



---

# SPECINTI\_TOOLBOX

---

Autoren: Valerie Desnoux und Christian Buil



24. OKTOBER 2025

MATTHIAS KIEHL

Was ist die Idee von SpecInti? .....	1
Vorgeschichte.....	1
SpecInti.....	2
Einleitung .....	2
2. Über Dateinamen .....	3
3. Master-Bilder .....	5
4. Verwendung von Master-Bildern.....	8
5. Überlegungen zur Wellenlängenkalibrierung von Spektren.....	9
6. Extrahieren des rohen Spektralprofils, des Spektrums der Stufe 0 .....	12
7. Identifizierung und Messung von Spektrallinien .....	17
8. Berechnung des spektralen Kalibrierungs-Polynoms.....	20
9. Verbesserung der Spektralkalibrierung und Beschleunigung des Verfahrens .....	22
10. Das Spektrum der Stufe 1 .....	25
11. Vorbereitung der Daten für die Bewertung der spektralen Empfindlichkeit .....	28
12. Die Flat-Field-Verschiebung .....	33
13. Berechnung der instrumentellen Reaktion.....	35
14. Das Spektrum der Stufe 2 .....	38
16. Lateraler Kalibrierungsmodus .....	49
17. Verarbeitung des Spektrums eines ausgedehnten Objekts.....	55
18. Verarbeitung eines hochauflösenden Spektrums.....	61
19. Spektroskopie von Objekten mit sehr geringer Intensität.....	71
20. Nutzung der Spektrenbibliothek von Melchior.....	73
20.1 Einleitung.....	73
20.2 Extrahieren eines Melchior-Spektrums .....	74
20.3 Berechnung des 10-Lacertae-Spektrums ohne instrumentelle Korrektur .....	77
20.4 Berechnung der instrumentellen Empfindlichkeit .....	84
20.5 Berechnung des Spektrums von 10 Lacertae mit instrumenteller Korrektur.....	86

## Was ist die Idee von SpecInti?

Wichtig ist zu verstehen was die Idee von SpecInti ist.

### Vorgeschichte

Früher hat man für jedes Spektrum auch noch ein Spektrum eines Referenzstern aufgenommen, dessen Spektrum bekannt ist. Grundlage z.B. der Miles Katalog meist Spektraltyp B und A. Mit einem Onlinetool konnte ein Referenzstern suchen der in der Nähe vom Objekt ist der „Reference Star Finder“.

## SpecInti

Bei SpecInti wird für die Nacht nur ein Referenzspektrum für alle Objekte der Nacht aufgenommen und die Extinktion berechnet. Grundlage ist der Melchior Katalog.

Es wird versucht die Auswertung zu automatisieren, mit Hilfe von „Autofill“. Daraus ergeben sich Namenskonventionen. Spektren einer Serie immer mit „-“, Bindestrich alpLyr-1, -2 ... .fits.

Das zum Spektrum gehörende Kalibrierungsspektrum heißt alp\_lyr\_neon-1,-2,-3.

Statt alplyr kann man auch trennen mit dem Unterstrich „\_“ als alp\_lyr-1,-2...fits

Die Dateinamenendung muss „.fits“ und nicht „.fit“ sein!!

## 1. Einleitung

Dieses Dokument behandelt die Verwendung der Software specINTI in häufigen und weniger häufigen Situationen (das zu beurteilen bleibt Ihnen überlassen!). Es deckt die Bereiche hoher und niedriger spektraler Auflösung ab. Es bezieht sich auf die Version 2.5 und höher von specINTI.

Dies ist kein eigentliches Benutzerhandbuch. Dazu besuchen Sie bitte die Website des Programms:

Es handelt sich um eine „Toolbox“ mit konkreten Beispielen und zahlreichen Tipps und Tricks zur Verwendung. Es ist wie eine „Pipeline“ für die Vorverarbeitung Ihrer Spektren aufgebaut. Das bedeutet, dass Sie, wenn Sie die verschiedenen Abschnitte Schritt für Schritt befolgen, mit Ihren eigenen Daten ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen sollten. Wenn Sie sich die Mühe machen, den Inhalt dieser „Toolbox“ sorgfältig zu lesen (und dabei nicht zögern, die allgemeine Dokumentation, insbesondere das Referenzhandbuch, zu Rate zu ziehen), sollten Sie zu einem specINTI-Experten werden.

Die Software specINTI unterscheidet sich von anderen aktuellen astronomischen Verarbeitungsanwendungen dadurch, dass sie über eine fast einzigartige Textdatei mit der Anwendung interagiert. Daher sind wir weit entfernt von den üblichen glänzenden grafischen Oberflächen (aber es gibt eine Oberfläche, die Ihnen beim Schreiben dieses Textes helfen kann, nämlich den specINTI-Editor).

Die Bedienung von specINTI ähnelt also ein wenig dem Tippen auf einer Schreibmaschine, mit dem Vorteil einer großen Freiheit, dem geschriebenen Text mit anderen teilen zu können, ihn validieren zu lassen und natürlich, wenn Sie damit zufrieden sind, auch noch Jahre später nicht auf diese Arbeit zurückkommen zu müssen. Diese Art der Bedienung macht specINTI zu einem beeindruckenden Produktionswerkzeug, das viel einfacher zu bedienen ist, als es scheint, solange man sich auf seinen Geist einlässt.

Der Haupttext, der geschrieben werden muss, befindet sich in einer sogenannten „Konfigurationsdatei“. Er beschreibt Ihr Instrument und dessen Verwendung. Es muss eine zweite Datei geschrieben werden, die die Beobachtung beschreibt, die Sie verarbeiten möchten, was in der Fachsprache auch als „Reduzierung“ bezeichnet wird. Dies ist die „Beobachtungsdatei“. Man kann sich vorstellen, dass irgendwann eine Erfassungssoftware dieses letzte Dokument automatisch für Sie schreibt (und dies ist bereits teilweise der Fall).

Ohne die Hauptdokumentation von specINTI zu ersetzen, finden Sie hier einige zusätzliche Details zur Funktion und Verwendung dieser beiden Dateien

- Die Konfigurationsdatei ist eine einfache ASCII-Textdatei (deren Erweiterung mit „.yaml“ enden muss), die sich in einem speziellen Unterverzeichnis des Software-Installationsverzeichnisses (dem Unterverzeichnis „\_configuration“) befindet. Zusätzlich zu Kommentaren enthält jede Zeile in der Konfigurationsdatei den Namen eines Parameters, gefolgt vom Wert dieses Parameters. Diese Parameter allein steuern das Gesamtverhalten von specINTI. Beim Starten der Software liest diese einfach Ihre Konfigurationsdatei und führt dann nacheinander die Vorgänge aus, die den durch die Parameterwerte definierten Modi entsprechen. Es ist wichtig zu beachten, dass das Unterverzeichnis „\_configuration“ eine Art Behälter ist, in dem Sie Konfigurationen Ihrer Wahl ablegen können, die bestimmten Verwendungszwecken von specINTI oder verschiedenen Instrumenten entsprechen. Es gibt auch kleine Dienstprogramme, die ebenfalls die Form von Konfigurationsdateien haben (wir werden diese in dieser Toolbox verwenden).
- Die Beobachtungsdatei ist ebenfalls eine einfache ASCII-Textdatei (deren Erweiterung mit „.yaml“ enden muss), die sich zwingend in dem Verzeichnis befinden muss, das Ihre Rohbeobachtungsdaten enthält (im Folgenden als „Arbeitsordner“ bezeichnet). In Blöcken geben die Zeilen in dieser Datei die Beobachtungsparameter eines bestimmten Objekts an (Anzahl der Rohbilder, Anzahl der „Dunkelbilder“ usw.). Es kann mehrere Parameterblöcke geben, die ebenso vielen zu verarbeitenden Objekten entsprechen, da specINTI in der Lage ist, diese automatisch nacheinander zu verarbeiten (dies entspricht der „einmaligen“ oder „Batch“-Verarbeitung der Beobachtungen einer ganzen Nacht).

In dieser Toolbox wird die detaillierte Funktionsweise der Schnittstelle „specINTI Editor“ nicht beschrieben, die normalerweise den Einstiegspunkt für die Software darstellt, das Schreiben von Konfigurations- und Beobachtungsdateien durch Automatisierung erleichtert und Ihnen auch mit grafischen Werkzeugen (Anzeige von Bildern, Spektren...) hilft. Weitere Informationen finden Sie in der allgemeinen Dokumentation zu specINTI.

Lesetipp...

Das Referenzhandbuch: [http://www.astrosurf.com/solex/spevinti6\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/spevinti6_en.html)

Der Abschnitt mit Fragen und Antworten, mit vielen Beispielen, eher auf die Hardware ausgerichtet, der diese Toolbox perfekt ergänzt:

Wie es Ihnen auch passieren wird, beginnen wir zunächst mit einer leeren Seite!

Um Ihnen zu helfen, finden Sie Links zum Herunterladen der Rohdaten der Beispiele. Es wird dringend empfohlen, diese selbst abzuspielen, um ein gutes Gefühl für die Funktionsweise der Software zu bekommen und dann die richtigen Schritte mit Ihren eigenen Daten zu wiederholen. Überspringen Sie niemals Schritte!

Diese Toolbox basiert auf einer Reihe von Konfigurationsdateien und Dienstprogrammen. Sie können diese spezifischen Dateien über den folgenden Link herunterladen:

[http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist\\_sp24/\\_configuration.zip](http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist_sp24/_configuration.zip)

## 2. Über Dateinamen

Bevor wir richtig loslegen, wollen wir uns mit einem Thema befassen, das zu Frustrationen führen kann.

Genauso wie es riskant ist, einen Hammer nicht am Griff zu halten, um einen Nagel einzuschlagen, und dabei Verletzungen und Misserfolge zu riskieren, erfordert die Verwendung von specINTI die

Einhaltung eines Nutzungsprotokolls und Genauigkeit. Auch wenn die Verwendung eines Tools nach den Regeln der Kunst zunächst einschränkend erscheinen mag, erweist sie sich langfristig immer als vorteilhaft.

Unser Thema betrifft die Art und Weise, wie die Rohdateien im FITS-Format beim Import in specINTI benannt werden. Es stimmt, dass diese Software im Vergleich zu den üblichen Standards anspruchsvoll ist, aber das ist gerechtfertigt. Zu viel Freiheit bei der Benennung eines Objekts zu nehmen, ist in etwa so, als würde man einen Familiennamen verunstalten, was weder angenehm noch praktisch für die Orientierung ist.

Meistens handelt es sich bei den zu verarbeitenden Daten um Bildsequenzen, die in der Regel chronologisch indexiert sind. Das von specINTI akzeptierte Format für die Dateinamen besteht aus einem Stamm, einem Trennzeichen und einer Indexnummer. Diese Struktur wird dann durch eine Erweiterung ergänzt, entweder „.fits“ oder „.fit“, die beide akzeptiert werden (wir werden die Erweiterung von nun an generell ignorieren).

Nehmen wir ein Beispiel:

M51-1 M51-2 M51-3

Hier ist „M51“ der Stamm, „-“ das Trennzeichen und die Indexnummern sind 1, 2, 3. Die Gesamtheit aus Stamm und Trennzeichen, „M51-“, wird in diesem Dokument manchmal als generischer Name bezeichnet.

Zunächst muss der Stamm des Objektdateinamens einfach sein und von der SIMBAD-Datenbank erkannt werden. (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid>).

Um dies zu veranschaulichen, nehmen wir das Beispiel der Beobachtung der Galaxie Messier 51, auch bekannt als „Whirlpool-Galaxie“.

Wenn Sie einen Namen wie „Whirlpool-Galaxie“ verwenden – und es gibt möglicherweise noch weit hergeholtere Bezeichnungen –, werden Ihre Daten von SIMBAD nicht erkannt, was zu potenziellen Problemen mit specINTI führen kann, und Ihre Archivierung hat weder technischen noch wissenschaftlichen Wert.

Bezeichnungen wie M51, Messier51, NGC5194, UGC8493 usw. garantieren hingegen die Kompatibilität mit specINTI.

Es ist unbedingt erforderlich, Leerzeichen (oder Leerstellen) in Dateinamen zu vermeiden (nach Meinung des Autors ist die Akzeptanz von Leerzeichen in Dateinamen eine der schlimmsten Katastrophen in der Geschichte der Informatik – daher das Problem!). Auch wenn specINTI in einigen Fällen Leerzeichen akzeptieren kann, sollten Sie lieber das Zeichen „\_“ als Trennzeichen verwenden. Um auf das Beispiel von Messier 51 zurückzukommen: Anstelle eines Stammmamens wie „M 51“ sollte man „M\_51“ oder noch einfacher „M51“ verwenden. Es ist bemerkenswert, dass der Unterstrich „\_“ als Trennzeichen von SIMBAD erkannt wird, was kein Zufall ist.

Die Verwendung von Groß- oder Kleinbuchstaben ist in specINTI völlig irrelevant. Namen wie M51, m51, Messier51, messier51... werden alle akzeptiert.

Als Trennzeichen zwischen dem Stammmamens und dem Index wird der Bindestrich „-“ empfohlen, obwohl auch andere Formen möglich sind, da specINTI in dieser Hinsicht flexibel ist (die specINTI-Editor-Software bietet die Möglichkeit, das Trennzeichen, das sogenannte „Postfix“, selbst zu wählen). Die Empfehlung, „-“ zu verwenden, basiert jedoch auf Überlegungen der Logik und Lesbarkeit. So

erscheint der Dateiname „m\_51-1“ dank einer besseren Verwendung von Trennzeichen besser strukturiert und weniger mehrdeutig als „m\_51\_1“.

Der schwierigste Teil betrifft die Indizierung der Rohdateien. Angenommen, Sie möchten eine Sequenz von 3 Bildern des Spektrums von Messier 51 verarbeiten, und Ihre Rohdateien sind auf Ihrer Festplatte unter den folgenden Namen gespeichert:

M51-0001.FITS M51-0002.FITS M51-0003.FITS

Oder

M51\_gain200\_20230912\_881.FITS M51\_gain200\_20230912\_993.FITS  
M51\_gain200\_20230912\_998.FITS

specINTI lehnt diese Daten ab, und dies ist sicherlich das Thema, das am meisten Ärger verursachen wird. Die richtige Art und Weise, indizierte Dateien für specINTI zu benennen, ist die Verwendung eines einfachen Namens mit einem Index, der bei 1 beginnt:

M51-1.FITS M51-2.FITS M51-3.FITS

oder sogar, wie wir verstanden haben,

M51\_1.FITS

M51\_2.FITS

M51\_3.FITS

Sie können sogar die folgende Notation verwenden, obwohl dies aufgrund der Verwechslungsgefahr dringend abgeraten wird:

M511.FITS M512.FITS M513.FITS

Die Einhaltung dieser wenigen Regeln ermöglicht die Implementierung bestimmter specINTI-Automatisierungen für maximale Effizienz und Fehlervermeidung.

Wenn Ihre Erfassungssoftware Dateinamen aufzeichnet, die mit specINTI nicht kompatibel sind, haben Sie drei Möglichkeiten: (1) Sie benennen sie manuell oder automatisch mit einem vorhandenen oder noch zu erstellenden Dienstprogramm um (ISIS bietet beispielsweise ein solches Dienstprogramm an), (2) Sie wechseln zu einer anderen Erfassungssoftware, die kompatible Daten erzeugt, (3) Sie verwenden specINTI nicht.

### 3. Master-Bilder

Um die nachfolgende Vorgehensweise (eine Verarbeitungs-„Pipeline“) korrekt ausführen zu können, können Sie die Bilddaten (eine Reihe von Rohbildern) unter folgendem Link herunterladen:

[http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist\\_sp24/starex340.zip](http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist_sp24/starex340.zip)

Dies ist ein Beobachtungsverzeichnis, das Sie auf Ihr Speichermedium entpacken müssen. Die betreffende Beobachtung betrifft den Stern 10 Lacertae, einen spektrophotometrischen Standard.

Zusätzlich zu den Spektralbildern unseres ersten Ziels haben wir auch:

- Ein Bild des Offset-Signals oder Bias mit dem Namen „o-1.fits“. Dies ist ein Bild, das 0,01 Sekunden lang in Dunkelheit belichtet wurde.

- Eine Sequenz von 13 Bildern des thermischen Signals oder Dunkelsignals, die jeweils 900 Sekunden lang bei einer Temperatur von -12 °C (derselben Temperatur wie während der Beobachtung des Objekts) belichtet wurden. Diese Sequenz wurde tagsüber mit dem in einem Kühlschrank installierten Spektrografen aufgenommen. Die entsprechenden Dateien heißen: n900-1, n900-2, ... n900-13.
- Eine Sequenz von 50 Spektren einer Wolfram-Glühlampe (eine Lampe vom Typ MagLite mit einer Farbtemperatur von 2700 K), die den Eingangsspalt des Spektrografen durch einen Diffusor beleuchtet. Diese Sequenz entspricht einer Reihe von Bildern mit den Namen: tung-1, tung-2, ... tung-50. Es wird außerhalb des Teleskops gewonnen, indem man den Spektrografen tagsüber auf einen Tisch stellt (wir kommen darauf zurück).

Die Kamera, mit der diese Bilder aufgenommen wurden, ist das Modell ZWO ASI533MM. Beachten Sie, dass beim Erfassen ein Ausschnitt vorgenommen wurde, um das Format der Bilder auf den nutzbaren Bereich zu beschränken, mit einem Rand (ein Ausschnitt wird immer empfohlen, um die Erfassung unnötiger Daten und eine aufwändigere Verarbeitung zu vermeiden).

Ein klassischer Vorgang, der auch bei der Deep-Sky-Bildverarbeitung zum Einsatz kommt, ist die Berechnung von „Durchschnittswerten“ aller dieser Bilder, um Masterbilder des Offset-Signals, des Dark- und des Flat-Fields zu erstellen, in denen das Rauschen minimiert ist. Diese Bilderserie wird manchmal als DOF bezeichnet, was für „Dark, Offset, Flat“ steht.

Mit specINTI erfolgt die Berechnung der Master-DOFs transparent, beginnend mit Ihrer ersten Bearbeitung eines Zielobjekts. Die Software verwendet die Rohbilder von Offset, Dunkel und Flat Field, um im Arbeitsverzeichnis die Bilder „\_offset“, „\_dark“ und „\_flat“ zu erzeugen, unsere berühmten DOFs, die immer diese Namen tragen, die in gewisser Weise reserviert sind.

Hinweis: Um Rohbilder klar von bearbeiteten Bildern zu unterscheiden, fügt specINTI systematisch das Zeichen „\_“ am Anfang des Namens aller von ihm erzeugten Dateien hinzu. Dies gilt für alle Ihre Bearbeitungen, einschließlich der DOF-Dateien.

Normalerweise weicht die Berechnung der Master-Offset-Datei nicht von der Regel ab (z. B. Mittelwertbildung einer Rohsequenz o-1, o-2, o-3, ...), aber wir können hier eine Ausnahme machen...

Beachten Sie, dass in der bereitgestellten Roh-DOF-Sequenz nur ein Roh-Offset-Bild vorhanden ist, „o-1.fits“. Dies ist keineswegs empfehlenswert, da das Rauschen dieses Bildes unverändert in Ihre nachfolgende Vorverarbeitung übertragen wird und somit das Signal-Rausch-Verhältnis verschlechtert, das Sie immer maximieren sollten.

Die Erklärung liegt in einer Besonderheit von CMOS-Sensoren (zur Erzeugung der Bilder im Beispiel wird eine CMOS-Kamera verwendet). Das Offset-Bild ist bei modernen Versionen dieser Detektoren (zumindest bei Sony) so einheitlich, dass das Offset-Signal auf einen einzigen numerischen Wert beschränkt werden kann, den wir auf alle Pixel des Master-Bildes „\_offset“ anwenden.

Dies ist die Idee eines „synthetischen“ Offsets, der den Vorteil hat, dass er jegliche Rauschquellen darin eliminiert. Der im synthetischen Bild beibehaltene Pegel ist der durchschnittliche Intensitätspegel, der in einem realen Offset-Bild beobachtet wird, hier dem Bild „o-1.fits“. Aus diesem Grund ist es notwendig, mindestens ein rohes Offset-Bild zu erfassen, aber eines reicht aus.

