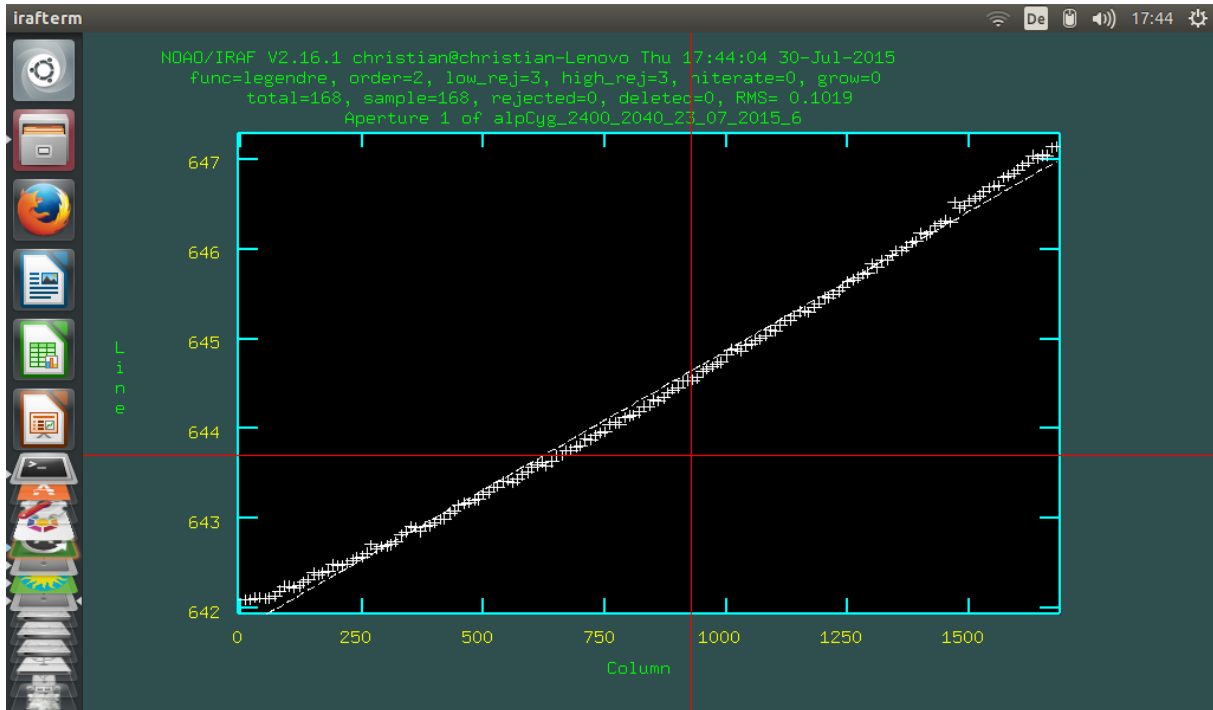


Abb. 9

Bei näherer Betrachtung (bitte y-Pixelwerte beachten!) stellen wir fest, daß das Spektrum erstens nicht ganz parallel zum Bildrand verläuft und zweitens etwas gekrümmt ist. Die hier verwendete Software legt automatisch einen linearen Fit durch den ausgewählten Teil des Spektrums. Da die Abweichung nur Bruchteile eines Pixels beträgt, können wir uns damit zufrieden geben. Perfektionisten können statt des linearen Fits einen Fit dritten Grades wählen:

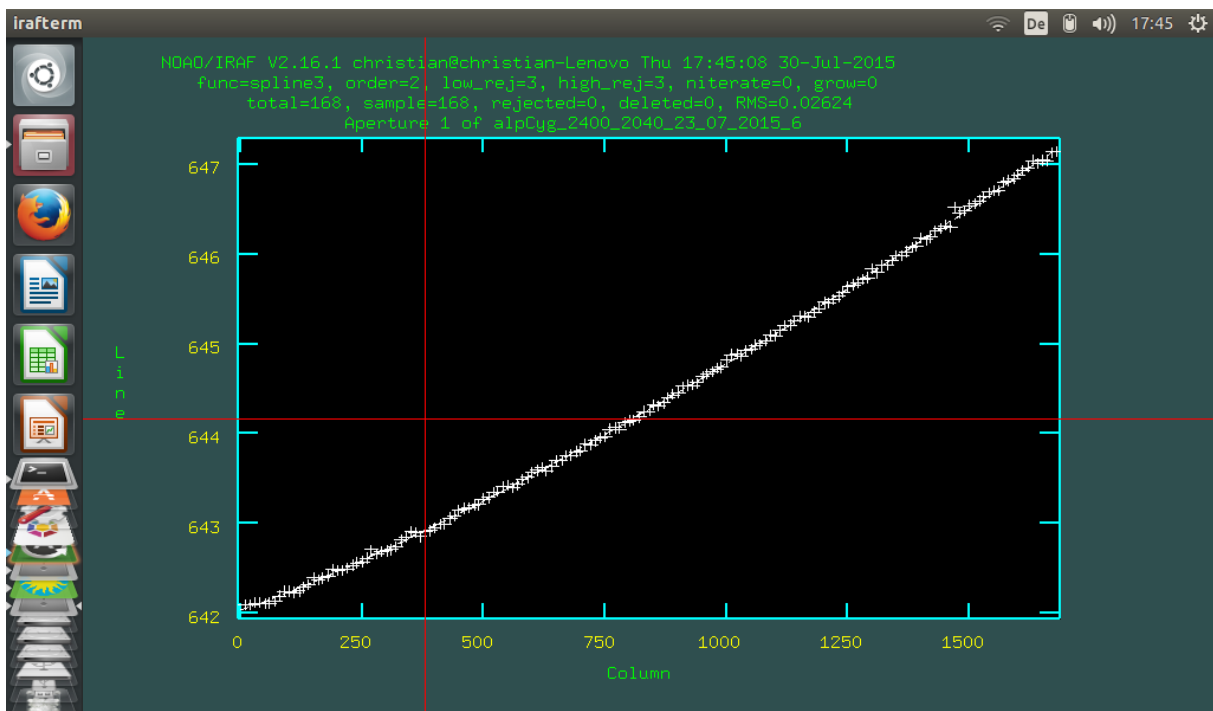


Abb. 10

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Der Fit läßt sich kaum noch erkennen, da er mitten im hellsten Teil des Spektrums liegt. Bei anderen Reduktionsprogrammen muß hier erst die schon erwähnte Rotation vorgeschaltet werden um eine horizontale Lage zu erzielen. Wir sind mit dem Ergebnis hochzufrieden und bestätigen die Selektion:

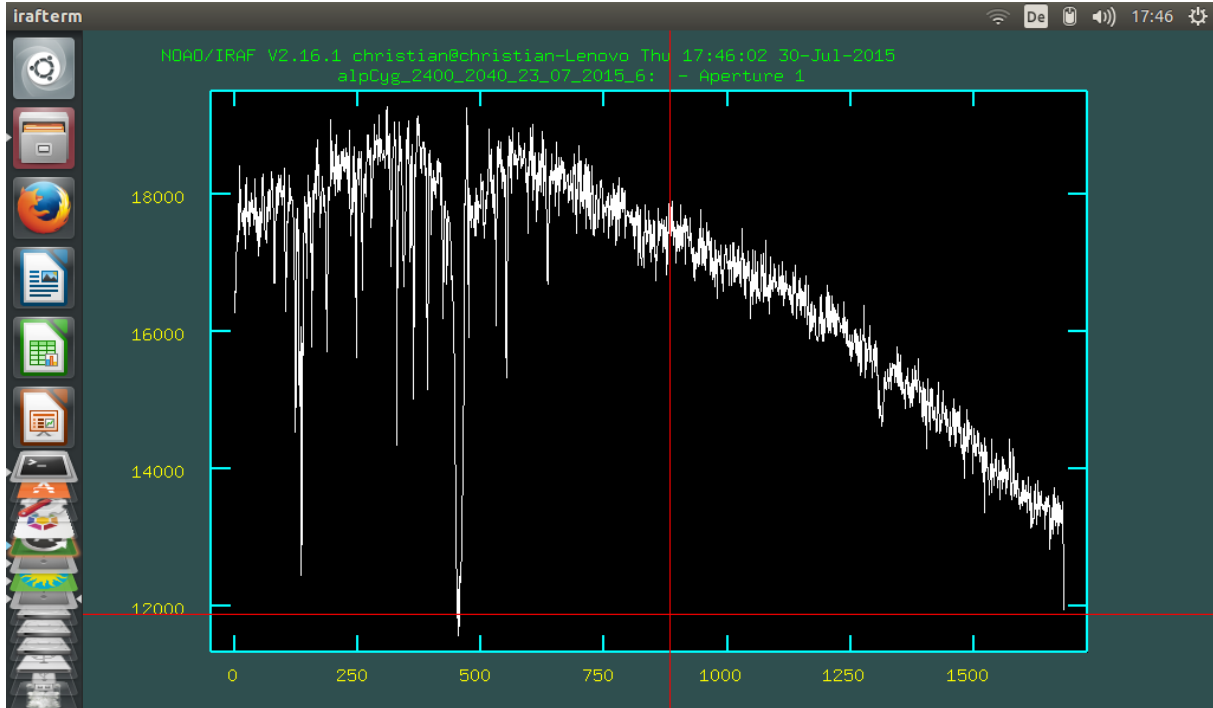


Abb. 11

Damit haben wir unser unkalibriertes 1-dimensionales Spektrum erzeugt. Leider müssen wir feststellen, daß das Spektrum sehr verrauscht ist, also ein niedriges Signal / Noise Verhältnis (S/N) aufweist. Bei Pixel 450 sehen wir eine starke Absorptionslinie. Die noch ausstehende Kalibration wird zeigen, daß es sich um die H $\alpha$ -Linie handelt.