Laden Sie auf der Registerkarte „Konfiguration“ des specINTI-Editors die Konfigurationsdatei „conf\_make\_offset.yaml“. Diese ist sehr kurz, da sie sich auf den Start der Funktion „\_img\_make\_offset“ beschränkt:

```
# *****
# CONF_MAKE_OFFSET
# Synthesizes a uniform offset from an
# actually acquired offset (bias) image
# *****
#-----
# Working directory
#-----
working_path: D:/starex340
#-----
# Call _img_make_offset function
#-----
_img_make_offset: [o-1, _offset]
```

In specINTI ist eine „Funktion“ ein spezieller Parameter, der einen Berechnungsvorgang (in der Regel eine einfache Aufgabe) autonom startet und dabei hauptsächlich die als Parameter angegebenen Werte (Zahlen, Zeichenfolgen) verwendet. Das Programm wird beendet, sobald die Funktion ausgeführt wurde.

In diesem Fall verwenden die Parameter der Funktion „\_img\_make\_offset“ Namen von Bilddateien. Die Funktion weiß, dass sich die betreffenden Dateien in einem bestimmten Arbeitsverzeichnis befinden (hier „d:/starex340“, aber das ist nur ein Beispiel). Dazu muss die Konfigurationsdatei den Parameter „working\_path“ enthalten, gefolgt vom Titel des Pfads, der zum Arbeitsordner führt.

Als Argumente der Funktion „\_img\_make\_offset“ gibt es den Namen eines Roh-Offset-Bildes (hier „o-1“) und den Namen der synthetischen Offset-Datei (hier „\_offset“).

Starten Sie die Ausführung dieser Konfigurationsdatei. Sie finden dann das synthetische Bild „\_offset“ im Arbeitsverzeichnis.

Tipp: Wenn Sie die Instrumentierung nicht ändern, ist es unwahrscheinlich, dass sich der Inhalt der Offset-Datei ändert, sodass die soeben durchgeführte Berechnung nur einmal durchgeführt werden muss.



## 4. Verwendung von Master-Bildern

Hier wird erläutert, wie die DOF-Dateien von einer Nacht zur nächsten verwendet werden. Zunächst wird empfohlen, für jede Beobachtungsnacht ein separates Verzeichnis anzulegen. Benennen Sie diese Verzeichnisse logisch, beispielsweise unter Angabe des Beobachtungsdatums oder einer geeigneten Indizierung.

Angenommen, Sie haben gerade die Spektren im Ordner „starex340“ verarbeitet, unserem aktuellen Arbeitsordner. Jedes Mal, wenn Sie eine Sequenz von rohen DOFs bei der Verarbeitung verwenden, generiert specINTI im aktuellen Arbeitsordner die Master-Dateien (die aus der Addition der Rohbilder resultieren), die, wie wir gesehen haben, die Namen „\_dark“, „\_offset“ und „\_flat“ tragen. Beachten Sie das Präfix „\_“, ein Erkennungszeichen, das specINTI den von ihm verarbeiteten Elementen hinzufügt.

Wenn Sie an einem Ziel arbeiten, verwenden Sie statt einer Sequenz von Dunkelsignalen, die die Software zwangsläufig verarbeiten würde, um eine neue „\_dark“-Datei zu erstellen (die die alte überschreiben würde), direkt die eindeutige „\_dark“-Datei für Ihre Bearbeitungen. Sie bietet die gleiche Qualität und vereinfacht und beschleunigt gleichzeitig die Vorgänge.

Im folgenden Beispiel zeigen wir, wie Sie die Beobachtungsdatei aus dem specINTI Editor ausfüllen:

Fichier(s) Offset :	<input type="text" value="_offset"/>	nb :	<input type="text" value="0"/>
Fichier(s) Dark :	<input type="text" value="n900-"/>	nb :	<input type="text" value="13"/>
Fichier(s) Flat :	<input type="text" value="tung-"/>	nb :	<input type="text" value="50"/>

Es wird darum gebeten, das soeben erstellte Masterbild „\_offset“ zu verwenden. Beachten Sie, dass die Anzahl der angegebenen Bilder 0 ist (wir haben keine Bildsequenz). Für „dark“ und „flat-field“ verwenden wir hingegen den Satz von Kalibrierungsbildern in Rohform. Ohne dass Sie es bemerken, generiert specINTI im Arbeitsordner die Master-Bilder „\_dark“ und „\_flat“, die jeweils die Summe der 13 Dunkelbilder und 50 Wolframlampenbilder sind.

Nehmen wir nun an, wir haben gerade eine Beobachtung abgeschlossen und die Bearbeitungen wurden noch nicht durchgeführt. Die Rohdaten dieser neuen Beobachtung befinden sich im Ordner „starex341“ auf der Festplatte. Wir möchten die Master-DOF-Dateien der vergangenen Nacht verwenden (DOFs werden selten neu erstellt, es sei denn, die Umstände erfordern dies, z. B. eine Temperaturänderung oder ein neuer interessanter Bereich in den Bildern).

Im „normalen“ Betrieb von specINTI müssen Sie die DOF-Bilder von „starex340“ nach „starex341“ kopieren. Anstatt jedoch beispielsweise die 50 Flatfields zu übertragen, können Sie sich darauf beschränken, das „\_flat“-Bild zu kopieren.

Das Kopieren dieser Dateien kann mit der Zeit etwas mühsam werden, hat aber den Vorteil, dass Sie einen lückenlosen Überblick über die geleistete Arbeit behalten.

Die Software kann für DOF-Bilder anders arbeiten, insbesondere wenn Ihr Spektrograph als stabil gilt (in diesem Fall können dieselben DOFs mehrfach genutzt werden). Erstellen Sie dazu einen Ordner irgendwo in Ihrem Speicherplatz.

Nennen wir es beispielsweise:

c:/specinti\_master

Geben Sie in der Konfigurationsdatei den vollständigen Pfad dieses Verzeichnisses als Argument des Parameters „master\_path“ an. Zum Beispiel hier:

c:/specinti\_master

Geben Sie in der Konfigurationsdatei den vollständigen Pfad dieses Verzeichnisses als Argument des Parameters „master\_path“ an. Zum Beispiel hier:

master\_path: c:/specinti\_master

Kopieren Sie Ihre Master-DOF-Dateien beispielsweise aus dem Ordner „starex240“ in das Verzeichnis „c:/specinti\_master“. Dieser Vorgang muss nur einmal durchgeführt werden. Ändern Sie dann den Namen dieser Dateien geringfügig, indem Sie ein zusätzliches „\_“ hinzufügen. Im Verzeichnis „specinti\_master“ sollten Sie Folgendes finden (beachten Sie die doppelten Unterstriche, Sie können die Namen nach Belieben ändern, dies ist zulässig

\_\_offset

\_\_dark

\_\_flat

Von nun an können diese Master-Bilder für die Verarbeitung der Spektren der folgenden Nächte genutzt werden, ohne dass sie von einem Verzeichnis in ein anderes kopiert werden müssen.

Die Bilder in diesem Master-Verzeichnis werden jedoch nur angezeigt, wenn Sie explizit das Doppel „\_\_“ vor ihren Namen in der Beobachtungsakte. Zum Beispiel

Fichier(s) Offset :	<input type="text" value="__offset"/>	nb :	<input type="text" value="0"/>
Fichier(s) Dark :	<input type="text" value="__dark"/>	nb :	<input type="text" value="0"/>
Fichier(s) Flat :	<input type="text" value="__flat"/>	nb :	<input type="text" value="0"/>

Hier werden für die Verarbeitung der Spektren die Offset- und Dark-Master-Bilder aus dem Verzeichnis „c:/specinti\_master“ geladen. Das Flat-Field-Master-Bild hingegen wird im aktuellen Arbeitsordner gesucht, da sein Name nur ein „\_“ enthält.

## 5. Überlegungen zur Wellenlängenkalibrierung von Spektren

Die Wellenlängenkalibrierung, auch als Spektralkalibrierung bezeichnet, ist ein Vorgang, bei dem den verschiedenen Pixeln des Spektralbildes eines Objekts entlang der Farbachse (der spektralen Dispersionsachse) eine Wellenlänge zugeordnet wird.

Zunächst benötigen wir ein mit unserem Instrument erstelltes Referenzspektrum, in dem Details mit bekannter Wellenlänge identifiziert werden können.

An diesem Referenzspektrum werden nacheinander verschiedene Vorgänge durchgeführt (Isolieren des Rohprofils, Identifizieren der Position der Linien in diesem Spektrum, Berechnen des Dispersionspolynoms). Wir werden diese Vorgänge nacheinander beschreiben.

Der erste Schritt besteht also darin, aus dem 2D-Spektrumbild ein Diagramm zu extrahieren, das die in diesem Bild beobachtete Intensität entlang der Wellenlängenachse darstellt. Diese Kurve ist das spektrale Intensitätsprofil des Spektrums, einfacher als „Spektralprofil“ bezeichnet.

Das Spektralprofil hat den Vorteil, dass es leichter zu bearbeiten ist als ein Bild. Es zeigt die Spektralverteilung besser und ermöglicht eine bessere Quantifizierung. Einige Vorgänge werden dadurch ebenfalls erleichtert, beispielsweise ist es üblich, das Spektralprofil in der Wellenlänge zu linearisieren, was bedeutet, dass zwischen zwei Punkten auf dieser Kurve der Wellenlängenabstand konstant ist.

In dem behandelten Beispiel ist unsere Referenzlichtquelle ein Stern. Nicht irgendein Stern, sondern einer, der mehrere wesentliche Eigenschaften aufweist: eine große Anzahl von Spektrallinien (aber nicht zu viele), eine gleichmäßige Verteilung im Spektrum, einen guten Linienkontrast und natürlich genaue Kenntnisse über ihre Wellenlängen. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn dieser Stern relativ hell ist, um eine einfache Beobachtung zu ermöglichen und somit ohne großen Aufwand ein zufriedenstellendes Signal-Rausch-Verhältnis zu bieten.

Unsere Wahl fiel auf den Stern 10 Lacertae, auch bekannt als 10 Lac, einen etablierten spektralphotometrischen Standard mit einer Magnitude von 4,8 und einem Spektraltyp von O9V.

Der Stern 10 Lac ist besonders interessant, da er uns später auch ermöglichen wird, die spektrale Intensitätsantwort unseres Instruments zu ermitteln. Durch die Verwendung von 10 Lac erfüllen wir somit zwei Aufgaben in einer, was ideal ist (natürlich sind auch andere Optionen möglich).

Es ist wichtig zu beachten, dass zur Bewertung des Kalibrierungsgesetzes eine natürliche Quelle verwendet werden kann, wie in unserem Fall das Spektrum eines Sterns, aber auch eine künstliche Spektralquelle, die ein Spektrum feiner Emissionslinien erzeugt. Das Problem bei künstlichen Quellen ist, dass sie nicht immer leicht zu finden sind, insbesondere wenn wir eine relativ homogene spektrale Verteilung der Linienwellenlängen wünschen.

Wir haben Vorteile, wenn wir einen Stern wie 10 Lac nutzen, der kostenlos ist und die richtigen Eigenschaften hat. In den meisten Fällen ist jedoch eine spektrale Emissionslinienlampe mit geringem Bedarf erforderlich, um die Kalibrierung abzuschließen.

die spektrale Kalibrierung jedes beobachteten Ziels; dieser Punkt wird später noch näher erläutert.

Wir gehen davon aus, dass die spektrale Kalibrierungsgleichung (ein Polynom bestimmten Grades), die Punkte im Spektrum mit ihren Wellenlängen verknüpft, eine instrumentelle Konstante ist, die von einem Ziel zum anderen stabil bleibt. Dies ist im Allgemeinen eine gültige Annahme, mit einigen Details, die später noch erläutert werden (insbesondere die Frage der „Konstante“, dem ersten Term des Polynoms) .

Der für dieses Beispiel verwendete Spektrograph ist ein Star'Ex LR (Low Resolution) mit niedriger Auflösung (23-Mikrometer-Spalt, 300 Rillen/mm Gitter und ASI533MM-Kamera). Er ist am Brennpunkt eines 150-mm-F/5-Newton-Teleskops montiert:



So sieht eines der 2D-Spektrumbilder von 10 Lac aus, belichtet für 30 Sekunden:



Anfangs hat der verwendete Sensor 3008 x 3008 Pixel. Von der Aufnahme behalten wir nur ein Teilbild („Ausschnitt“) von nur 2620 x 431 Pixel, was mehr als ausreichend ist, um das gesamte nutzbare Spektrum mit einem komfortablen Spielraum zu erfassen.

Tipp: Es ist wichtig, nicht mit dem vollständigen Bild zu arbeiten, um die Dateigröße zu reduzieren und die Verarbeitung zu beschleunigen. Das verwendete Fenster, auch ROI (Region Of Interest) genannt, ist auf die schmale Spur des Spektrums beschränkt, während oben und unten Platz gelassen wird, um eine genaue Messung der Intensität des Himmelshintergrunds zu ermöglichen. Wir haben 12 Bilder des Spektrums von 10 Lacertae, deren Dateien nach der Erfassung benannt sind (die Erweiterung .fits wird ignoriert): 10lac-1, 10lac-2, 10lac-3, ..., 10lac-12. Wir werden zwei untersuchen.

Methoden zur Berechnung des Dispersionspolynoms. Zunächst eine sehr manuelle Methode, die Sie nur in ganz bestimmten Situationen verwenden werden. Anschließend stellen wir in Abschnitt 8 eine wesentlich schnellere Methode vor, die vorzuziehen ist.

Wir möchten Ihnen jedoch die manuelle Methode vorstellen, da sie eine Reihe wichtiger Werkzeuge und Methoden implementiert, die Ihnen eines Tages nützlich sein könnten, insbesondere das Konzept der „Funktion“ in specINTI. Wenn Sie es eilig haben, können Sie direkt zu Abschnitt 8 springen.

## 6. Extrahieren des rohen Spektralprofils, des Spektrums der Stufe 0

Betrachten wir zunächst die Abfolge der Schritte, die erforderlich sind, um das Spektraldispersionsgesetz im manuellen Modus aus einem Sternspektrum zu bestimmen.

Beginnen wir mit der Berechnung des Rohspektralprofils von 10 Lacertae. Die Verwendung des Begriffs „Roh“ bedeutet, dass das in dieser Phase erhaltene Diagramm nicht in Bezug auf die Wellenlänge kalibriert wird. Es spiegelt jedoch genau die Verteilung der scheinbaren Intensitäten wider, die in den Pixeln des 2D-Bildes aufgezeichnet wurden.

Füllen Sie im specINTI-Editor die Registerkarte „Beobachtung“ (und damit die Beobachtungsdatei) wie folgt aus:

Betrachten wir zunächst die Abfolge der Schritte, die erforderlich sind, um das Spektraldispersionsgesetz im manuellen Modus aus einem Sternspektrum zu bestimmen.

Beginnen wir mit der Berechnung des Rohspektralprofils von 10 Lacertae. Die Verwendung des Begriffs „Roh“ bedeutet, dass das in dieser Phase erhaltene Diagramm nicht in Bezug auf die Wellenlänge kalibriert wird. Es spiegelt jedoch genau die Verteilung der scheinbaren Intensitäten wider, die in den Pixeln des 2D-Bildes aufgezeichnet wurden.

Füllen Sie im specINTI-Editor die Registerkarte „Beobachtung“ (und damit die Beobachtungsdatei) wie folgt aus:

Hinweis: Der angegebene Objektname lautet „10 Lac“, mit einem Leerzeichen zwischen „10“ und „Lac“. Dies wird als „Katalog“-Name bezeichnet. Genau dieser Objektname wird in der Kopfzeile der FITS-Datei des verarbeiteten Spektrums gespeichert. Diese Schreibweise ist sowohl mit SIMBAD kompatibel als auch für spätere Analysen lesbar. Ebenso sollten Sie vorzugsweise „NGC 891“ als Katalognamen (oder „ngc 891“) schreiben. Beachten Sie jedoch, dass specINTI alle Leerzeichen entfernt, wenn Sie auf „Auto“ klicken, um die Namen der Eingabedateien auf Ihrer Festplatte zu definieren. Dies ist eine Art Standard, der für die Definition der generischen Namen der Dateien beim Start von specINTI gewählt wurde (maximale Einfachheit beim Schreiben, also zum Beispiel: ngc891-

1, ngc891-2, ...). Gleichzeitig ermittelt die Software automatisch die Anzahl der Bilder in der Sequenz (in diesem Fall 12 Bilder). An dieser Stelle wird deutlich, wie wichtig es ist, Rohbilder richtig zu benennen.

Geben Sie auch den Namen der DOF-Bilder in den entsprechenden Feldern an. Beachten Sie, dass wir bei dem Master-Offset-Bild darauf geachtet haben, nicht „o-“ anzugeben, da die Software sonst beim Klicken auf „Auto“ nur ein Bild finden würde. Dies würde zwar die richtige Anzahl von Bildern ergeben, wäre aber nicht zufriedenstellend, da dieses einzelne Bild während der Verarbeitung erhebliche Störungen verursachen würde. Am besten geben Sie den zuvor berechneten Dateinamen „\_offset“ an. Da es nicht zu einer nummerierten Serie gehört, müssen Sie 0 als Anzahl der Bilder verwenden. Auf diese Weise erkennt specINTI das Bild „\_offset.fits“ korrekt als Master-Offset-Bild.

Tipp: Was ist, wenn die DOF-Liste unvollständig ist? SpecINTI kann Ihre Spektren auch ohne ein DOF-Element oder sogar ohne alle DOFs einwandfrei verarbeiten. Angenommen, Sie haben keine Dark-Signal-Bilder zur Verfügung. Geben Sie dann im Feld „Dark File“ (Dunkle Datei) „none“ (keine) ein. Nutzen Sie diese Gelegenheit, um die Anzahl der entsprechenden Bilder auf 0 zu setzen (lassen Sie dieses Feld nicht leer). Wenn Sie weder Offset-, noch Dunkle- noch Flachbilder haben, geben Sie in alle Felder „none“ (keine) ein. Dies ist eine große Flexibilität, die SpecINTI bietet.

Klicken Sie auf die Schaltfläche „Speichern“. Der SpecINTI Editor erstellt und speichert dann die Beobachtungsdatei im Arbeitsordner. Bevor Sie dies tun, denken Sie daran, dieser Datei einen Namen zu geben. Im Beispiel wird sie „10lac.yaml“ heißen (Sie können diesen Namen frei wählen).

Für die eigentliche Verarbeitung verwenden wir die Konfigurationsdatei mit dem Namen „conf\_extract\_raw.yaml“ (das heißt: Extraktion eines Rohintensitätsprofils aus unserer 2D-Bildsequenz). Hier ist ihr Inhalt, den Sie über die Registerkarte „Konfiguration“ anzeigen können, indem Sie auf den entsprechenden Namen in der Liste auf der rechten Seite klicken.

Hinweis: Diese Liste auf der rechten Seite zeigt den Inhalt des Unterverzeichnisses „\_configuration“. Es handelt sich um eine Art Bibliothek mit Instrumentenkonfigurationen oder Dienstprogrammen, die dort angezeigt werden.

Inhalt der Konfigurationsdatei:

```
# *****  
  
# CONF_EXTRACT RAW  
# Extraction of a raw intensity profile from a 2D image  
# Level 0  
# *****  
  
#  
#-----  
# Working directory  
#-----  
working_path: D:/starex340  
#-----  
# Processing batch file  
#-----  
batch_name: 10Lac  
#-----  
# Spectrum extraction mode (uncalibrated)  
#-----  
calib_mode: -5  
#-----  
# Binning height  
#-----  
bin_size: 30  
#-----  
# Sky background calculation zones around the trace  
#-----  
sky: [160, 20, 20, 160]  
#-----  
# Geometric parameter calculation area  
#-----  
xlimit: [600, 1800]
```

```
#-----  
# Output format (0: compact, 1: expanded)  
#-----
```

check\_mode: 1

Hier eine kurze Erläuterung der Parameter:

- **working\_path:** Der Pfad des aktuellen Arbeitsverzeichnisses.
- **batch\_name:** Der Name der Beobachtungsdatei .yaml.
- **calib\_mode:** Der Verwendungsmodus von SpecINTI. Der Wert -5 steht für einen speziellen Modus, nämlich die Extraktion eines Rohprofils aus dem Durchschnitt der eingegebenen Spektralbilder.
- **bin\_size:** Die Binning-Höhe in Pixeln.
- **sky:** Eine Liste von Werten, die in Pixeln die Teile des Bildes angibt, in denen der Himmelshintergrundpegel berechnet wird (auf beiden Seiten der Spektrumskurve).
- **xlimit:** Der Bereich in horizontalen Koordinaten in Pixeln, in dem die geometrischen Parameter des Spektrums berechnet werden, insbesondere die Neigung der Kurve (der „Neigungswinkel“).
- **check\_mode:** Gibt an, ob Sie sich im Modus zur Überprüfung der Konfigurationsdatei befinden. Zu Beginn wird der Wert 1 empfohlen, da SpecINTI dann viele Informationen über den Fortschritt des Programms liefert und Steuerdateien auf die Festplatte schreibt, die zur Fehlererkennung nützlich sein können (der Standardwert ist 0, wenn der Parameter nicht gesetzt ist, mit einer nüchterneren Anzeige).

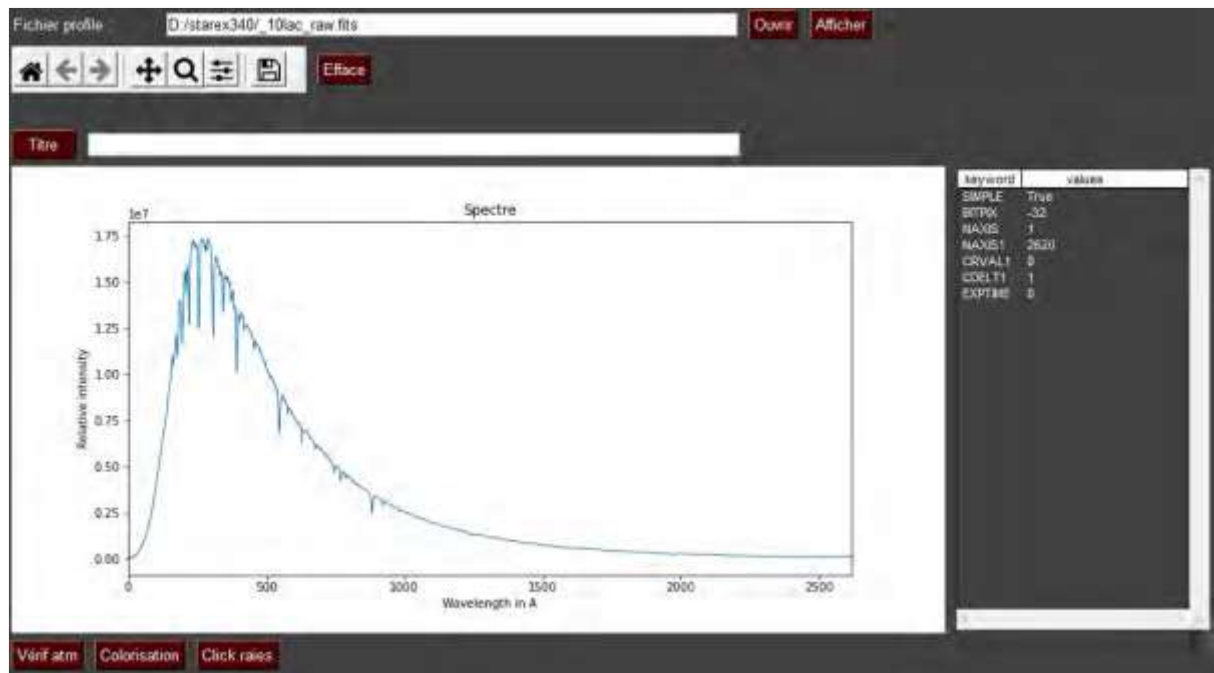
Die Höhe der Binning-Zone (der Parameter „bin\_size“) wird großzügig festgelegt, um sicherzustellen, dass das gesamte Signal aus unserem Spektrum entlang seiner Spur erfasst wird. Außerdem subtrahieren wir die Intensität des Himmelshintergrunds (der Parameter „sky“), gemessen auf beiden Seiten der Spur in Zonen, die mit dem angenommenen Binning-Höhe.

Klicken Sie auf die Schaltfläche „Ausführen“, um die Verarbeitung zu starten. Nach einigen Sekunden wird das Rohprofil „\_10lac\_raw.fits“ im Arbeitsordner gespeichert (siehe Anweisungen im Ausgabe-Terminal). Dies entspricht der Summe der Signale, die in unseren 12 2D-Bildern des Spektrums von 10 Lacertae gemessen wurden.

Das berechnete Spektrum wird als „Level 0“ bezeichnet. Ein solches Level des Spektralprodukts bedeutet, dass keine Kalibrierungsvorgänge angewendet wurden. Dieses Level stellt lediglich in Form einer Kurve das von Star'Ex gelieferte und vom Detektor pixelierte Spektralbild dar.

Sie können den Inhalt dieses Profils über die Registerkarte „View Profile“ (Profil anzeigen) des SpecINTI-Editors oder über jede andere Software anzeigen, die ein Spektralprofil anzeigen kann, wie beispielsweise ISIS. Hier ist das gefundene Profil der Stufe 0.





## 7. Identifizierung und Messung von Spektrallinien

Das Spektrum von 10 Lacertae enthält zahlreiche Linien, die leicht zu identifizieren sind und deren Wellenlängen bekannt sind. Während diese Linien im blauen Bereich (links) deutlich zu erkennen sind, ist dies im roten Bereich nicht der Fall. Es sind zwar Linien vorhanden, aber aufgrund eines Visualisierungsproblems sind sie aufgrund der sehr großen Intensitätsschwankungen entlang der Kurve nicht klar zu erkennen. Hier schlagen wir eine Technik vor, um dieses Problem zu beheben, die auch die Genauigkeit der Messungen verbessert. Dies ist auch eine Gelegenheit, sich mit dem Prinzip der Funktionen in specINTI vertraut zu machen.

Das Ziel besteht darin, das Kontinuum des Spektrums durch eine sehr starke Glättung des Profils grob zu modellieren und dann das ursprüngliche Rohprofil durch dieses geglättete Profil zu dividieren. Zu diesem Zweck verwenden wir ein kleines Dienstprogramm, die Konfigurationsdatei „conf\_remove\_continuum.yaml“:

```
# CONF_REMOVE_CONTINUUM

# Continuum rectification of a spectrum.

# *****

#-----

# Working directory

#-----

working_path: D:/starex340

#-----

# Processing batch file

#-----

batch_name: 10Lac

_begin:

_pro_blur: [_10lac_raw, 200, p1]

_pro_div: [_10lac_raw, p1, p2]

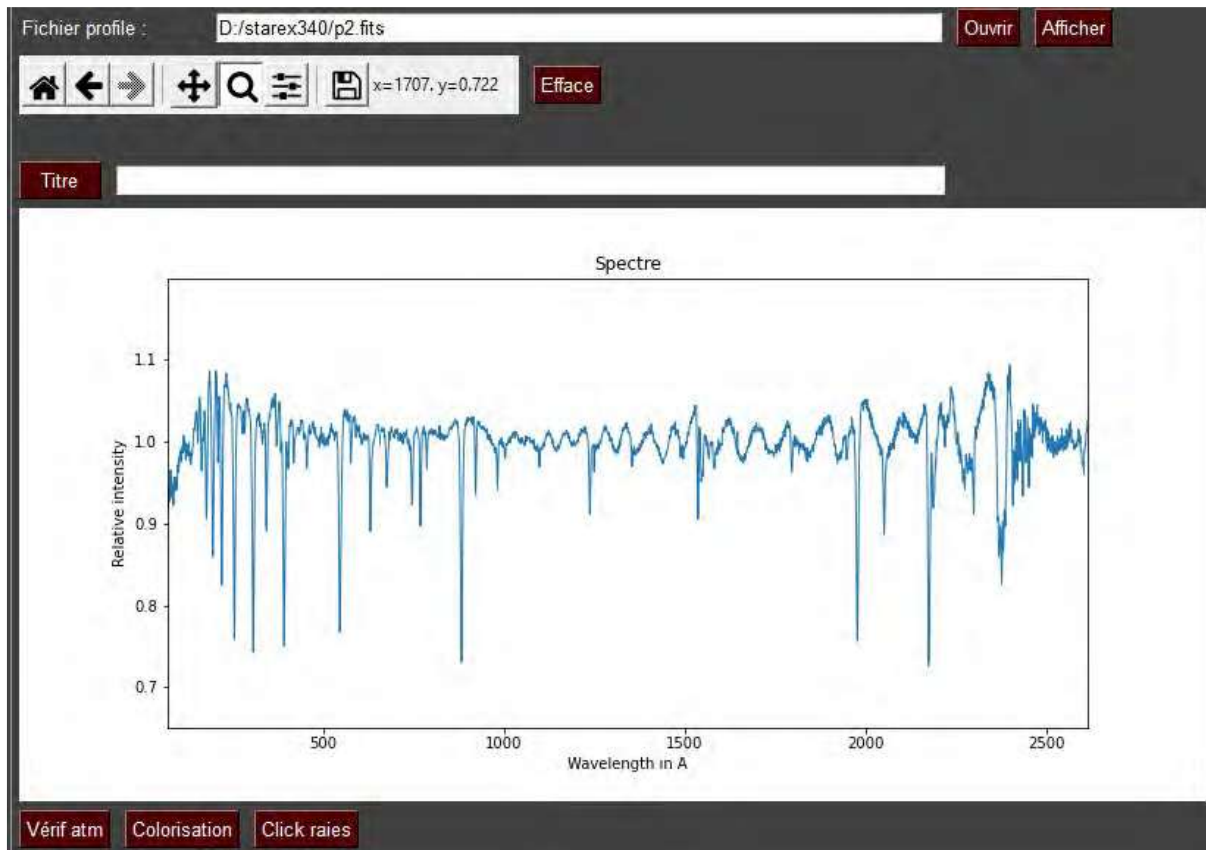
_end:
```

In dieser Auflistung verwenden wir zwei Funktionen. Zunächst „\_pro\_blur“, die das Profil „\_10lac\_raw“ glättet, was zu dem Profil „p1.fits“ führt, das automatisch im Arbeitsordner gespeichert wird. Der Wert 200 legt die Stärke der Glättung fest (ein typischer Wert für einen ersten Versuch; je höher der Wert, desto stärker die Glättung). Bei Bedarf können Sie Tests durchführen, indem Sie das Profil „p1.fits“ visualisieren.

Die nachfolgende Funktion „\_pro\_div“ berechnet die Division des ursprünglichen Profils durch das geglättete Profil und generiert das korrigierte Profil (ohne das Kontinuum) unter dem Namen „p2.fits“. Die Namen können Sie natürlich frei wählen.

Tipp: Es ist möglich, mehrere Funktionen wie hier zu verketteten, indem Sie sie mit „\_begin“ und „\_end“ umrahmen.

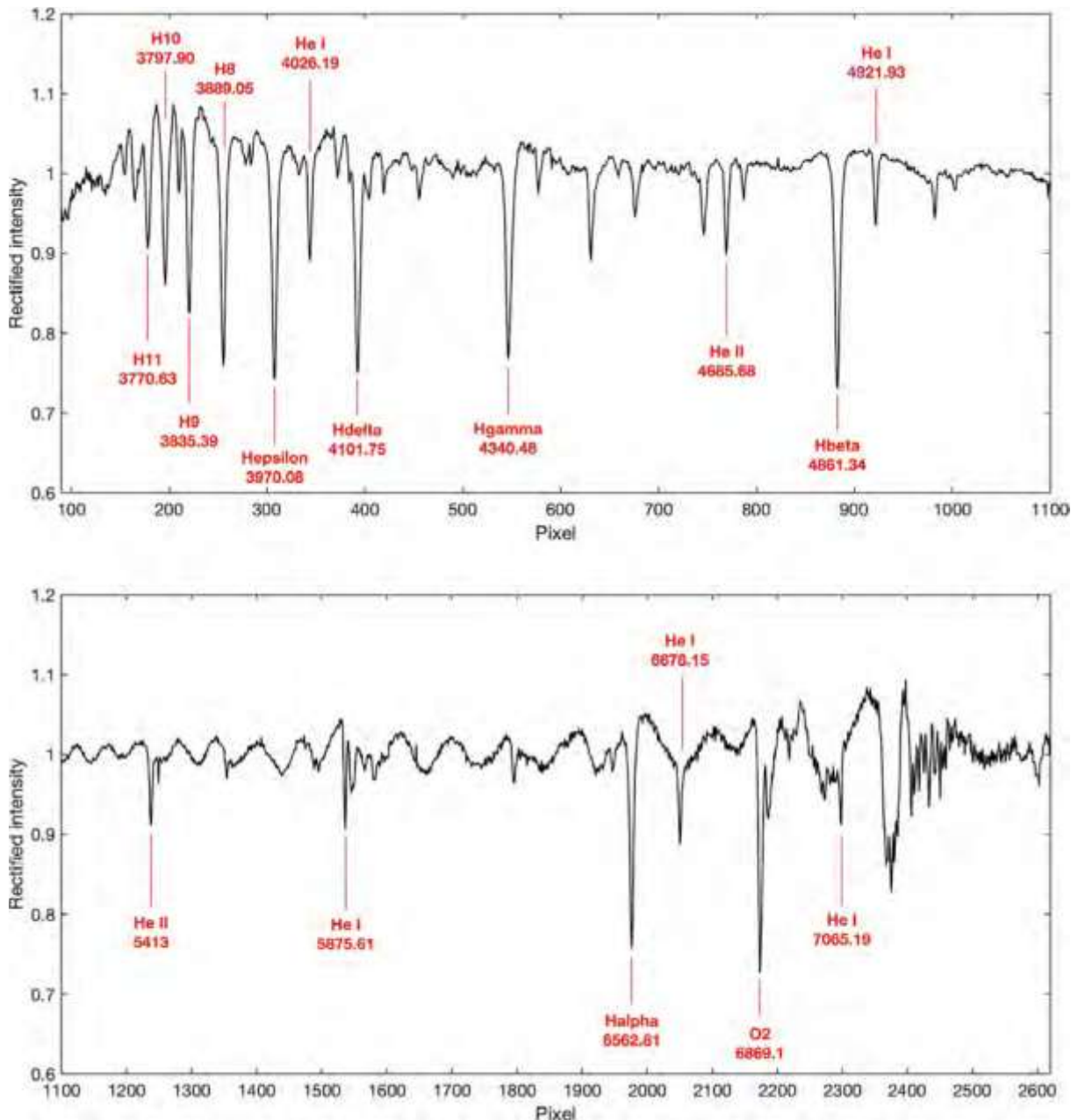
Hier ist das Ergebnis (an den Enden können Artefakte auftreten; spielen Sie dann mit der Lupe, um die interessanten Teile besser wahrzunehmen):



Eine Reihe von Fehlern beeinflusst dieses Spektrum, darunter Schwingungen, die nicht natürlichen Ursprungs sind, sondern auf instrumentelle Effekte zurückzuführen sind (verursacht durch die spektrale Empfindlichkeit des Detektors).

Die Lösung dieser Probleme wird später behandelt. Vorerst liegt unsere Priorität auf der Identifizierung und Lokalisierung der Linien.

Die folgende Abbildung stellt eine Art Atlas der Spektrallinien im Spektrum des Sterns 10 Lacertae mit ihren genauen Wellenlängen dar:



Aus diesem Satz haben wir die folgenden Wellenlängen für die Verarbeitung des Spektrums ausgewählt:

[3770,63, 3797,90, 3835,39, 3889,05, 3970,08, 4026,19, 4101,75, 4340,48, 4685,68, 4861,34, 4921,93, 5875,61, 6562,81, 6678,15, 7065,19]

Die Liste ist etwas lang; sie umfasst 15 Zeilen, die ebenso viele Messpunkte darstellen. Wir könnten weniger wählen, aber immer gut verteilt im Spektralbereich. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie Werte manuell in die Konfigurationsdatei übertragen; machen Sie keine Fehler. Kopieren und Einfügen ist die beste Methode.

Angehts dieser Wellenlängen der Linien benötigen wir eine Liste gleicher Größe, die die berechnete, ohne das Kontinuum (d. h. es wird korrigiert), eignet sich perfekt für diese Aufgabe. In dieser Phase begnügen wir uns damit, die Position der Mitte der Linien auf den nächsten Pixel genau zu schätzen. Trotz dieser Annäherung ist die Kalibrierungsgenauigkeit aufgrund des Fehlerglättungsmechanismus bereits zufriedenstellend. Wir werden später sehen, wie man dies noch verbessern kann.

Um die horizontale Koordinate (X-Achse) jeder Linie in Pixeln zu schätzen, können Sie die Registerkarte „Profilanzeige“ des specINTI-Editors und dann das Werkzeug „Linien anklicken“ verwenden oder eine andere Software Ihrer Wahl einsetzen. Hier sind die Ergebnisse für unser Beispiel (also 15 Positionen):

[178, 195, 220, 255, 307, 343, 392, 547, 769, 883, 922, 1536, 1976, 2050, 2297]

Tipp: Wenn Sie sich mit einem Zoom innerhalb des Spektrums bewegen müssen, empfiehlt es sich, die Option „Klicklinien“ zu deaktivieren und sie dann wieder zu aktivieren, wenn Sie sich im gewünschten Bereich des Spektrums befinden.

## 8. Berechnung des spektralen Kalibrierungs-Polynoms

Um das spektrale Kalibrierungs-Polynom zu berechnen, öffnen Sie ein neues Dienstprogramm, die Konfigurationsdatei „conf\_compute\_poly“, die wie folgt aussehen sollte:

```
# *****

# CONF_COMPUTE_POLY

# Manual calculation of the dispersion law

# *****

#-----

# Polynomial calculation from a list of points

#-----

calib_mode: -4

#-----

# Order of the dispersion polynomial to be evaluated

#-----

fit_order: 3

#-----

# Wavelengths of measured points

#-----

fit_wavelength: [3770.63, 3797.90, 3835.39, 3889.05, 3970.08, 4026.19, 4101.75, 4340.48, 4685.68,
4861.34, 4921.93, 5875.61, 6562.81, 6678.15, 7065.19]

#-----

# Measured points' coordinates

#-----

fit_posx: [178, 196, 220, 255, 307, 343, 392, 547, 769, 883, 922, 1536, 1976, 2050, 2297]
```

Der Parameter „calib\_mode“ nimmt hier den Wert -4 an, einen weiteren speziellen Modus, der speziell für die Berechnung eines Polynoms vorgesehen ist, das eine Reihe von Punktpaaren unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate anpasst (siehe das Referenzhandbuch zu specINTI).

Die Liste der Wellenlängen und die Liste der Positionen der gefundenen Linien werden als die jeweiligen Argumente für die Parameter „fit\_wavelength“ und „fit\_posx“ erkannt.

Der Parameter „fit\_order“ bestimmt den Grad des angepassten Polynoms. Der Grad 3 ist für einen Star'Ex LR-Spektrographen gut geeignet (nicht mehr suchen). Nach dem Klicken auf die Schaltfläche „Ausführen“ erhalten Sie die gewünschten Werte der Polynomterme im Ausgabeterminal:

```
-----
Polynomial fit
calib_coef: [1.3697786967858392e-09, 4.7375755940865985e-07, 1.5459285880960587,
3495.239344027813]
-----
O-C: [ 0.193 -0.37  0.009 -0.455  0.156  0.586  0.351 -0.748  0.718 -0.267
-0.132 -0.257  0.397 -0.035 -0.148]
Root Mean Square Error = 0.3902 Å
End.
```

Die durchschnittliche Spektralabtastung beträgt 1,55 Å pro Pixel und die spektrale Auflösung 8 Å. Das Ergebnis scheint daher sehr zufriedenstellend zu sein, dennoch sollte man sich nicht allein auf den ersten Eindruck verlassen. Obwohl das Polynom perfekt zu allen von uns bereitgestellten Punkten passt, stellt sich die Frage nach der Qualität der Messungen (z. B. die Genauigkeit der Lokalisierung des nächsten Pixels im scheinbaren Zentrum der Linien). Daher ist Vorsicht geboten, da der tatsächliche Fehler größer sein könnte als der im angezeigten RMS-Wert angegebene. In diesem Fall sind wir jedoch einer qualitativ hochwertigen Messung recht nahe gekommen.

Tipp: Die Art und Weise, wie das Ergebnis im Terminal dargestellt wird („calib\_coef: ...“), erleichtert das Kopieren und Einfügen in die Konfigurationsdatei und eliminiert so das Risiko von Fehlern durch manuelle Übertragung. Sie könnten versuchen, die Genauigkeit der Spektralkalibrierung durch Verwendung weiterer Terme im Polynom zu verbessern, beispielsweise durch Wahl des Grades 4, aber der RMS-Fehler verringert sich dadurch nur geringfügig, wenn überhaupt. Dies deutet darauf hin, dass ein Polynom 3. Grades für die Anpassung des Dispersionsgesetzes vollkommen ausreichend ist. Ein Polynom 2. Grades (ein parabolisches Gesetz) liefert in diesem Fall bereits ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis. Es ist wichtig zu beachten, dass dies nicht für alle Spektrographen gilt, insbesondere nicht für den Alpy600, der aufgrund des Vorhandenseins eines „Grisms“ (einer Kombination aus einem Beugungsgitter und einem Prisma, das eine spezifische spektrale Dispersionsnichtlinearität erzeugt) etwas schwieriger zu kalibrieren sein kann.