### Kalibration

Unser bisheriges Ergebnis war eine Graphik, bei der die Intensität über der Pixelachse aufgetragen war. Wir streben natürlich an, daß die Pixelachse durch die Wellenlängen ersetzt wird. Dazu verwenden wir eine Lichtquelle, bei der die Wellenlängen der Emissionslinien bekannt sind (Ne, ThAr, FeAr oder ähnliches). Wir erzeugen ein gesondertes Spektrum ohne Himmelsobjekt. Legen wir beide Spektren übereinander, haben wir unser Ziel erreicht.

Das Kalibrationsspektrum sollte möglichst sofort nach oder vor dem Objektspektrum aufgenommen werden. Werden eine größere Anzahl von Objektspektren erstellt, empfiehlt es sich unter Umständen auch zwischendurch Kalibrationsspektren aufzunehmen. Durch Temperaturänderung und durch die Nachführung kann sich der Spektrograph geringfügig verformen, so daß nach längerer Zeit die Übereinstimmung von Objekt- und Kalibrationsspektrum nicht mehr gewährleistet ist.

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Schauen wir uns das Kalibrationsspektrum kurz an:

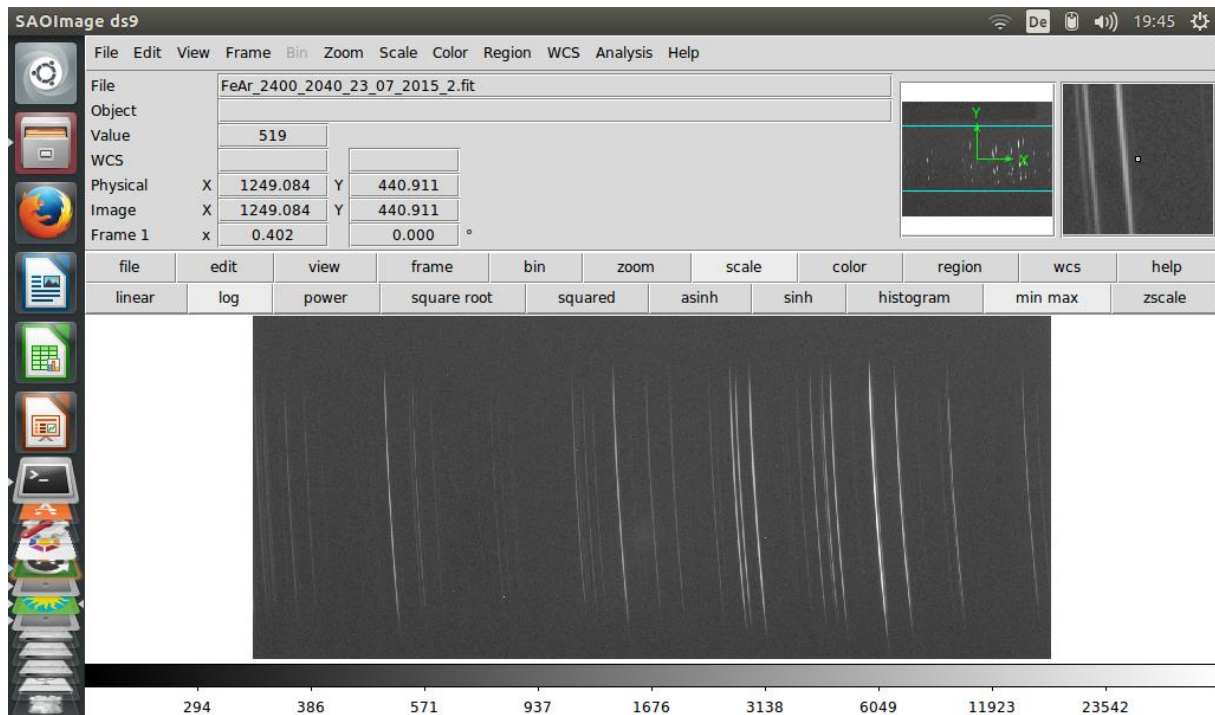


Abb. 12

Wir sehen, daß die Linien keineswegs senkrecht verlaufen und dazu noch leicht gekrümmt sind. Wir müssen daher den Teil auswerten, der dem schmalen Streifen des reduzierten Objektspektrums entspricht. Deshalb muß es im Falle einer Rotation des Objektspektrums der gleichen Rotation unterworfen werden. Damit auch die Linien des Kalibrationsspektrums möglichst scharf sind, sollte wie bereits oben erwähnt, der Streifen nicht zu breit gewählt werden. Wählen wir ihn zu schmal, müssen wir mit einem erhöhten Rauschen rechnen. Unser Programm muß gewährleisten, daß die selektierten Bereiche deckungsgleich sind.

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

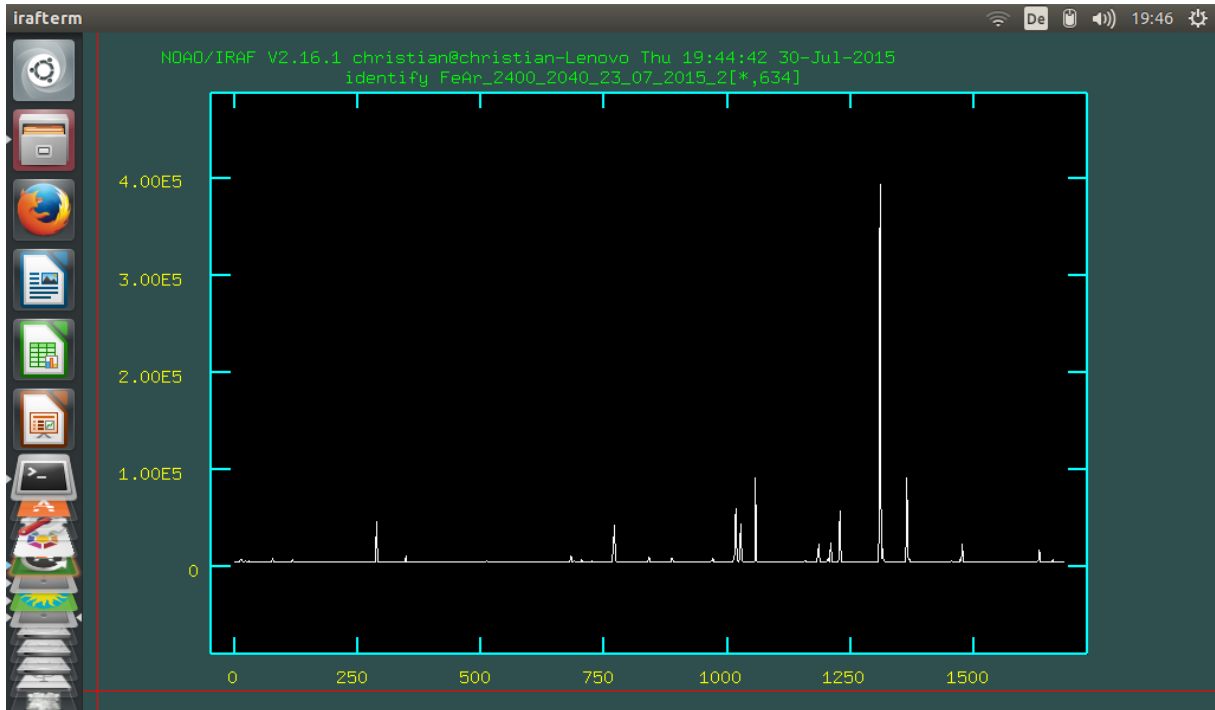


Abb. 13

Wir sehen deutlich die Linien des Kalibrationspektrums. Allerdings sind einige so schwach, daß sie besser nicht zur Kalibration herangezogen werden sollten. Wir klicken zwei oder drei Linien an und geben deren Wellenlängen ein:

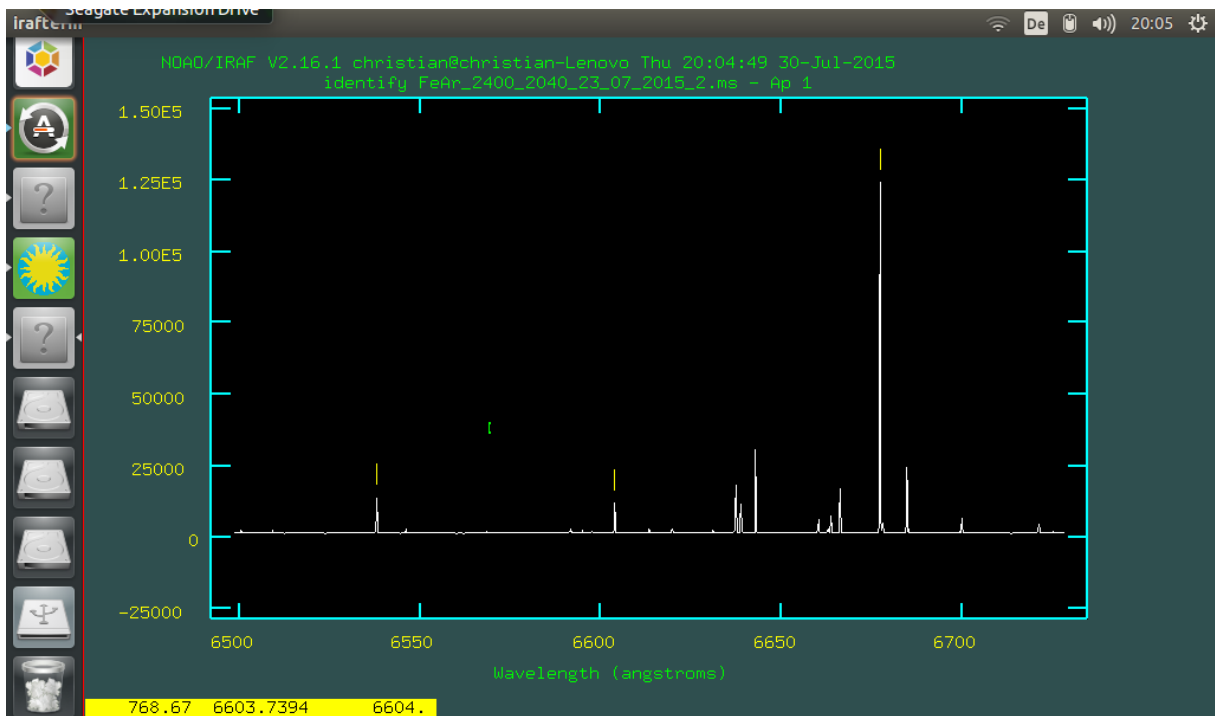


Abb. 14

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Meist muß man nur die ungefähre Wellenlänge eingeben. Das Programm sucht dann in einer Tabelle den genauen Wert heraus. Außerdem ist es in der Lage, die Wellenlänge der übrigen Linien zu bestimmen:

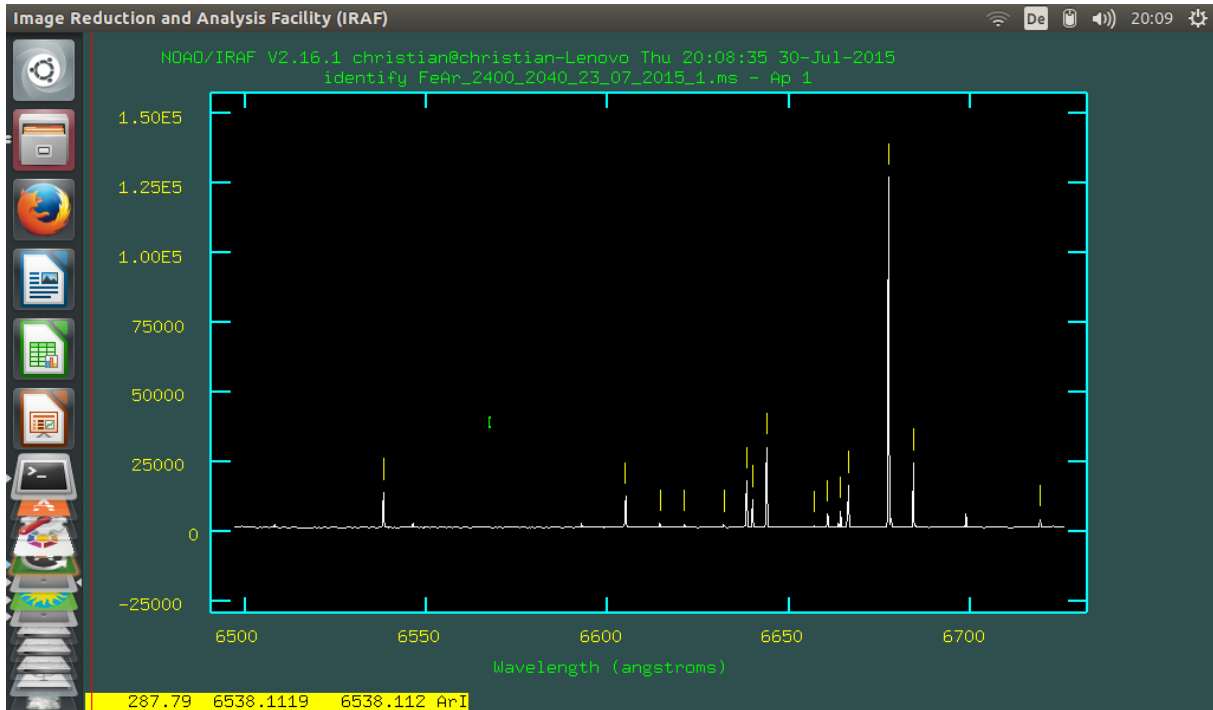


Abb. 15

Wir veranlassen unser Programm einen Fit mittels eines Polynoms oder Splines durch die ermittelten Wellenlängen zu legen. Wir kontrollieren noch die Güte unseres Fits:

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

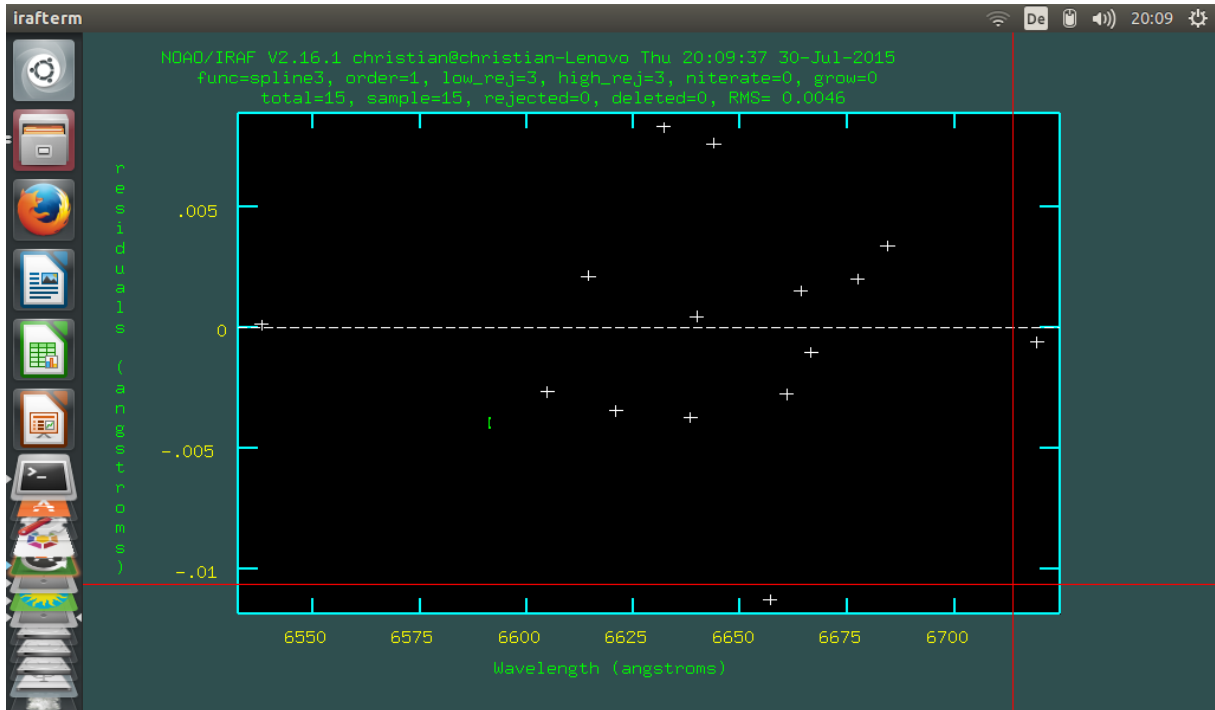


Abb16.

Mit dem Ergebnis können wir sehr zufrieden sein.

Die Wellenlängen werden auf das Objektspektrum übertragen, so daß wir (fast) am Ende sind:

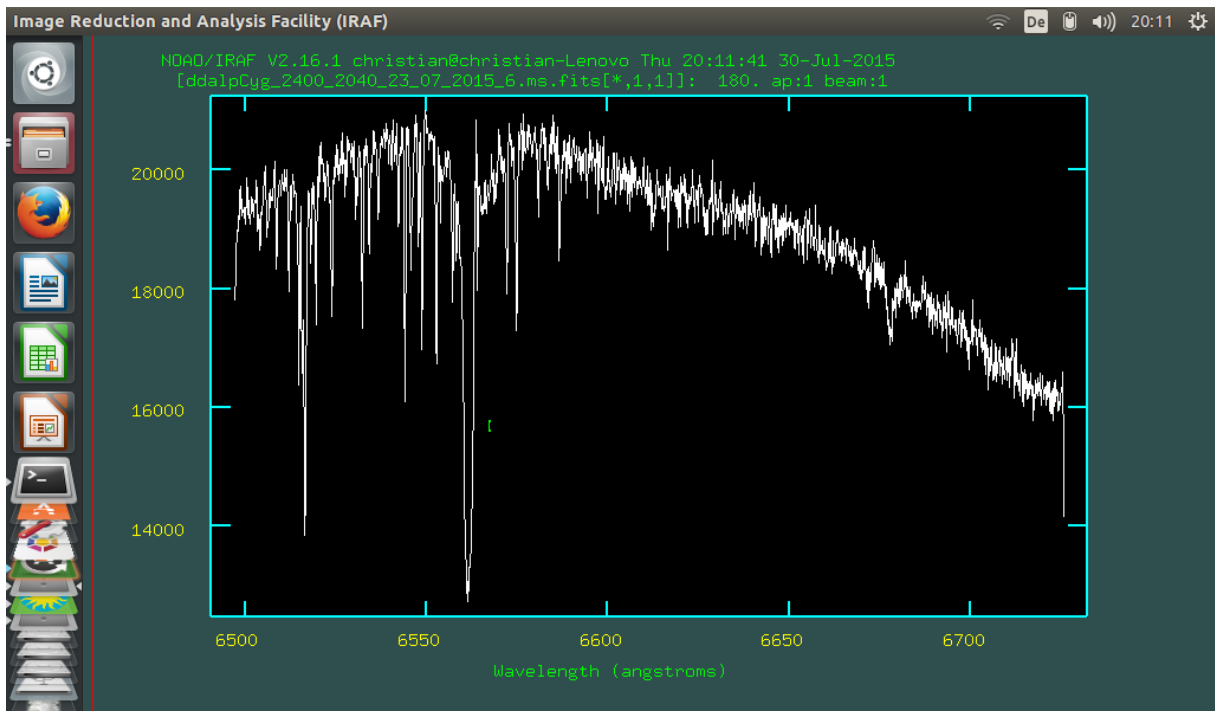


Abb. 17

Schauen wir uns einen Ausschnitt an:

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

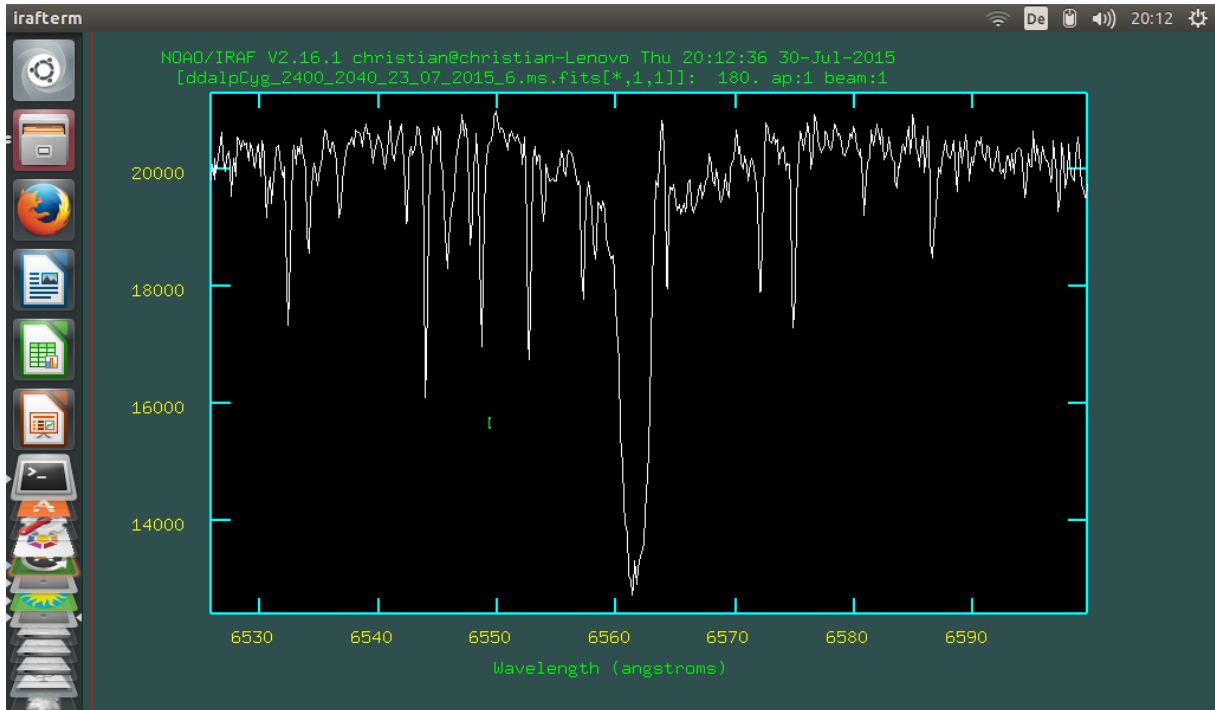


Abb. 18

Wenn wir berücksichtigen, daß die Intensitätsskala nicht bei null beginnt, sehen wir, daß das S/N nicht ganz so schlimm ist, wie wir zunächst befürchtet haben.