Tipp: Die Qualität der Spektralkalibrierung hängt von einer ausreichend hohen Überabtastung des beobachteten Spektrums ab. Daher sind Kameras mit kleinen Pixeln im Vorteil. Es mag kontraintuitiv erscheinen, aber die übermäßige Verwendung von 2x2-Pixel-Binning zum Zeitpunkt der Erfassung ist in den meisten Situationen ein Fehler. Bevorzugen Sie bei CMOS-Sensoren immer 1x1-Binning. Gleichzeitig wird auch die Filterung von nicht-gaußschen Rauschanteilen effektiver sein.

## 9. Verbesserung der Spektralkalibrierung und Beschleunigung des Verfahrens

Die Genauigkeit der Spektralkalibrierung kann verbessert werden. Anstatt sich auf die manuelle Bestimmung der Linienmitten zu verlassen, lassen wir specINTI eine genauere Messung vornehmen, die auf einen Bruchteil eines Pixels genau ist. Dazu wird das Profil jeder Linie angepasst, um eine wahrscheinlichere Mitte zu finden (unter Berücksichtigung der Form der Absorptionslinien). Dazu verwenden wir den speziellen Modus -1. Dieser Modus erhöht nicht nur die Genauigkeit, sondern automatisiert auch die Extraktion des Spektralprofils und dessen Glättung. In diesem Zusammenhang sind Tools wie „conf\_extract\_raw“ oder „conf\_remove\_continuum“ nicht mehr erforderlich. Die Berechnung des Dispersionspolynoms ist dann viel einfacher und schneller. Dies ist zweifellos der bevorzugte Modus, wenn Sie einen Spektrografen anhand eines mit ihm aufgenommenen Sternspektrums kalibrieren möchten. Hier ist die entsprechende Konfigurationsdatei („conf\_compute\_poly2.yaml“):

```
# *****

# CONF_COMPUTE_POLY2

# Calculation of the dispersion polynomial based on a set of absorption lines

# whose position is evaluated by the software to a fraction of a pixel.

# Using mode -1

# *****

#-----

# Working directory

#-----

working_path: D:/starex340

#-----

# Processing batch file

#

#-----

batch_name: 10Lac

#-----

# Search and calibration of a set of absorption lines

#-----

calib_mode: -1

#-----

# Order of the dispersion polynomial to be evaluated#

#-----
```

```
fit_order: 3
#-----
# Wavelengths of measured points
#-----
fit wavelength: [3770.63, 3797.90, 3835.39, 3889.05, 3970.08, 4026.19, 4101.75, 4340.48,
4685.68, 4861.34, 4921.93, 5875.61, 6562.81, 6678.15, 7065.19]
#-----
# Measured points' coordinates (approximations)
#-----
fit_posx: [178, 196, 220, 255, 307, 343, 392, 547, 769, 883, 922, 1536, 1976, 2050, 2297]
#-----
# Search interval for absorption lines
#-----
search_wide: 8
#-----
# Binning height
#-----
bin_size : 30
#-----
# Sky background calculation zones
#-----
sky: [160, 20, 20, 160]
#-----
# Order of the polynomial to be evaluated
#-----
poly_order: 3
#-----
# Binning width
#-----
bin_size: 30
#-----
```



# Geometric parameter calculation area

#-----

xlimit: [600, 1800]

#-----

# Output format (0: compact, 1: expanded)

#-----

check\_mode: 1

Die Parameter sind bereits diejenigen, die im manuellen Modus verwendet werden, jedoch in einer einzigen Konfigurationsdatei zusammengefasst. Eine weitere wichtige Nuance: Die durch den Parameter „fit\_posx“ bereitgestellten Werte sind nun nur noch Annäherungswerte (Positionen von Linien bei +/- 4 Pixeln, da der Wert des Parameters „search\_wide“ auf 8 gesetzt ist, ein Toleranzbereich in Pixeln für die Suche nach Absorptionslinien). Es ist specINTI, das diese Positionen für Sie verfeinert.

Hier ist das berechnete Polynom mit dem zugehörigen Fehler:

```
Line coordinates find:
[ 179.67774178  196.86153141  221.45224697  256.21705029  308.41947413
  344.89519673  393.58831445  547.77860381  770.30299539  883.7254091
  922.72643671 1536.72803631 1977.08720072 2051.27596072 2298.3270732 ]
Calibration coefficients:
calib_coef: [1.085594959858908e-09, 5.813166788913862e-07, 1.5472939986711927,
3494.266662841573]
Computed wavelength:
[3770.75841205 3797.352492  3835.41098395 3889.21838427 3970.0214486
 4026.48653726 4101.87148859 4340.6451703  4685.442875  4861.30205269
 4921.79242928 5875.79242459 6562.50147892 6678.44630736 7065.13751516]
O-C: [-0.128  0.548 -0.021 -0.168  0.059 -0.297 -0.121 -0.165  0.237  0.038
  0.138 -0.182  0.309 -0.296  0.052]
Root Mean Square Error = 0.2272 A
End.
```

Tipp: Im Laufe der Zeit, von Tag D bis Tag D+n, ist es aufgrund der evolutionären Natur eines Spektrografen nicht ungewöhnlich, dass sich das optische Bild des Spektrums auf der Oberfläche des Detektors verschiebt. Die Verschiebung entlang der räumlichen Achse ist nicht sehr kritisch, aber die entlang der spektralen Achse (der Wellenlängenachse) ist etwas heikler. Eine Spektralverschiebung bedeutet Änderungen der im Parameter „fit\_posx“ angegebenen Werte. Dies führt zu einer globalen Verschiebung, beispielsweise werden die Werte [178, 196, 220, ...] zu [168, 186, 210, ...]. Es ist klar, dass sich das Spektrum um 10 Pixel nach links verschoben hat.

Anstatt alle Werte im Argument „fit\_posx“ manuell neu einzugeben, um sie zu aktualisieren, was mühsam wäre, behalten Sie die ursprünglichen Werte dieses Parameters bei und fügen Sie einen neuen Parameter an einer beliebigen Stelle in der Konfigurationsdatei hinzu (am Anfang, in der Mitte oder am Ende): den Parameter „shift\_posx“. In unserem Beispiel beträgt die Verschiebung gegenüber der Referenzmessung -10 Pixel, sodass Sie einfach Folgendes schreiben können:

```
#-----
```

```
# Accounting for a spectral shift
```

```
#-----
```

```
Shift_posx : -10
```

Keine Sorge, dieser Wert muss nicht sehr genau bekannt sein (die Pixeltoleranz wird durch den Wert des Parameters „search\_wide“ angegeben, denken Sie daran, im Beispiel sind es 8 Pixel (ein typischer empfohlener Wert, der das Ergebnis der Berechnung mehr oder weniger beeinflussen kann)).

## 10. Das Spektrum der Stufe 1

Nachdem wir nun das polynomiale Dispersionsgesetz kennen, können wir uns den ernsteren und interessanteren Aufgaben zuwenden. Unsere Aufgabe besteht darin, ein Spektralprofil zu berechnen, das nach Wellenlängen statt nach Pixelzahlen abgestuft ist. Das Ergebnis ist ein Spektralprodukt namens Stufe 1, das einem echten Spektrum viel ähnlicher ist.

Wir verwenden die Konfigurationsdatei „conf\_level1\_mode1“:

```
# *****
```

```
# CONF_LEVEL1_MODE1
```

```
# Wavelength-calibrated spectrum extraction via polynomial (mode 1)
```

```
# Level 1 processing
```

```
# *****
```

```
#-----
```

```
# Working directory #
```

```
#-----
```

```
working_path: D:/starex340
```

```
#-----
```

```
# Batch processing file #
```

```
#-----
```

```
batch_name: 10Lac
```

```
#-----
```

```
# Calibration from polynomial only (no reference spectrum) #
```

```
#-----
```

```
calib_mode: 1
```

```
#-----
```

```
# Coefficients of the spectral calibration polynomial #
```

```
#-----
calib_coef: [1.3697786967858392e-09, 4.7375755940865985e-07, 1.5459285880960587,
3495.239344027813]
#-----
# Binning width #
#-----
bin_size: 30
#-----
# Sky calculation areas #
#-----
sky: [160, 20, 20, 160]
#-----
# Area for calculating geometric parameters #
#-----
xlimit: [600, 1800]
#-----
# Normalization to unity range #
#-----
norm_wave: [6620, 6640]
#-----
# Cropping zone for the profile #
#-----
crop_wave: [3650, 7150]
#-----
# Estimated resolution power #
#-----
power_res: 800
#-----
# Output format (0: compact, 1: expanded) #
#-----
check_mode: 1
```

Wir finden die Koeffizienten des zuvor berechneten Polynoms als Argument für den Parameter „calib\_coef“ (Sie können sie aus der Ausgabekonsole kopieren und einfügen).

Der Parameter „norm\_wave“ gibt an, dass wir die Intensität auf der Grundlage der durchschnittlichen Intensität zwischen den Wellenlängen 6620 Å und 6640 Å auf eins normieren möchten. Was genau bedeutet das?

Was bedeutet das? Im verarbeiteten Profil werden Sie feststellen, dass die Intensität des Spektrums im Bereich der Wellenlängen 6620 Å - 6640 Å nahe dem Wert 1 liegt. Natürlich variieren die Intensitäten auf beiden Seiten, aber sie werden relativ zu diesem Einheitswert ausgedrückt. Dies ist viel verständlicher als die Einstufung des Spektrums anhand der Rohbildeinheiten (ADU, „Analog Digital Unit“). Beispielsweise ist es viel einfacher, die Stelle im Spektrum zu erkennen, an der das Signal doppelt so intensiv ist wie der gewählte Referenzpunkt.

Tipp: Der mit dem Parameter „norm\_wave“ definierte Referenzpunkt wird idealerweise in einem Bereich des Spektrums ausgewählt, der wenige Spektrallinien aufweist und in dem das Kontinuum relativ gleichmäßig erscheint. Es wird empfohlen, diesen Referenzpunkt ein für alle Mal festzulegen und beizubehalten. Auf diese Weise können Sie die relative Spektralintensität verschiedener Objekte, für die Sie das Spektrum erhalten haben, leicht vergleichen.

Das Spektrum wird zwischen den Wellenlängen von 3700 Å und 7150 Å beschnitten, die zu diesem Zeitpunkt als gültig angenommen werden (Parameter „crop\_wave“).

Beachten Sie, dass es unbedingt erforderlich ist, einen geschätzten Wert für die spektrale Auflösungsleistung („power\_res“) anzugeben. Tatsächlich verfügt SpecINTI im Kalibrierungsmodus 1 nicht über die Möglichkeit, diesen Wert automatisch zu bestimmen, da während der Verarbeitung kein Emissionslinienspektrum verwendet wird, obwohl dies die einzige Methode ist, um einen zuverlässigen Wert für die Auflösungsleistung zu erhalten, indem die Breite der schmalen Linien an ihrer Basis gemessen wird. Ein geschätzter Wert für die Auflösungsleistung ist erforderlich, um korrekt zu komplettieren.

Das Ergebnis ist das Spektrum mit dem Namen „\_10lac\_20230727\_107.fits“, das wie das vorherige, Level #0, aussieht, nun jedoch in der Wellenlänge kalibriert ist.

Hinweis: Die Namen der von SpecINTI verarbeiteten Dateien beginnen immer mit dem Zeichen „\_“, wodurch sie leichter von Rohdateien zu unterscheiden sind und die Sortierung vereinfacht wird. Außerdem ist im Dateinamen das Datum des ersten Bildes der Sequenz angegeben.

## 11. Vorbereitung der Daten für die Bewertung der spektralen Empfindlichkeit

Angenommen, das Instrument hat im blauen Bereich eine höhere Empfindlichkeit als im roten Bereich, d. h. es erfasst im blauen Bereich einen größeren Lichtfluss als im roten Bereich. In diesem Fall erzeugt das Instrument eine künstlich höhere Intensität im blauen Bereich und eine geringere Intensität im roten Bereich. Keiner dieser Effekte spiegelt die tatsächliche spektrale Intensitätsverteilung des Sterns wider. Um eine originalgetreue Darstellung zu erhalten, sollte das Instrument (einschließlich der Atmosphäre) auf alle Wellenlängen gleichmäßig reagieren, was wir als „flache Empfindlichkeit“ bezeichnen. Dies ist jedoch bei weitem nicht der Fall.

Die nächsten Schritte bestehen darin, die instrumentelle Reaktion als Funktion der Wellenlänge für den einfallenden Fluss zu bestimmen und dann das Spektrum der Stufe 1 durch diese Reaktionskurve zu dividieren. Damit gelangen wir wieder zu der idealen Situation einer flachen instrumentellen Reaktion, allerdings durch Berechnung. Dies führt zu einem in relativem Fluss kalibrierten Spektrum, das als Stufe 2 bezeichnet wird.

Es ist wichtig zu beachten, dass, wenn das Instrument selbst zur Verzerrung des tatsächlichen Signals des Sterns beiträgt, auch unsere Atmosphäre, durch die das Licht des Sterns wandert, bevor es das Teleskop erreicht, eine Rolle spielt. Wir wissen, dass sie die Rötung der Sternfarben verursacht, wie beispielsweise bei der Sonne, wenn sie sich dem Horizont nähert.

Wir müssen jedoch darauf achten, die Beiträge des Instruments und der Atmosphäre voneinander zu trennen, da sie später unterschiedlich behandelt werden. Der Grund dafür ist einfach: Die intrinsische Reaktion des Instruments auf spektrale Strahlung bleibt konstant (es handelt sich um eine instrumentelle Konstante), während die atmosphärische Transmission je nach Zeitpunkt und Höhe des Sterns stark variiert.

Wir haben bereits das Referenzspektrum von 10 Lac verwendet (in der SpecINTI-Datenbank trägt es den Namen „c\_10lac.fit“ von Calspec). Die Datei sollte sich also bereits im Arbeitsverzeichnis befinden.

Hinweis: Informationen zu Calspec finden Sie unter:

<https://www.stsci.edu/hst/instrumentation/reference-data-for-calibration-and-tools/astronomical-catalogs/calspec>.

In Abschnitt 20 dieser Toolbox erklären wir, wie Sie die noch umfangreichere Melchior-Spektrumbibliothek nutzen können, die hier denselben Zweck erfüllen kann.

Die Intensitäten in diesem Referenzspektrum sind in Energieeinheiten ( $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$ ) angegeben, was den Vergleich mit unserem Spektrum, das in relativen Intensitäten angegeben ist, erschwert. Daher wird empfohlen, das Referenzspektrum an derselben Stelle wie das beobachtete Spektrum (hier zwischen 6620 und 6640  $\text{\AA}$ ) auf Eins zu normieren. Verwenden Sie zu diesem Zweck das Dienstprogramm „conf\_make\_norm“:

```

# *****

# CONF_MAKE_NORM

# Normalize a spectrum to unity

# *****

#-----

# Working directory #

#-----

working_path: D:/starex340

#-----

# Spectral range normalization to unity #

#-----

_pro_norm: [c_10lac, 6620, 6640, _ref]

```

Führen Sie das Programm aus. Nach der Berechnung, die einfach und schnell ist, befindet sich das Ergebnis in der Datei mit dem Namen „\_ref.fits“ (eine willkürliche Wahl, aber praktisch, da sie kurz ist und aussagekräftig).

Die instrumentelle Reaktion erhält man, indem man das scheinbare beobachtete Profil durch das reale Profil unseres Sterns (außerhalb der Atmosphäre) dividiert, d. h. das „\_ref“-Spektrum. So erhalten wir die Leistungskarte unseres Instruments, d. h. wie es das ursprüngliche Signal verändert.

Wir entwickeln die Konfigurationsdatei der Stufe 1 (spektrale Kalibrierung) zur Konfigurationsdatei der Stufe 2 (spektrale Kalibrierung + Korrektur der instrumentellen Reaktion) weiter. Die Umwandlung ist einfach. In der Distribution dieser Toolbox ist das Ergebnis eine Konfigurationsdatei namens „conf\_level2\_mode1.yaml“. Sie können sie unverändert verwenden, mit Ausnahme einer obligatorischen vorübergehenden Änderung, die jetzt vorgenommen werden muss: Sie müssen die Zeile mit dem Parameter „instrumental\_response“ auskommentieren, indem Sie ein „#“ vor den Namen setzen:

```

#-----

# Instrumental response #

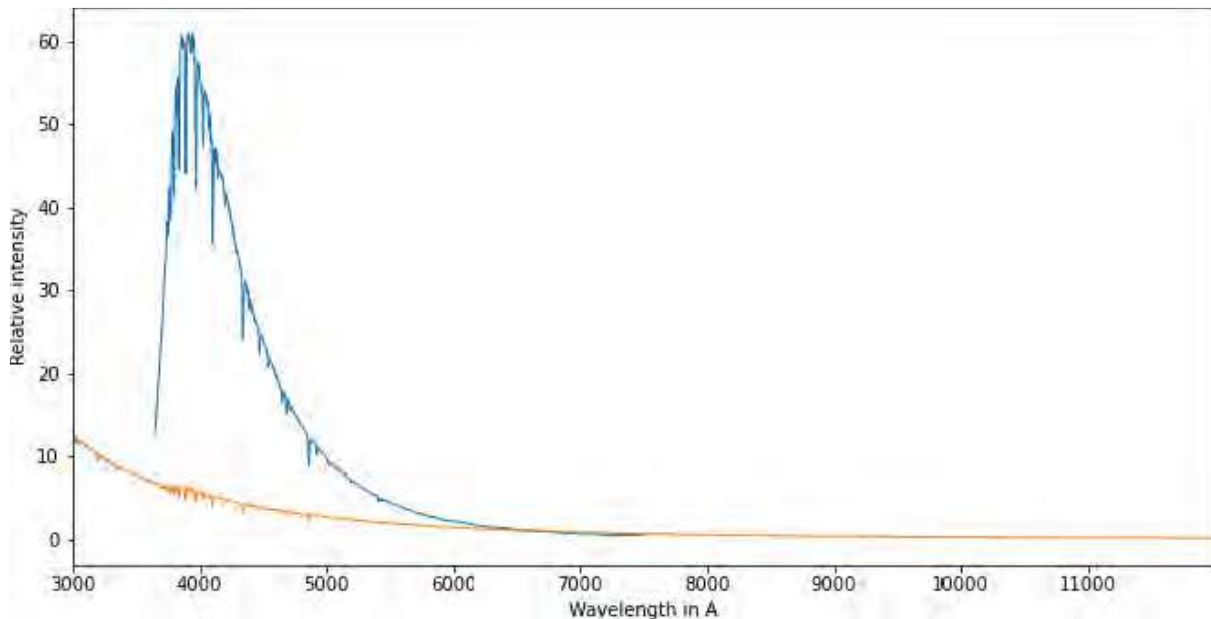
#-----

#instrumental_response: _rep340

```

Wir werden Schritt für Schritt die Änderungen in der Konfigurationsdatei der Stufe 1 beschreiben, um sie in die Stufe 2 zu konvertieren.

Vergleichen wir zunächst unser Spektrum der Stufe 1 mit dem erwarteten Spektrum des Sterns 10 Lac (genauer gesagt mit dem Profil „\_ref.fits“):



In Blau ist das beobachtete Spektrum (Stufe 1) dargestellt, in Orange das Referenzspektrum des Sterns. Es gibt eine sehr große Diskrepanz, insbesondere im blauen Bereich, die später zu Unsicherheiten führen kann.

Daher werden wir diese Diskrepanz reduzieren, indem wir Folgendes berücksichtigen: (1) die atmosphärische Transmission, (2) die Farbtemperatur der verwendeten Flat-Field-Lampe.

Was die atmosphärische Transmission angeht, ist die Sache einfach. SpecINTI kann diese anhand der Koordinaten des Himmelskörpers und des Datums automatisch berechnen. Anschließend korrigiert die Software das scheinbare Spektrum so, dass es dem entspricht, was wir ohne Atmosphäre sehen würden. Dies ist das Spektrum „ohne Atmosphäre“.

Dazu müssen wir specINTI mitteilen, wo wir uns auf der Erde befinden, indem wir die folgenden Zeilen zur Konfigurationsdatei hinzufügen:

```
#-----  
# Longitude of the observation site #  
#-----  
longitude: 7.040  
#-----  
# Latitude of the observation site #  
#-----  
latitude: 43.5801  
#-----  
# Altitude of the observation site in meters #  
#-----  
altitude: 40
```

Wir nutzen diese Gelegenheit auch, um weitere Informationen bereitzustellen, die in den Header der erstellten FITS-Dateien aufgenommen werden, wodurch diese mit Datenbanken (wie BeSS) kompatibel werden:

```
#-----
```

```
# Observation site #
```

```
#-----
```

```
site: Antibes Saint-Jean
```

```
#-----
```

```
# Instrument description #
```

```
#-----
```

```
inst: T150 + StarEx_LR + ASI533MM
```

```
#-----
```

```
# Observer #
```

```
#-----
```

```
observer: cbuil
```

To correct our spectra for atmospheric transmission, simply add two more lines to the configuration file:

```
#-----
```

```
# Access to SIMBAD #
```

```
#-----
```

```
simbad: 1
```

```
#-----
```

```
# Atmospheric transmission correction #
```

```
#-----
```

```
corr_atmo: 0.13
```

Der Wert 1 für den Parameter „simbad“ gibt an, dass wir die äquatorialen Koordinaten des Objekts anhand seines Namens in der SIMBAD-Datenbank abrufen (und nicht aus dem Header der FITS-Bilddateien). Der Standardwert für diesen Parameter ist 0, was bedeutet, dass keine Aktion durchgeführt wird. Der zweite Parameter gibt an, dass wir eine Korrektur mit einem Transparenzparameter für die optische Tiefe von Aerosolen (AOD) von 0,13 durchführen möchten. Dies ist ein etwas universeller Wert.

Tipp: Wenn Sie das Spektrum eines Objekts erstellen, dessen Name von SIMBAD nicht erkannt wird (ein Komet, eine Nova usw.), können Sie den Namen eines Objekts in der Nähe des Ziels angeben, das von SIMBAD identifiziert wird. Dies geschieht über den Parameter „near\_star“. Fügen Sie beispielsweise die folgende Zeile hinzu (aber denken Sie daran, sie zu entfernen oder ein „#“ davor zu setzen, wenn Sie ein anderes Objekt verarbeiten!):



near\_star : epsilon Peg

Die Farbe des von der Wolframlampe ausgestrahlten Lichts, das zur Erzeugung des Flat-Field-Masterbildes verwendet wird, ist weit von Weiß entfernt: Sie ist viel rötlicher als blau. Um eine repräsentative Reaktion des Instruments zu erhalten, die sich leicht modellieren lässt, müssen wir diese Tatsache berücksichtigen (in diesem Fall eine Farbtemperatur von 2700 K), die eine Kalibrierungsabweichung darstellt. Wir fügen einen Parameter in die Konfigurationsdatei ein, der die spektrale Verteilung dieser Lampe berechnet und an die einer „perfekt“ weißen Quelle angleicht:

```
#-----
```

```
# Color temperature of the tungsten lamp #
```

```
#-----
```

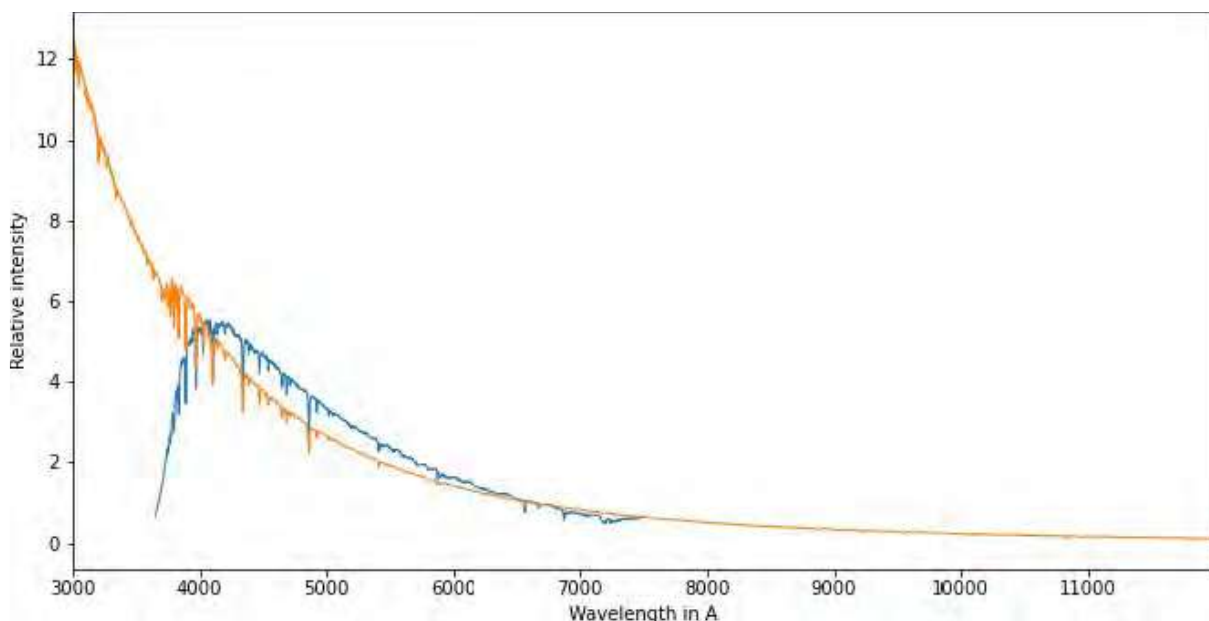
```
planck: 2700
```

Es ist wichtig zu verstehen, wie das Flat-Field erhalten wurde: auf dem Tisch (außerhalb des Teleskops), indem der Eingangsspalt des Spektrografen mit einer Halogen-Taschenlampe ausreichend beleuchtet wurde. Siehe:

Abschnitt 5.4 dieser Seite: [http://www.astrosurf.com/solex/specinti2\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/specinti2_en.html)

In Abschnitt A1 dieser Seite: [http://www.astrosurf.com/solex/specinti\\_annexe\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/specinti_annexe_en.html)

Starten Sie die Software (achten Sie darauf, die Zeile „instrumental\_response“ auszukommentieren, wenn Sie die Originaldatei „conf\_level2\_mode1.yaml“ verwenden). Hier ist das Ergebnis:



Diese beiden Profile liegen viel näher beieinander, außer bei Wellenlängen unter 4000 Å, wo die Empfindlichkeit des Instruments abfällt. Es gibt jedoch eine deutliche Verbesserung, was zeigt, dass die Farbtemperatur der Flat-Field-Lampe einen starken Einfluss hat, der berücksichtigt werden muss (insbesondere bei der Spektroskopie mit niedriger Auflösung).

## 12. Die Flat-Field-Verschiebung

Das Flat-Field-Bild muss nachbearbeitet werden. Die Untersuchung des beobachteten Profils zeigt tatsächlich ein Phänomen von Schwankungen im Kontinuum, insbesondere im roten Teil des Spektrums. Diese Struktur wird eindeutig vom Instrument erzeugt (das tatsächliche Kontinuum des Sterns 10 Lac ist sehr gleichmäßig).

Der Ursprung dieser Schwingungen, die eine Modulation von bis zu 5 % aufweisen können, liegt in der Quanteneffizienz des Detektors, der ähnliche Schwankungen aufweist, wie das Masterbild „\_flat“ zeigt:

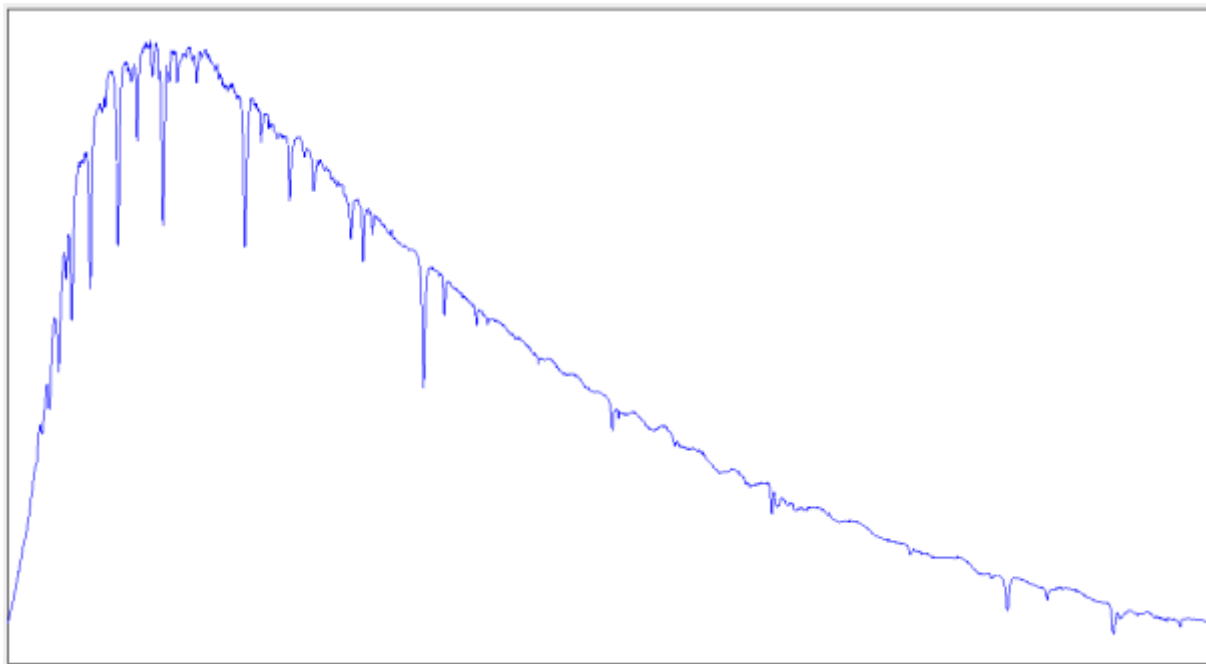


Das Problem besteht darin, dass zwischen dem Zeitpunkt, zu dem wir die Spektren des Sterns 10 Lacertae mit dem Teleskop aufgenommen haben, und dem Zeitpunkt, zu dem wir die Flat-Field-Aufnahme auf dem Tisch durchgeführt haben, der Spektrograph aufgrund von Einflüssen wie Schwerkraft und Temperaturschwankungen Verformungen erfahren hat. Wir haben diese Schwierigkeit vorausgesehen: Bei der Erfassung der Spektren des Sterns 10 Lacertae haben wir eine Belichtung mit einer Neon-Emissionslinienlampe (einem elektrischen Nachtlcht) hinzugefügt, die vor dem Teleskop platziert wurde (sie wurde hier einfach mit der Hand vor dem Teleskop hin- und herbewegt). In ähnlicher Weise haben wir bei der Aufnahme für das Flat-Field eine Lampe desselben Typs vor dem Eingang des Spektrografen platziert, um ein gleichwertiges Bild zu erhalten.

Das Ergebnis dieser Maßnahmen wird in zwei Bilder übersetzt, die jeweils „10lac\_neon-1.fits“ und „tung\_neon-1“ heißen. Durch Messen der Position der Neonlinien mit dem Mauszeiger zwischen diesen beiden Dokumenten beobachten wir eine Verschiebung in X (Spektralachse) von etwa +10 Pixeln im Wolfram-Bild im Vergleich zum Bild, das vom Himmel aufgenommen wurde. Diese Verschiebung um +10 Pixel ist für das Phänomen der „Farbsäume“ verantwortlich. Das Flat-Field wird daher aufgrund von instrumenteller Verformung, die zwischen den beiden Aufnahmen auftrat.

Um diesen Fehler zu korrigieren, weisen Sie SpecINTI vor der Verarbeitung des Spektrums an, die Verschiebung über das Menü „Erweiterte Modi“ im SpecINTI-Editor (Feld „Flat Shift List“) zu berücksichtigen:

[Bild oder grafische Darstellung der Benutzeroberfläche des SpecINTI-Editors mit den Einstellungen für die erweiterten Modi]

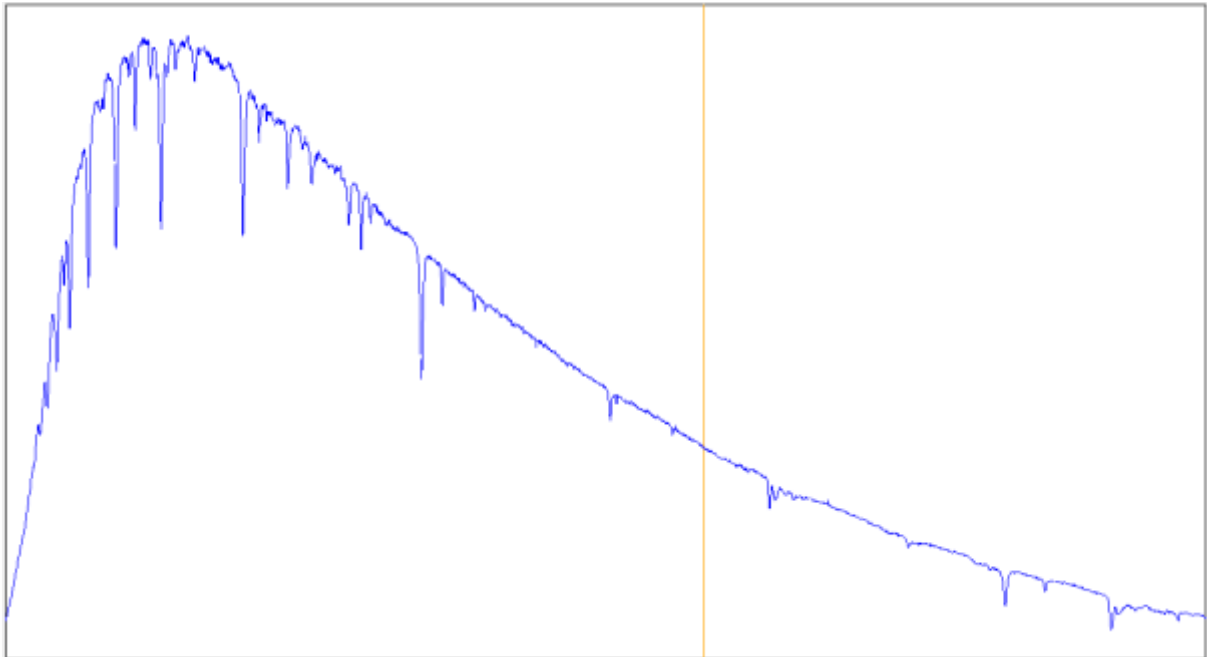


Liste objets :	10 Lac		
Liste images :	10Lac-		
Nb image par objet :	12		
Liste calibration :	10Lac_neon-		
Nb image calibration :	1		
▼ Mode avancé			
Liste fichiers trans atm :	None		
Liste décalage flat :	-10		
Fichier(s) Offset :	<input type="text" value="_offset"/>	nb :	<input type="text" value="0"/>
Fichier(s) Dark :	<input type="text" value="n900-"/>	nb :	<input type="text" value="13"/>
Fichier(s) Flat :	<input type="text" value="tung-"/>	nb :	<input type="text" value="50"/>
Fichier Img postfix :	<input type="text" value="-"/>		
Fichier Cal prefix :	<input type="text"/>		
Fichier Cal postfix :	<input type="text" value="_neon-"/>		
Fichier observations à sauver :	<input type="text" value="10Lac"/>	<input type="button" value="Sauver"/>	

Beachten Sie drei Dinge: (1) Berücksichtigen Sie das Vorzeichen der Verschiebung; wenn Sie einen Fehler machen, werden Sie dies schnell bemerken, da die Korrektur überhaupt nicht funktioniert und Sie das Vorzeichen ändern müssen. (2) Der Wert dieser Verschiebung ist von einer Beobachtung zur nächsten in Wert und Vorzeichen ziemlich konstant. (3) Der SpecINTI Editor merkt sich den Wert dieser Verschiebung, solange Sie ihn nicht ändern, was die Verarbeitung nachfolgender Objekte vereinfacht.

Führen Sie die Verarbeitung unter Berücksichtigung der instrumentellen Verschiebung erneut durch.

In der folgenden Grafik sehen Sie das Spektrum vor der Korrektur der Flat-Field-Verschiebung: In der folgenden Grafik sehen Sie das Ergebnis nach Anwendung der Verschiebung:



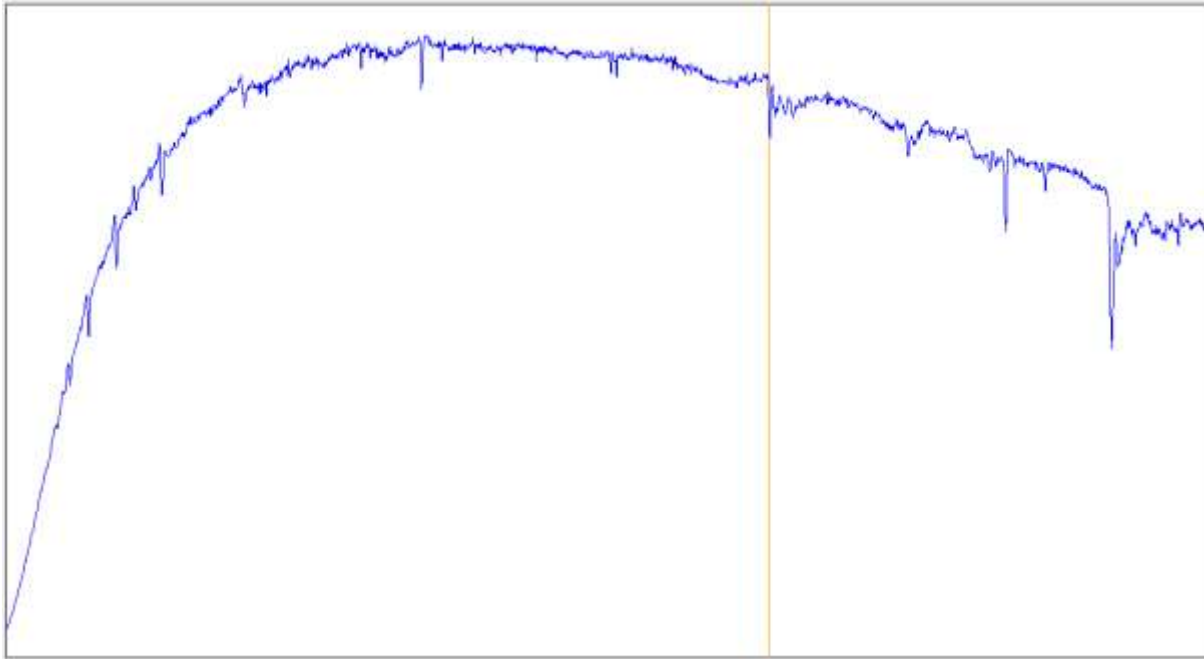
Der Vorgang ist ein Reflex, den man entwickeln muss. Er hängt stark davon ab, wie das Flatfield aufgenommen wird (außerhalb des Teleskops und mit einer Zeitverzögerung, um während der Beobachtungen wertvolle Minuten zu gewinnen). In der Praxis stellt sich heraus, dass die soeben beschriebene Nachbearbeitung eine Kleinigkeit ist im Vergleich zu den Einschränkungen, die oft mit der Erfassung des Flatfields bei Nacht mit einer echten Wolframlampe verbunden sind (auf keinen Fall mit einem LED-Panel, das eine stark verzerrte Spektralverteilung aufweist und daher ungeeignet ist).

Das soeben erhaltene Spektrum ist ein Zwischenergebnis. Nun müssen wir die tatsächliche instrumentelle Reaktion ermitteln.

### 13. Berechnung der instrumentellen Reaktion

Zu diesem Zeitpunkt verfügen wir über ein Spektralprofil des Sterns 10 Lac mit einer gut angewendeten Flat-Field-Korrektur und einer Korrektur für die atmosphärische Transmission. Gleichzeitig haben wir ein Referenzspektrum desselben Objekts (Quelle: NASA CalSpec), das dem entspricht, was wir erreichen wollen.

Die spektrale Empfindlichkeit erhält man, indem man das erste durch das zweite dividiert. Wenn wir diese Berechnung durchführen (wie das geht, sehen wir in wenigen Zeilen), erhalten wir folgendes Ergebnis:



Das allgemeine Erscheinungsbild einer instrumentellen Reaktion ist korrekt (aus Erfahrung!). Es gibt jedoch Rauschen und Rückstände der Spektrallinien des Sterns. Im tiefen Rot beobachten wir sogar die spektrale Signatur des O<sub>2</sub>-Moleküls bei etwa 6900 Å – zweiatomiger Sauerstoff – aus unserer Atmosphäre, intakt, da es im Referenzspektrum nicht vorhanden ist (die Teilung hat es also nicht entfernt).