Häufig ist es wünschenswert, das Kontinuum, das sind die Bereiche zwischen zwei Linien, auf den Wert 1 zu normieren. Dazu müssen wir einen Fit durch die entsprechenden Teile des Spektrums legen und das Spektrum durch diese Kurve pixelweise dividieren:

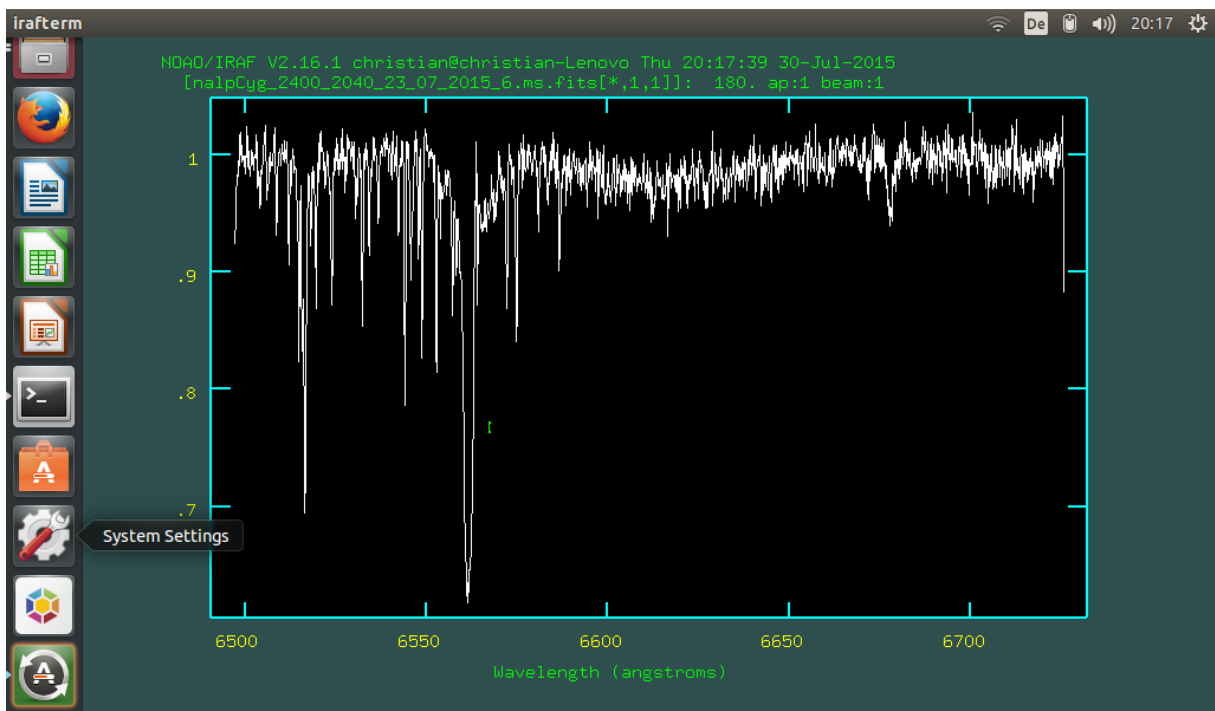


Abb. 19

## Was geschieht bei der Reduktion von Spektren?

Unser Spektrum enthält gerade in der Nähe von  $H\alpha$  einige Absorptionslinien, die mit dem beobachteten Objekt nichts zu tun haben. Sie entstehen erst, wenn das Licht die Erdatmosphäre durchquert. Diese tellurischen Linien sind im visuellen Bereich hauptsächlich auf Wasserdampf und molekularen Sauerstoff zurückzuführen. Man kann auch diesen Einfluß eliminieren, was aber häufig nur sehr unvollkommen gelingt. Je kleiner der ausgewählte Spektralbereich ist, umso besser sind die Chancen. Diese Linien haben aber auch ihre positiven Seiten, da man sie auch zur Kalibration heranziehen kann.

Die Himmelsobjekte bewegen sich in der Regel relativ zum Beobachter. Die Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Sehstrahls, kurz  $v_r$  genannt, bedeutet wegen des Dopplereffekts eine Verschiebung der Wellenlängen. Bewegen sie sich von uns weg, werden die Wellenlängen länger, es erfolgt eine so genannte Rotverschiebung. Bei einer Bewegung auf uns zu tritt eine Verminderung der Wellenlänge ein, was als Blauverschiebung bezeichnet wird. Um Messungen zu unterschiedlichen Zeiten vergleichbar zu machen, ist es üblich,  $v_r$  auf die Relativgeschwindigkeit des Objekts relativ zur Sonne zu reduzieren um den Einfluß von Erdrotation und der Bewegung der Erde relativ zur Sonne zu beseitigen. Man spricht von einer heliozentrischen Korrektur. Gelegentlich wird eine Reduzierung auf den Schwerpunkt unseres Planetensystems bevorzugt. Dann handelt es sich um eine Gravizentrische Reduktion. Helio- und gravizentrische Korrektur weichen so wenig voneinander ab, daß wir diese Differenz getrost vernachlässigen können. Unser Messfehler beträgt ein Vielfaches davon.