Wir können viel bessere Ergebnisse erzielen, indem wir ein kleines Dienstprogramm verwenden, das als Folge von Funktionen dargestellt wird. Natürlich dreht sich alles um die Aufteilung zweier Profile. Dies ist die Datei „conf\_make\_response.yaml“, die Sie nach Ihren Wünschen anpassen können:

```
# *****
# CONF_MAKE_RESPONSE
# Calculation of the instrumental response
# *****
#-----
# Working directory #
#-----
working_path: D:/starex340
#-----
# Remove telluric lines, divide by reference, smooth #
#-----
_begin:
_pro_clean: [_10lac_20230727_107, 6850, 6990, tmp1]
_pro_div: [tmp1, _ref, tmp2]
```

```
_pro_blur2: [tmp2, 1000, _rep340]
```

```
_end:
```

Bevor wir das beobachtete Spektrum durch das Referenzspektrum des Sterns dividieren, löschen wir die Details des Spektrums zwischen 6850 Å und 6990 Å, einem Bereich, der den Absorptionsbanden von O2 entspricht, mit einer linearen Interpolation zwischen diesen Punkten. Dies ist der Zweck der Funktion „\_pro\_clean“. Nach dieser Funktion erstellen wir eine Zwischendatei „tmp1“ im Arbeitsordner.

Tipp: Sie können mehrere „\_pro\_clean“-Funktionen hintereinander einfügen, um so viele Details wie möglich zu löschen, die Sie stören. Sie müssen jedoch die Namen der betreffenden Funktionen indizieren: \_pro\_clean2, \_pro\_clean3, ... Beispiel (achten Sie genau auf die Verwendung der Zwischendatei „tmp1“):

```
_pro_clean: [_10lac_20230727_107, 6850, 6990, tmp1]
```

```
_pro_clean2: [tmp1, 6540, 6580, tmp1]
```

Dann erfolgt die Division über die Funktion „\_pro\_div“. Die drei Terme in dieser Funktion sind:

- Der Name des beobachteten Profils vor der Korrektur der instrumentellen Reaktion.
- Der Name des Referenzprofils.
- Der Name des Profils der instrumentellen Reaktion.

Nach der Division wird das Ergebnis geglättet, um Unebenheiten, die nicht mit der effektiven Antwort zusammenhängen, sowie Rauschen zu beseitigen. Dies ist der Zweck der Funktion „\_pro\_blur2“. Je größer der Wert des Parameters, desto stärker ist die Glättung.

Die gesuchte spektrale Antwort ist in der Datei „\_rep340“ enthalten.

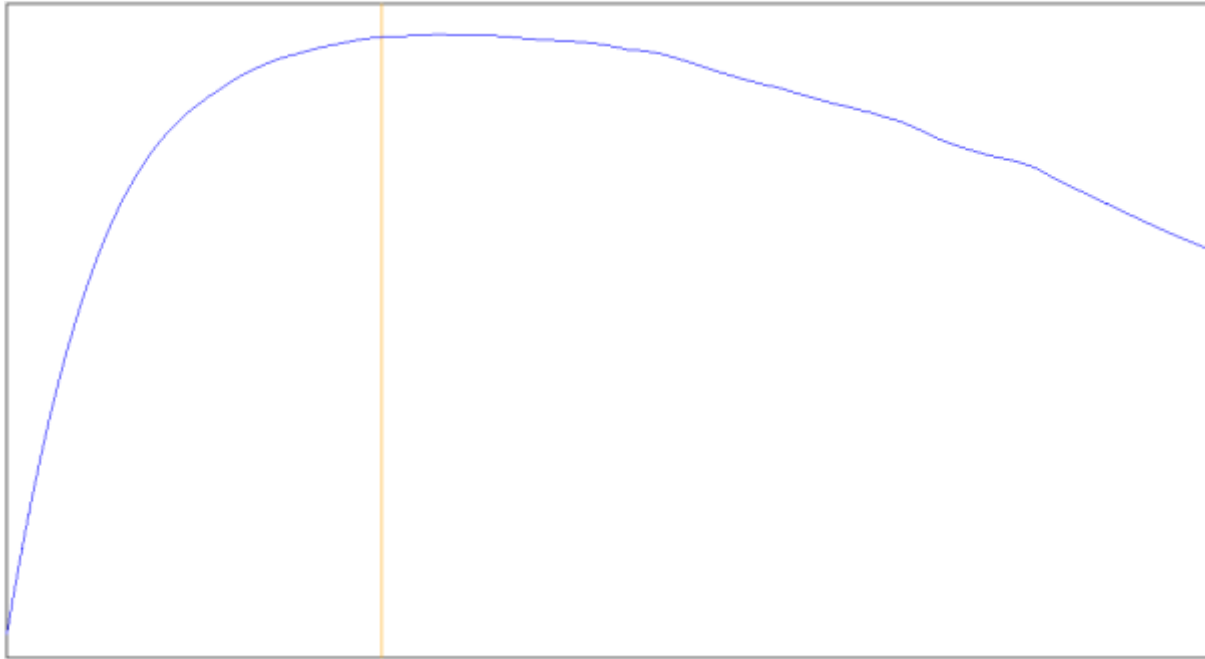
Tipp: Es empfiehlt sich, den Namen der Antwortdatei mit der Wurzel „\_rep“ zu beginnen und anschließend die Nummer der Nacht anzugeben (hier die 340. Nacht mit der beschriebenen Konfiguration). Auf diese Weise lassen sich die Antwortdateien von einer Nacht zur nächsten, von einem Monat zum nächsten usw. unterscheiden, was nützlich ist, wenn eine Veränderung beobachtet wird.

Beachten Sie die Erstellung von Zwischendateien, tmp1, tmp2, die mit den verschiedenen Phasen verbunden sind.

Sie werden nicht gelöscht, und Sie können sie zur Überprüfung der Vorgänge einsehen.

Nachstehend finden Sie die mit der beschriebenen Methode berechnete spektrale Antwort, „\_rep340.fits“:

[Grafische Darstellung der berechneten spektralen Antwort „\_rep340.fits“]



Aus der Ferne mag das kleine Dienstprogramm „conf\_make\_response.yaml“ komplex erscheinen, aber in Wirklichkeit ist seine Verwendung unmittelbar und sehr schnell. Beachten Sie, dass Sie mit dem SpecINTI Editor über die Registerkarte „Response“ dieselben Vorgänge interaktiv ausführen können.

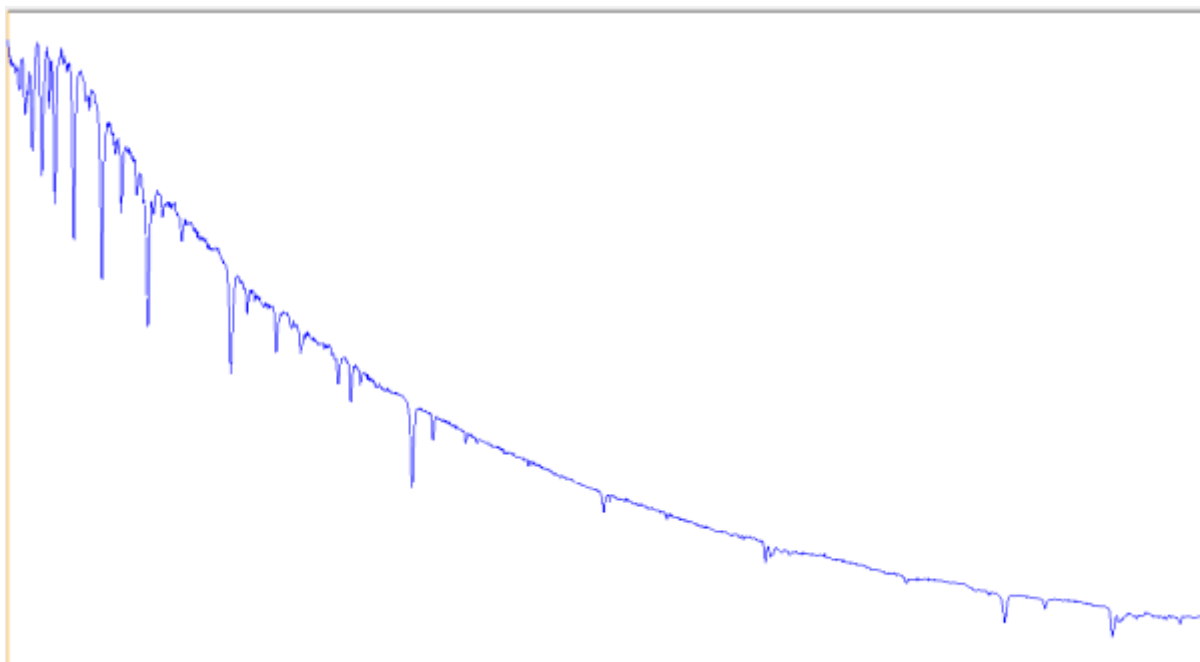
Die erhaltene Antwortkurve entspricht der Kurve, die wir erhalten würden, wenn sich unser Instrument im Weltraum befände. Daher wird sie nicht durch die atmosphärische Transmission, durch den Unterschied in der Winkelhöhe von Himmelskörpern usw. beeinflusst. Sie erweist sich als sehr stabil, wenn Sie das Instrument nicht zerlegen. Die zuvor beschriebenen Vorgänge rund um die Antwort sind daher nur sehr sporadisch durchzuführen.

## 14. Das Spektrum der Stufe 2

Nun muss nur noch die spektrale Empfindlichkeit des Instruments bei der Bearbeitung berücksichtigt werden. Aktivieren Sie die folgende Zeile in der Datei „conf\_level2\_mode1.yaml“:

```
instrumental_response: _rep340
```

Sobald Sie den Parameter „instrumental\_response“ mit dem Namen der Instrumentalantwortdatei definieren, wird die Korrektur der Instrumentalantwort automatisch angewendet. Hier ist das Endergebnis der Verarbeitung der Daten des Sterns 10 Lac:



### Configuration File

```
# *****
# CONF_LEVEL2_MODE1
# Wavelength-calibrated spectrum extraction via polynomial (mode 1)
# Level 2 processing
# *****
#-----
# Working directory #
#-----
working_path: D:/starex340
#-----
# Batch processing file #
#-----
batch_name: 10Lac
#-----
# Calibration from polynomial only (no standard spectrum) #
#-----
calib_mode: 1
#-----
# Coefficients of the spectral calibration polynomial #
```



```
#-----
calib_coef: [1.3697786967858392e-09, 4.7375755940865985e-07, 1.5459285880960587,
3495.239344027813]
#-----
# Binning width #
#-----
bin_size: 30
#-----
# Sky calculation areas #
#-----
sky: [160, 20, 20, 160]
#-----
# Area for calculating geometric parameters #
#-----
xlimit: [600, 1800]
#-----
# Color temperature of the tungsten flat lamp #
#-----
planck: 2700
#-----
# Requesting access to SIMBAD #
#-----
simbad: 1
#-----
# Atmospheric transmission correction #
#-----
corr_atmo: 0.13
#-----
# Normalization range to unity #
#-----
norm_wave: [6620, 6640]
#-----
```

# Cropping zone for the profile #

#-----

crop\_wave: [3700, 7150]

#-----

# Longitude of the observation site #

#-----

longitude: 7.0940

#-----

# Latitude of the observation site #

#-----

latitude: 43.5801

#-----

# Altitude of the observation site in meters #

#-----

altitude: 40

#-----

# Observation site #

#-----

site: Antibes Saint-Jean

#-----

# Instrument description #

#-----

inst: T150 + StarEx300 + ASI533MM

#-----

# Observer #

#-----

observer: cbuil

#-----

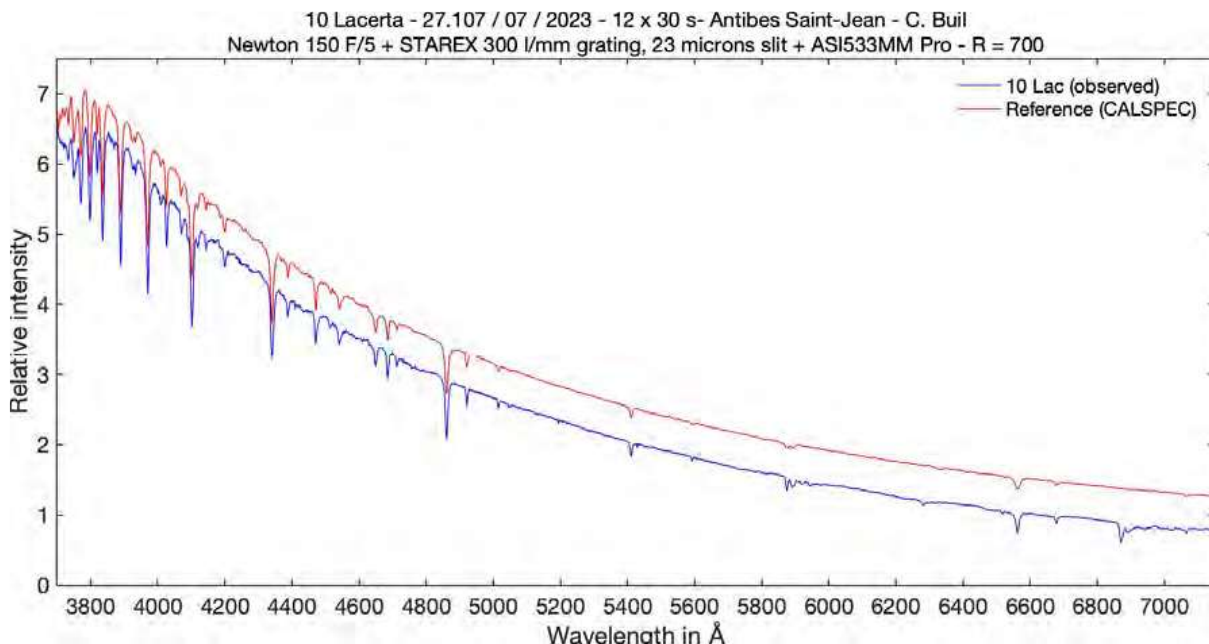
# Resolution power (mandatory in mode 1) #

#-----

power\_res: 800

```
#-----
# Instrumental response #
#-----
instrumental_response: _rep340
#-----
# Output format (0: compact, 1: expanded) #
#-----
check_mode: 1
```

In der folgenden Grafik sind das mit Star'Ex LR auf einem 150-mm-Teleskop beobachtete Spektrum von 10 Lac und das Referenzspektrum dieses Sterns aus der Calpec-Datenbank (spektralphotometrischer Standard) dargestellt. Die Spektren sind bewusst um 0,5 in der Intensität versetzt, um den Vergleich besser lesbar zu machen:



## 15. Kalibrierung mit einer Spektrallampe

Fahren wir nun mit der Bearbeitung eines schwachen Objekts fort, der Galaxie Markarian 917 mit einer Helligkeit von 14,1. Dazu verwenden wir weiterhin die zuvor berechneten spektralen Kalibrierungskoeffizienten, jedoch mit einer Einschränkung.

Obwohl Koeffizienten mit hohen Graden hinsichtlich ihrer Werte als stabil angesehen werden können (sie sind mit dem Konzept des Spektrografen selbst verbunden), hängt der erste Term des Polynoms, „A0“, viel stärker von den Einsatzbedingungen des Spektrografen ab. Wenn sich beispielsweise das Bild des Spektrums aufgrund eines mechanischen Biegeeffekts auf dem Detektor verschiebt, wird in erster Linie dieser Term des Dispersionspolynoms verändert.

Mit anderen Worten: Um hochwertige Präzisionsbeobachtungen durchzuführen, ist es notwendig, diesen sogenannten „konstanten“ Term des Polynoms zu überwachen und zu aktualisieren. In dem verwendeten Polynom beträgt er 3495,24 Å.

Um die zufällige Verschiebung des Spektralbildes entsprechend der Wellenlänge zu berücksichtigen, benötigen wir ein Referenzspektrum, das zur gleichen Zeit wie die Aufnahmen des untersuchten Objekts oder zumindest in einem sehr kurzen Zeitintervall aufgenommen wurde. Im Fall von Mark 917 haben wir zwei Bilder, die jeweils 900 Sekunden lang belichtet wurden. Darüber hinaus steht uns das Bild des Spektrums einer Neon-Kontrollleuchte zur Verfügung, das unmittelbar nach diesen beiden Langzeitbelichtungen des Ziels aufgenommen wurde, ohne das Teleskop zu bewegen. In diesem speziellen Fall wurde das Spektrum der Neonlampe auf einfache und grundlegende Weise ermittelt, indem die Lampe während einer 30-sekündigen Belichtung vor der Teleskopöffnung geschwenkt wurde. Hier ist das so erhaltene Bild der Neonlampe:



Es ist charakteristisch mit feinen Emissionslinien, die hier insbesondere im roten Teil des Spektrums lokalisiert sind.

Wir notieren pixelgenau (es ist nicht schlimm, wenn Sie sich um 2 oder 3 Pixel irren) die X-Koordinaten (horizontal) einiger Linien, deren Wellenlängen wir anderweitig kennen. Um alles über die Position der Linien in Spektren dieser Art zu erfahren:

[http://www.astrosurf.com/solex/specinti\\_annexe3\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/specinti_annexe3_en.html)

Hier werden sie in Form von zwei Listen für ausgewählte Linien in Perspektive gesetzt, wobei sich die eine auf die Wellenlängen (Parameter „wavelength“) und die andere auf die im Bild gemessenen Positionen in Pixeln (Parameter „line\_pos“) bezieht:

wavelength: [5944.83, 6266.49, 6678.28]

line\_pos: [1583, 1789, 2053]

Die Registerkarte „Beobachtung“ wird wie folgt ausgefüllt:

Répertoire observations : D:/starex340 Parcourir

Liste objets : mrk917

Liste images : mrk917-

Nb image par objet : 2

Liste calibration : mrk917\_neon-

Nb image calibration : 1

▲ Mode avancé

Fichier(s) Offset : \_offset nb : 0

Fichier(s) Dark : n900- nb : 13

Fichier(s) Flat : tung- nb : 50

Fichier Img postfix : -

Fichier Cal prefix :

Fichier Cal postfix : \_neon-

Fichier observations à sauver : mrk917 Sauver

Im Reiter „Beobachtung“ des specINTI-Editors geben wir den generischen Namen des Neon-Spektrumbildes sowie die Anzahl der verfügbaren Bilder ein (hier nur eines). Durch Klicken auf die Schaltfläche „Auto“ schreibt die Software diese für Sie.

Beachten Sie, wie der Name des Neonbildes gebildet wird: der Name des zugehörigen Objekts, dann der Qualifizierer „\_neon-“. Der specINTI Editor unterstützt Sie, wenn Sie dieses Protokoll befolgen und den entsprechenden Suffix im dafür vorgesehenen Feld in der Benutzeroberfläche des specINTI Editors definieren (Feld „Cal File Postfix“).

Die Arbeit von specINTI besteht darin, die astronomischen Spektren wie zuvor beschrieben zu verarbeiten, aber auch die Spektralkalibrierungsspektren zu verarbeiten. Es verwendet diese letzten Informationen, um das Dispersionspolynom an die aktuellen Beobachtungsbedingungen anzupassen. Damit haben wir gerade den Kalibrierungsmodus 2 von specINTI beschrieben.

Da es sich um ein Ziel mit geringer Helligkeit handelt, müssen wir auch auf eine mögliche Rauschunterdrückung im endgültigen Profil achten, ohne jedoch dessen Inhalt zu verändern (das heißt, wir müssen vernünftig sein). Wir möchten darauf hinweisen, dass die betreffenden Daten in einer städtischen Umgebung und unter Bedingungen schlechter atmosphärischer Transparenz (mit einem 150-mm-Newton-Teleskop und dem Star'Ex LR-Spektrografen) gewonnen wurden.

Hier sind einige Tools, mit denen Sie das Rauschen reduzieren können. Es handelt sich um einfache Zeilen, die Sie zu Ihrer aktuellen configuration file:

```
#-----  
# Median filtering pattern #  
#-----  
kernel_size: -3  
#-----  
# Gaussian filtering #  
#-----  
sigma_gauss: 0.75  
#-----  
# Optimal extraction #  
#-----  
extract_mode: 1  
gain: 0.083  
noise: 1.3
```

Der Parameter „kernel\_size“ bezieht sich auf die Medianfilterung von Bildern. Der negative Wert des Parameters gibt an, dass die angewandte Filterung optimal ist, um RTS-Rauschen (auch als „Salz-und-Pfeffer-Rauschen“ bekannt) zu entfernen und gleichzeitig Details im Spektrum zu erhalten. Der Filterkern umfasst 3x3 Pixel.

Der Parameter „sigma\_gauss“ steht im Zusammenhang mit der Tiefpassfilterung von Bildern, hier bei einer höheren Frequenz als der optischen Grenzfrequenz. Auch hier bleiben die meisten Details erhalten, sodass die spektrale Auflösung nur geringfügig verändert wird. Der Wert des Parameters definiert die Stärke des Filters – zwischen 0,5 und 1,0 sind die Auswirkungen auf die Schärfe der spektralen Details in der Regel marginal.

Das Vorhandensein des Parameters „extract\_mode“ mit einem Wert von 1 bedeutet, dass ein optimales Binning durchgeführt wird, um vom Bild zum Spektralprofil zu gelangen, was ein kritischer Schritt ist. Ändern Sie die mit „extract\_mode“ verbundenen Parameter „noise“ und „gain“ nicht. Der positive Effekt dieser Art von Binning macht sich nur bei der Verarbeitung von Spektren mit geringer Intensität bemerkbar.

All diese Arbeit in der Konfigurationsdatei bedeutet, dass die Verarbeitungsstufe von Stufe 2 auf Stufe 3 erhöht wird. Ein Spektrum der Stufe 3 kann für wissenschaftliche Studien verbreitet werden.

Hinweis: Es gibt eine Stufe 4, die sich dadurch auszeichnet, dass die Daten in absoluten physikalischen Einheiten (wie Erg) angegeben werden, was jedoch den Rahmen dieser Toolbox sprengen würde.

Um die Verarbeitung auf Stufe 3 unter Verwendung einer Spektrallampe zur Anpassung durchzuführen, orientieren Sie sich an der „conf\_1

Hinweis: Es gibt eine Stufe 4, die sich dadurch auszeichnet, dass die Daten in absoluten physikalischen Einheiten (wie Erg) angegeben werden (dies würde jedoch den Rahmen dieser Toolbox sprengen).

Um die Stufe 3 unter Verwendung einer Spektrallampe zur Einstellung zu verarbeiten, orientieren Sie sich an der Konfigurationsdatei „conf\_level3\_mode2.yaml“:

```
# CONF_LEVEL3_MODE2

# Wavelength-calibrated spectrum extraction via updated polynomial
# with a spectral lamp (constant)
# Level 3 processing
# *****
#-----
# Working directory #
#-----
working_path: D:/starex340
#-----
# Batch processing file #
#-----
batch_name: mrk917
#-----
# Calibration from polynomial only (no standard spectrum) #
```

```
#-----
calib_mode: 2
#-----
# Coefficients of the spectral calibration polynomial #
#-----
calib_coef: [1.080925343279991e-09, 5.919400721871533e-07, 1.5472908312138407,
3494.26602194136]
#-----
# Wavelength of standard emission lines #
#-----
wavelength: [5944.83, 6266.49, 6678.28]
#-----
# Pixel position of standard emission lines #
#-----
line_pos: [1583, 1789, 2053]
#-----
# Search width for calibration lines #
#-----
search_wide: 15
#-----
# Binning height #
#-----
bin_size: 16
#-----
# Sky calculation areas #
#-----
sky: [160, 15, 15, 120]
#-----
# Sky extraction mode (0: basic; 1: optimal) #
#-----
sky_mode: 1
#-----
```

```
# Area for calculating geometric parameters #
```

```
#-----
```

```
xlimit: [600, 1800]
```

```
#-----
```

```
# Color temperature of the tungsten flat lamp #
```

```
#-----
```

```
planck: 2700
```

```
#-----
```

```
# Requesting access to SIMBAD #
```

```
#-----
```

```
simbad: 1
```

```
#-----
```

```
# Atmospheric transmission correction #
```

```
#-----
```

```
corr_atmo: 0.13
```

```
#-----
```

```
# Median filtering pattern #
```

```
#-----
```

```
kernel_size: -3
```

```
#-----
```

```
# Gaussian filtering #
```

```
#-----
```

```
sigma_gauss: 0.75
```

```
#-----
```

```
# Optimal extraction #
```

```
#-----
```

```
extract_mode: 1
```

```
gain: 0.083
```

```
noise: 1.3
```

```
#-----
```

```
# Normalization range to unity #
```



```
#-----  
norm_wave: [6620, 6640]  
#-----  
# Cropping zone for the profile #  
#-----  
crop_wave: [3700, 7150]  
#-----  
# Longitude of the observation site #  
#-----  
longitude: 7.0940  
#-----  
# Latitude of the observation site #  
#-----  
latitude: 43.5801  
#-----  
# Altitude of the observation site in meters #  
#-----  
altitude: 40  
#-----  
# Observation site #  
#-----  
site: Antibes Saint-Jean  
#-----  
# Instrument description #  
#-----  
inst: T150 + StarEx300 + ASI533MM  
#-----  
# Observer #  
#-----  
observer: cbuil  
#-----
```

# Instrumental response #

#-----

instrumental\_response: \_rep340

#-----

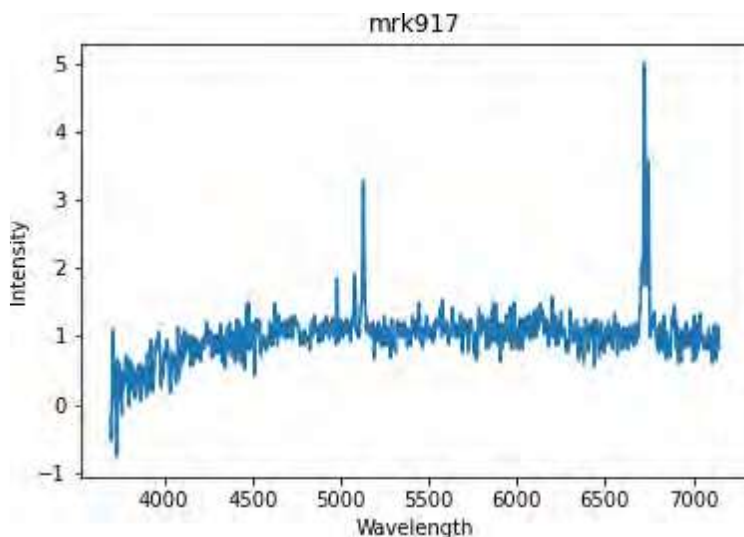
# Output format (0: compact, 1: expanded) #

#-----

check\_mode: 1

Hinweis: Sie haben völlige Freiheit bei der Anordnung dieser Datei und der Kommentare. Passen Sie sie nach Belieben an, zögern Sie nicht, kreativ zu sein. Achten Sie nur darauf, die Syntax der Parameter zu beachten.

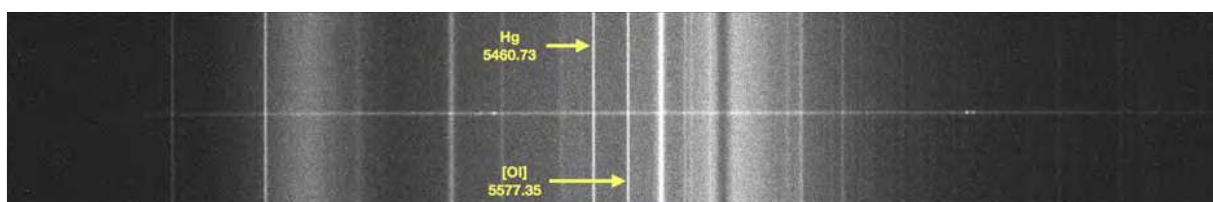
Alles sollte Ihnen bekannt vorkommen. Beachten Sie die drei von uns ausgewählten Neonlinien. Wie erwartet stellt SpecINTI die Beziehung zwischen den theoretischen Wellenlängen dieser Linien und den beobachteten Wellenlängen her und korrigiert dann den A0-Term des Dispersionspolynoms entsprechend. Hier ist das Ergebnis:



## 16. Lateraler Kalibrierungsmodus

In dieser Toolbox stellen wir einige Beispiele und Tipps zur Nutzung eines leistungsstarken Prinzips für die Wellenlängenkalibrierung von Spektren vor, das als „laterale“ Kalibrierung bekannt ist.

Unter Beibehaltung der Idee, den A0-Term (die „Konstante“) des Dispersionspolynoms anzupassen, können Sie auch die natürlichen Linien des Himmelshintergrunds oder diejenigen der Lichtverschmutzung nutzen. Hier sind zwei, die in einem der Rohbilder des Spektrums von Mark 917 identifiziert wurden



Dies ist in der Tat ein Spektrum, das mit einer niedrigen spektralen Auflösung aufgenommen wurde, wie man es beispielsweise mit einem Spektrografen wie Alpy600 erhalten würde. Wir markieren eine Linie, die von der städtischen Verschmutzung stammt (Quecksilberlinie, Hg), und eine Linie, die von der oberen Erdatmosphäre ausgestrahlt wird (OI).

Folglich benötigen wir nicht einmal mehr eine Spektrallampe, um unser Spektrum in Wellenlänge zu kalibrieren. So ist die Beobachtungsdatei nun organisiert (beachten Sie das „none“ im Feld „Calibration List“):

Répertoire observations : D:/starex340 Parcourir

Liste objets :  Auto

Liste images :

Nb image par objet :

Liste calibration :

Nb image calibration :

▲ Mode avancé

Fichier(s) Offset :  nb :

Fichier(s) Dark :  nb :

Fichier(s) Flat :  nb :

Fichier Img postfix :

Fichier Cal prefix :

Fichier Cal postfix :

Fichier observations à sauver :  Sauver

Unsere beiden zufälligen Seitenlinien, die im Spektrum der Galaxie eingepreßt sind, aber sehr nützlich sind, werden an den Koordinaten  $x = 1273$  und  $x = 1348$  gemessen. Beide dienen uns dazu, das zuvor festgelegte Dispersionspolynom anzupassen, das durch Beobachtung des Spektrums des Sterns 10 Lac erhalten wurde (eine einzelne Linie könnte verwendet werden, aber mit zwei Linien ist die Genauigkeit in der Regel höher).

Dieser laterale Kalibrierungsmodus wird in der specINTI-Nomenklatur mit der Nummer 4 gekennzeichnet. Hier ist die entsprechende typische Konfigurationsdatei:

```
# *****
# CONF_LEVEL3_MODE4
# Wavelength-calibrated spectrum extraction via an updated polynomial
# in lateral mode with sky background lines (mode 4)
# Level 3 processing
# *****
#-----
```

# Working directory #

#-----

working\_path: D:/starex340

#-----

# Processing batch file #

#-----

batch\_name: mrk917

#-----

# Calibration from the polynomial alone (no standard spectrum) #

#-----

calib\_mode: 4

#-----

# Coefficients of the spectral calibration polynomial #

#-----

calib\_coef: [1.080925343279991e-09, 5.919400721871533e-07, 1.5472908312138407,  
3494.26602194136]

#-----

# Wavelength of standard emission lines #

#-----

wavelength: [5460.73, 5577.35]

#-----

# Position in pixels of the standard emission lines #

#-----

line\_pos: [1273, 1348]

#-----

# Width of the calibration line search area #

#-----

search\_wide: 30

#-----

# Binning height #

#-----

bin\_size: 16

```
#-----  
# Sky background calculation zones #  
#-----  
sky: [160, 15, 15, 120]  
#-----  
# Sky extraction mode (0: basic; 1: optimal) #  
#-----  
sky_mode: 1  
#-----  
# Geometric parameters calculation area #  
#-----  
xlimit: [600, 1800]  
#-----  
# Flat tungsten lamp color temperature #  
#-----  
planck: 2700  
#-----  
# Request access to SIMBAD #  
#-----  
simbad: 1  
#-----  
#Atmospheric transmission correction#  
#-----  
corr_atmo: 0.13  
#-----  
# Median filter pattern #  
#-----  
kernel_size: -3  
#-----  
# Gaussian filtering #  
#-----
```

sigma\_gauss: 0.75

#-----

# Optimal extraction #

#-----

extract\_mode: 1

gain: 0.083

noise: 1.3

#-----

# Unit normalization area #

#-----

norm\_wave: [6620, 6640]

#-----

# Profile cropping area #

#-----

crop\_wave: [3700, 7150] #

#-----

# Longitude of the observation location #

#-----

Longitude: 7.0940

#-----

# Latitude of the observation location #

#-----

Latitude: 43.5801

#-----

# Altitude of the observation location in meters #

#-----

Elevation: 40

#-----

# Observation site #

#-----

Site: Antibes Saint-Jean

```

#-----
# Instrument description #
#-----
Inst: T150 + StarEx300 + ASI533MM
#-----
# Observer #
#-----
Observe: cbuil
#-----
# Instrumental response #
#-----
instrumental_response: _rep340
#-----
# Output format (0: compact, 1: expanded) #
#-----
check_mode: 1
wavelength: [5460.73, 5577.35]
line_pos: [1273, 1348]

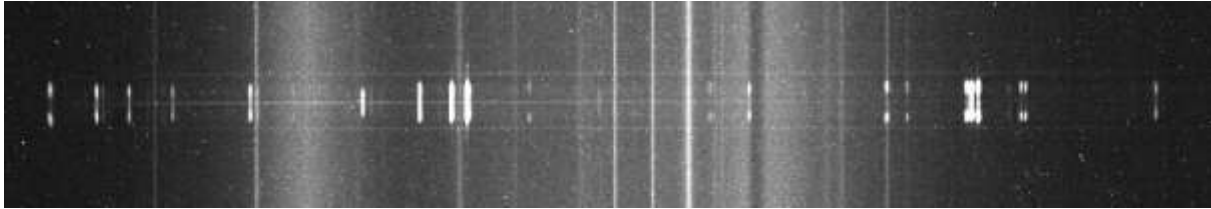
```

Beachten Sie, dass die Parameter „wavelength“ und „line\_pos“ eine Liste von Werten akzeptieren, in diesem Fall die Daten für unsere beiden Kalibrierungslinien.

Tipp: Der Parameter „sky\_mode“ bietet zwei Möglichkeiten, um das Hintergrundrauschen aus den Bildern zu entfernen. Wenn sein Wert 0 ist, entspricht der Himmelshintergrundpegel einer mittleren Intensität, die in den „Himmel“-Zonen berechnet wird, die das Spektrum des Objekts Spalte für Spalte umrahmen. Wenn der Wert 1 ist (wie hier), werden für jede Spalte unterschiedliche Legendre-Polynome subtrahiert. Grundsätzlich liefert diese letztere Option das beste Ergebnis, aber die Berechnungszeit ist länger. Probieren Sie es aus.

## 17. Verarbeitung des Spektrums eines ausgedehnten Objekts

Wir verarbeiten eine Sequenz von 7 Spektren des Nebels Messier 57, die jeweils 600 Sekunden lang belichtet und mit Star'Ex-Niedrigauflösung auf einem 150-mm-f/5-Newton-Teleskop aufgenommen wurden. Hier ist eines der Rohbilder:



Sie können die Rohdaten für dieses Beispiel herunterladen, indem Sie auf diesen Link klicken:

[http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist\\_sp24/starex341.zip](http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist_sp24/starex341.zip)

Zusätzlich zu den Emissionslinien, die vom Nebel erzeugt werden, erkennen wir die spektrale Signatur der Lichtverschmutzung aus der Stadt Antibes, von wo aus dieses Spektrum aufgenommen wurde.

Wenn specINTI weiß, wie man die Position von Sternspuren in einem Bild findet, erschwert das Objekt im vorliegenden Fall aufgrund seiner scheinbaren Oberfläche die Aufgabe. Wir sind gezwungen, manuell anzugeben, wo sich der Nebel im Bild befindet, und diese Information (ungefähr) über einen Parameter „posy“ für die Y-Position oder vertikale Position weiterzugeben:

posy : 210

Hier befindet sich der Mittelpunkt der Spur 210 Pixel über dem unteren Bildrand. Wir müssen eine große Binning-Höhe definieren, um das maximale Signal des Objekts zu integrieren. Die Berechnungszonen für den Himmel werden ebenfalls angepasst.

Die Registerkarte „Beobachtung“ für dieses Objekt:

Observations directory : D:/starex341

Objects list :

Images list :

Nb of img by object :

Calibration list :

Nb of calibration img :

▲ Advanced mode

File(s) Offset :  nb :

File(s) Dark :  nb :

File(s) Flat :  nb :

File Img postfix :

File Cal prefix :

File Cal postfix :

Observations file to save :



Die modifizierte Konfigurationsdatei für die Behandlung eines Weitwinkelobjekts (wir verwenden hier auch den Kalibrierungsmodus Nummer 2)

```
# *****

# CONF_LEVEL3_MODE2_WIDE

# Extraction of the spectrum calibrated in wavelength via an updated polynomial
# with a (constant) spectral lamp
# Level 3 processing - Adaptation to processing an object with an extended surface
# *****

#-----
# Working directory #
#-----

working_path: D:/starex341

#-----

# Processing batch file #
#-----

batch_name: m57

#-----

# Calibration from the polynomial alone (no standard spectrum) #
#-----

calib_mode: 2

#-----

# Coefficients of the spectral calibration polynomial #
#-----

calib_coef: [1.080925343279991e-09, 5.919400721871533e-07, 1.5472908312138407,
3494.26602194136]

#-----

# Wavelength of standard emission lines #
#-----

wavelength: [5944.83, 6266.49, 6678.28]

#-----

# Position in pixels of the standard emission lines #
#-----
```

```
line_pos: [1583, 1789, 2053]
```

```
#-----
```

```
# Width of the calibration line search area #
```

```
#-----
```

```
search_wide: 15
```

```
#-----
```

```
# Vertical position of the object #
```

```
#-----
```

```
posy: 210
```

```
#-----
```

```
# Binning height #
```

```
#-----
```

```
bin_size: 140
```

```
#-----
```

```
# Sky background calculation zones #
```

```
#-----
```

```
sky: [190, 90, 90, 200]
```

```
#-----
```

```
# Sky extraction mode (0: basic; 1: optimal) #
```

```
#-----
```

```
sky_mode: 1
```

```
#-----
```

```
# Geometric parameters calculation area #
```

```
#-----
```

```
xlimit: [600, 1800]
```

```
#-----
```

```
# Flat tungsten lamp color temperature #
```

```
#-----
```

```
plank: 2700
```

```
#-----
```

```
# Request access to SIMBAD #
```

```
#-----  
simbad: 1  
#-----  
#Atmospheric transmission correction#  
#-----  
corr_atmo: 0.13  
#-----  
# Median filter pattern #  
#-----  
kernel_size: -3  
#-----  
# Gaussian filtering #  
#-----  
sigma_gauss: 0.5 #  
#-----  
# Unit normalization area #  
#-----  
norm_wave: [6620, 6640]  
#-----  
# Profile cropping area #  
#-----  
crop_wave: [3700, 7150]  
#-----  
# Longitude of the observation location #  
#-----  
Longitude: 7.0940  
#-----  
# Latitude of the observation location #  
#-----  
Latitude: 43.5801  
#
```

# Altitude of the observation location in meters #

Elevation: 40

#-----

# Observation site #

#-----

Site: Antibes Saint-Jean

#-----

# Instrument description #

#-----

Inst: T150 + StarEx300 + ASI533MM

#-----

# Observer #

#-----

Observe: cbuil

#-----

# Instrumental response #

#-----

instrumental\_response: \_rep340

#-----

# Output format (0: compact, 1: expanded) #

#-----

check\_mode: 1

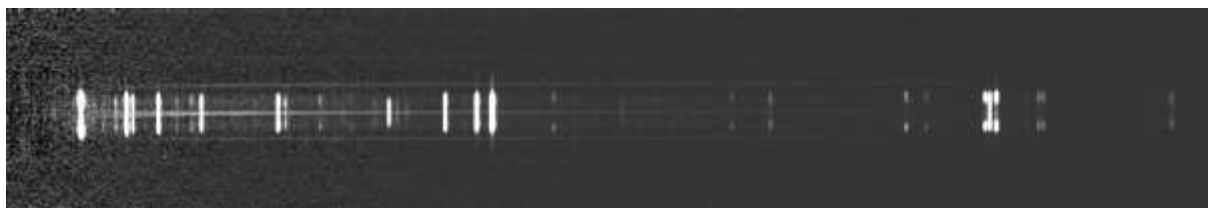
#-----

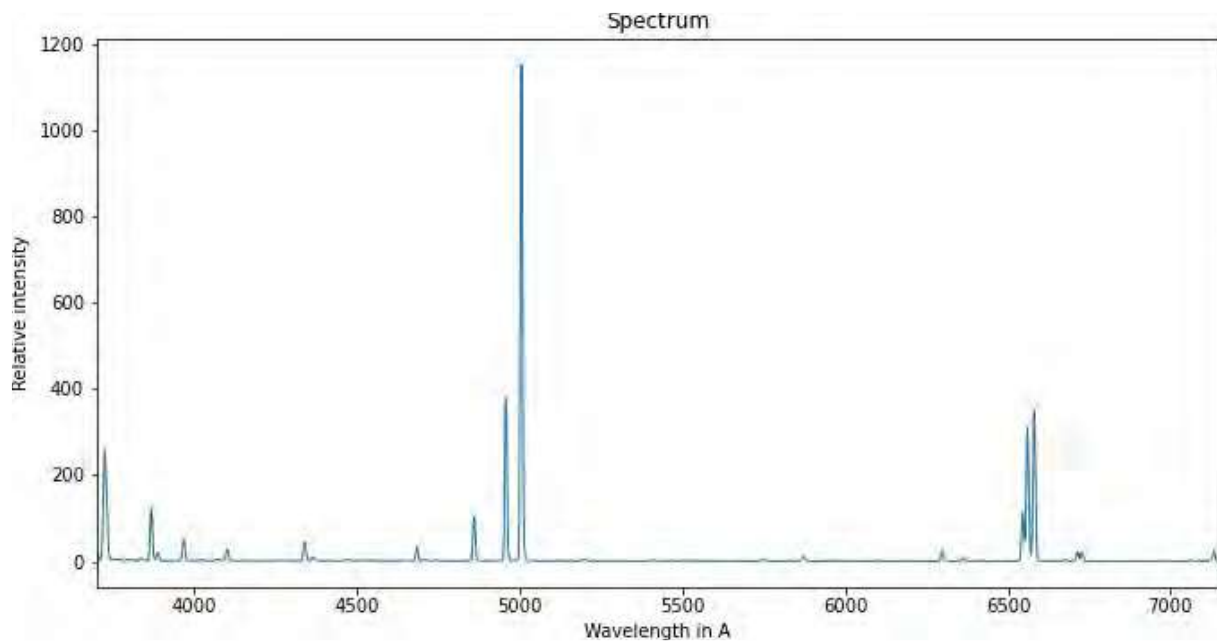
# Tilt angle imposed #

#-----

tilt: 0

The result in 2D and profile:





Beachten Sie die für das Binning über den Parameter „bin\_size“ festgelegte Breite: 140 Pixel. Wir haben diesen Wert durch Messen der Größe des Nebels auf der Höhe des Spaltes ermittelt (verwenden Sie dazu die Bilddatei „\_step101“, die die programmierten Spuren der Himmelsbereiche und das Binning nach einer ersten Bearbeitung enthält).

Tipp: Sie können specINTI anweisen, das Hintergrundsignal des Himmels nicht zu entfernen. Verwenden Sie dazu den Parameter „sky\_remove“ mit dem Wert 0:

sky\_remove: 0

Diese Funktion ist interessant, wenn Sie die schwachen Ausläufer eines Nebels oder einer Galaxie, die entfernte Koma eines Kometen, die Lichtverschmutzung usw. beobachten möchten. Standardmäßig ist der Wert dieses Parameters 1, was die Entfernung des Himmelshintergrunds bedeutet, das normale Verhalten von specINTI.

Beachten Sie, dass der Wert des Neigungswinkels durch das Vorhandensein des Parameters „tilt“ in der Konfigurationsdatei vorgegeben ist. Es ist sehr schwierig, die Software zu veranlassen, diesen Winkel bei einem ausgedehnten Objekt zu finden. Behalten Sie diese Bemerkung im Hinterkopf; manchmal müssen Sie sich vor Automatismen hüten und der Software helfen, indem Sie auf „manuell“ umschalten.

## 18. Verarbeitung eines hochauflösenden Spektrums

Wir bearbeiten nun ein Spektrum, das mit einem Star'Ex HR mit einer spektralen Auflösung von 2400 Rillen/mm und einem 19-Mikrometer-Spalt (80/125-mm-Konfiguration) aufgenommen wurde. Der Spektrograph ist auf die Beobachtung der H-Alpha-Linie eingestellt. Das Aufnahmegerät ist ein Ascar 80PHQ-Teleskop (f/7,5):

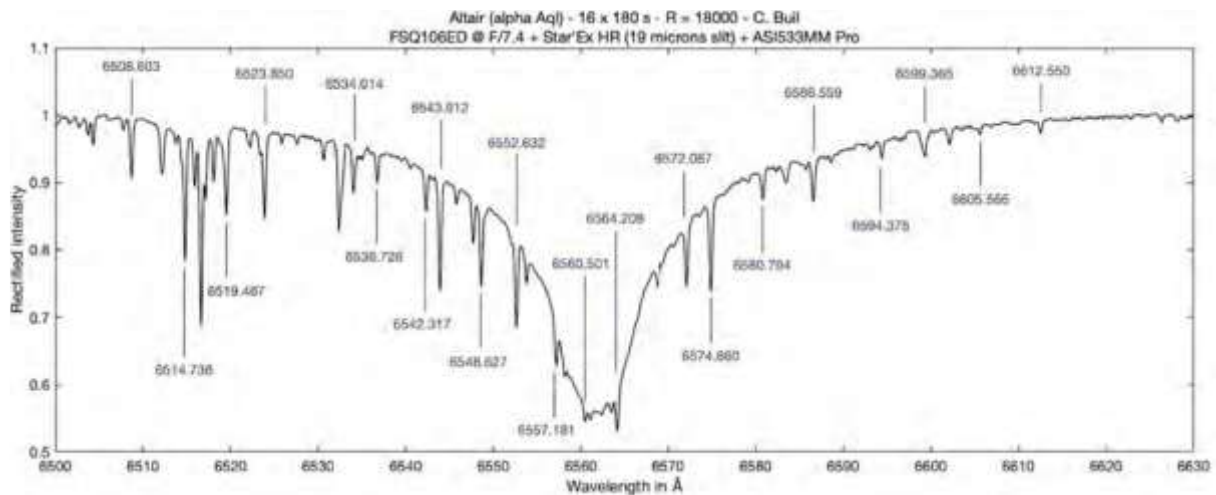


Wir beobachten das Spektrum des Sterns Alpha Dragonis, eines spektroskopischen Doppelsternsystems. Die Rohdaten für dieses Beispiel können Sie unter folgendem Link herunterladen: [http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist\\_sp24/starex332.zip](http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/dist_sp24/starex332.zip)

Zur Erzeugung des Flat-Field-Bildes verwenden wir ein LED-Panel, das vor dem Teleskop platziert wird. Wir halten diese Lösung für zufriedenstellend, da die Beleuchtung in dem sehr kleinen beobachteten Spektralbereich als spektral ausreichend gleichmäßig angesehen wird (trotz eines starken Defizits an rotem Licht):



Für die Spektralkalibrierung stützt es sich auf eine Folge von Linien (hier tellurischen Ursprungs), die wir durch ein Polynom anpassen (hier reicht Grad 2 aus):



Die Methode zur Ermittlung des Dispersionspolynoms aus den tellurischen Linien (H<sub>2</sub>O) wird in Abschnitt A4.3 dieser Seite ausführlich erläutert:

[http://www.astrosurf.com/solex/specinti\\_annexe4\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/specinti_annexe4_en.html).

Um zeitliche Verformungen zu berücksichtigen, arbeiten wir im lateralen Modus, diesmal jedoch mit einer lokalen künstlichen Quelle: einer Glasfaser, die das Licht einer Neon-Pilotlampe zum Eingang des Teleskops leitet. Diese Kalibrierungslampe ist permanent eingeschaltet, sodass wir gleichzeitig das Spektrum des Sterns und das der Standardlampe beobachten:



Wir nutzen den Kalibrierungsmodus 4 von specINTI. Zur Erinnerung: Hierbei handelt es sich um einen gemischten Modus. Zunächst wird das Dispersionsgesetz berechnet (hier anhand der tellurischen Linien, die über einen guten Spektralbereich eine hohe Genauigkeit bieten), anschließend erfolgt die Feinabstimmung anhand der im lateralen Modus genutzten Neonlampenlinien, mit denen der A0-Term des Polynoms an die lokalen Bedingungen angepasst wird.

Die Registerkarte „Beobachtung“ (und die Datei) ist wie folgt aufgebaut:

Répertoire observations : D:/starex332 Parcourir

Liste objets :  Auto

Liste images :

Nb image par objet :

Liste calibration :

Nb image calibration :

▼ Mode avancé

Liste fichiers trans atm :

Liste décalage flat :

Fichier(s) Offset :  nb :

Fichier(s) Dark :  nb :

Fichier(s) Flat :  nb :

Fichier Img postfix :

Fichier Cal prefix :

Fichier Cal postfix :

Fichier observations à sauver :  Sauver

Hier ist die charakteristische Konfigurationsdatei für die Verarbeitung hochauflösender Spektren, die mit unserem 80-mm-Teleskop und im Modus 4 aufgenommen wurden:



```
# *****  
  
# CONF_LEVEL3_MODE4 (high spectral resolution)  
  
# # Extraction of the spectrum calibrated in wavelength via an updated polynomial  
  
# in lateral mode with lines from the sky background (mode 4)#  
*****  
  
#-----  
Working directory #  
#-----  
working_path: D:/starex332  
#-----  
# Processing batch file #  
#-----  
batch_name: alphadra  
#-----  
# Spectral calibration mode #  
#-----  
calib_mode: 4  
#-----  
# Calibration polynomial #  
#-----  
calib_coef: [-1.147614869142545e-06, 0.10002814151183108, 6484.353249168842]  
#-----  
# Automatic search for neon calibration lines #  
#-----  
auto_calib: [6490, 6690]  
#-----  
# Width in pixels of the neon calibration line search area #  
#-----  
search_wide: 40  
#-----  
# Binning width  
#-----
```

bin\_size: 18

#-----

# Sky background calculation zones #

#-----

sky: [160, 16, 16, 160]

#-----

# Erasing calibration sidelines #

#-----

clean\_wave: [6506.5, 6532.8, 6598.9, 6678.3]

clean\_wide: [1.1, 0.8, 0.9, 1.0]

#-----

# Radius of curvature of the smile #

#-----

smile\_radius: -16000

#-----

# Sky extraction mode (1 = optimal) #

#-----

sky\_mode: 1

#-----

# x terminals for geometric measurements #

#-----

xlimit: [400, 1800]

#-----

# Instrumental response #

#-----

instrumental\_response: \_rep332

#-----

#Atmospheric transmission correction#

#-----

simbad: 1

corr\_atmo: 0.20

```
#-----  
# Median filter pattern #  
#-----  
kernel_size: 0  
#-----  
# Gaussian filtering # 0.0: R = 19500  
#-----  
#0.5: R = 18100  
#0.75 R =: 16900  
#1.0: R =15600 #  
sigma_gauss: 0.75  
#-----  
# Optimal extraction #  
#-----  
extract_mode: 1  
gain: 0.083  
noise: 1.3  
#-----  
# Unit normalization area #  
norm_wave: [6640, 6660]  
#-----  
#-----  
# Profile cropping area #  
#-----  
crop_wave: [6489, 6691]  
#-----  
# Longitude of the observation location #  
#-----  
Longitude: 7.0940 #  
#-----  
# Latitude of the observation location #
```

#-----

Latitude: 43.5801

#-----

# Altitude of the observation location in meters #

#-----

Elevation: 40

#-----

# Observation site #

#-----

Site: Antibes Saint-Jean

#-----

# Instrument description #

#-----

Inst: Askar80PHQ + StarEx2400 + ASI533MM

#-----

# Observer #

#-----

Observe: cbuil

#-----

# Output format (0: compact, 1: expanded) #

#-----

check\_mode: 1

#-----

# Request S/N calculation #

#-----

snr: [6650, 6665]

#-----

# Spectral shift requested #

#-----

spectral\_shift\_wave: -0.008

Erinnern Sie sich daran, dass die Werte der spektralen Dispersionspolynomkoeffizienten

calib\_coef: [-1.147614869142545e-06, 0.10002814151183108, 6484.353249168842]

wurden zuvor anhand der Spuren der um die H-Alpha-Linie vorhandenen tellurischen Linien gefunden.

Beachten Sie das Erscheinen des Parameters „auto\_calib“. Dank ihm sucht specINTI automatisch nach Neonlinien im angegebenen Spektralintervall, hier also zwischen 6490 und 6690 Å. Es ist nicht mehr erforderlich, die Position der Linien oder ihre Wellenlängen anzugeben; die Software erledigt alles automatisch (Identifizierung der vorhandenen Linien und Messungen).

Tipp: Wir finden auch zwei recht häufige Parameter, wenn wir im lateralen Modus arbeiten: „clean\_wave“ und „clean\_wide“:

clean\_wide: [6506.5, 6532.8, 6598.9, 6678.3]

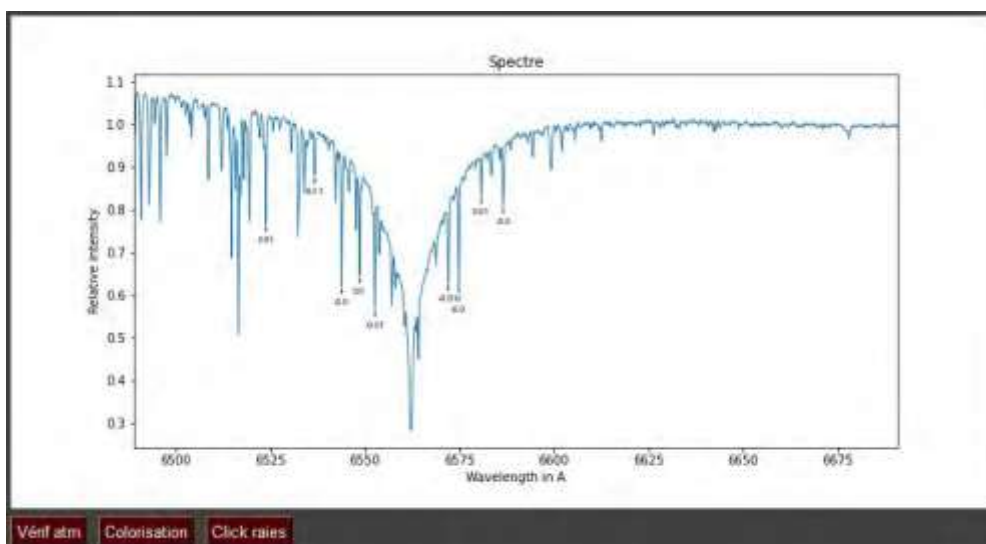
clean\_wide: [1.1, 0.8, 0.9, 1.0]

Sie weisen die Software an, Artefakte an der Schnittstelle zwischen der Spektrumkurve und den Standardlinien zu löschen, die durch eine unvollständige Entfernung des Himmelshintergrunds an diesen Stellen entstanden sind. Das Problem ist besonders gravierend, wenn wie hier ein kleines Teleskop und ein feiner Spalt verwendet werden. Die Wellenlängen und für die angegebenen Spektralbreiten in Angström.

Ein Punkt, der zu beachten ist, betrifft den Wert des Parameters „kernel\_size“ für die Medianfilterung. Die Größe des Filtermusters (Kernel) ist auf 0 gesetzt, was bedeutet, dass keine Medianfilterung angewendet wird. Der Grund dafür ist, dass die vom Teleskop gelieferte Spektraltrace so schmal ist, dass eine solche Medianfilterung zu radiometrischen Fehlern führt, die als nicht akzeptabel beurteilt werden. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie mit kleinen Instrumenten arbeiten; die Details sind dann sehr fein, aber die Sensor-Pixel (auch kleine) sind es nicht. Wir befinden uns oft in einem Bereich der Unterabtastung, was nie sehr gut ist und Aufmerksamkeit erfordert.

Beachten Sie auch eine manuelle Anpassung der spektralen Kalibrierung: eine Spektralverschiebung von -0,008 Å (Parameter „spectral\_shift\_wave“). Dieser Verschiebungswert wird mit dem Tool „Check atmo“ in der Registerkarte „View profile“ unter specINTI Editor ermittelt.

Die instrumentelle Antwortdatei „\_rep332“ wurde durch Vergleich des beobachteten Spektrums des Sterns Altair mit dem HR-Referenzspektrum dieses Objekts (Datei „UVEX\_altair.fits“ in der specINTI-Datenbank) ausgewertet. Nachstehend finden Sie das Ergebnis der Bearbeitung:



Der Spektralkalibrierungsfehler beträgt weniger als 0,01 Å, was ein hervorragendes Ergebnis ist.

Es kann nützlich sein, darauf hinzuweisen, dass es einfach ist, die aktuelle Konfigurationsdatei, die für den Kalibrierungsmodus 4 geeignet ist, so umzuwandeln, dass sie im Kalibrierungsmodus 3 funktioniert. Der Autor dieser Zeilen wechselt oft zwischen diesen beiden Modi, je nach Helligkeit des hochauflösenden Spektralbeobachtungsobjekts. Dies dauert weniger als eine Minute, obwohl es nicht immer notwendig ist, Konfigurationsdateien zu vervielfältigen.

Modus 3 ist vielleicht der praktischste und einfachste von allen. Tatsächlich reicht es aus, eine oder mehrere Neonlampen (oder Fasern) vor der Öffnung des Teleskops oder Refraktors zu positionieren, um die Standardspektren im lateralen Modus (Spektrum des Objekts und der Standardquelle im selben Spektralbild) zu erfassen, und dann die automatische Kalibrierung während der Verarbeitung zu aktivieren (Parameter „auto\_calib“).

Die einzige wirklich erforderliche Änderung besteht darin, anzugeben, dass wir uns im Modus 3 befinden, und den Grad des Polynoms wie folgt anzupassen

```
calib_mode: 3
```

```
poly_order: 2
```

Der einzige Nachteil von Modus 3 besteht darin, dass die Kalibrierungsgenauigkeit, obwohl sie sehr gut und für die meisten Situationen zufriedenstellend ist, manchmal etwas geringer ist als die, die bei Verwendung von Tellurlinien zur Bestimmung des Dispersionspolynoms erzielt wird.

Tipp: In den meisten Fällen wird empfohlen, nicht nur ein einziges Spektralbild eines Objekts aufzunehmen, um bestimmte Artefakte herausfiltern zu können. Angenommen, Sie haben 10 Spektren eines Ziels erstellt. Die übliche Arbeit von specINTI besteht darin, die Summe dieser 10 einzelnen Spektren zu berechnen, um das endgültige Spektralprofil zu erstellen. Sie können die Software jedoch auch anweisen, die Verarbeitungsergebnisse jedes einzelnen Spektrums im Arbeitsordner zu speichern. Diese Verarbeitung ist für einzelne Spektren genau dieselbe wie für das kumulierte Spektrum. Diese Möglichkeit, die bearbeiteten einzelnen Spektren zu erhalten, ist nützlich, wenn Sie die zeitliche Entwicklung zwischen diesen 10 Spektren untersuchen möchten. Fügen Sie dazu einfach die folgende Zeile zur Konfigurationsdatei hinzu:

```
seq_mode: 1
```

Die einzelnen Dateien tragen den Katalognamen des bearbeiteten Bildes, aber specINTI fügt eine Indexnummer und das Zeichen „@“ vor dem Namen hinzu, zum Beispiel:

```
@10dra-1 @10dra-2
```

```
...
```

```
...
```

```
@10dra-10
```

Tipp: Man sollte eine der Stärken von specINTI nicht vergessen: seine Fähigkeit, Listen von Objekten (die beispielsweise eine ganze Beobachtungsnacht darstellen könnten) zu verarbeiten, ohne dass Ihr Eingreifen erforderlich ist. Das bedeutet, dass Sie sich anderen Aktivitäten widmen können, während die Software arbeitet. Eine der spektakulärsten Anwendungen ist die Möglichkeit, die Software in Echtzeit am Teleskop zu verwenden und beispielsweise das beobachtete Objekt zu verarbeiten, wobei der Vorgang beendet wird, sobald die Anzahl der Bilder für ein bestimmtes Ergebnis als ausreichend erachtet wird. All dies geschieht mit einem einzigen Klick oder fast.

Hier sehen Sie beispielsweise, wie die Registerkarte „Beobachtung“ für die Verarbeitung von drei Zielen in einer Sequenz aussieht:

Répertoire observations : D:/starex362 Parcourir

Nuit Effacer

Liste objets : 10 Lac, Deneb, Betelgeuse Auto

Liste images : 10Lac-, Deneb-, Betelgeuse-

Nb image par objet : 4, 14, 7

Liste calibration : 10Lac\_neon-, Deneb\_neon-, Betelgeuse\_neon-

Nb image calibration : 1, 1, 1

▲ Mode avancé

Fichier(s) Offset : \_offset nb : 0

Fichier(s) Dark : n900\_12- nb : 19

Fichier(s) Flat : led2- nb : 20

Fichier Img postfix : -

Fichier Cal prefix : |

Fichier Cal postfix : \_neon-

Fichier observations à sauver : 10lac Sauver

Sie müssen lediglich die Katalognamen der Objekte im Feld „Objektliste“ mit einem Komma als Trennzeichen eingeben (die Schaltfläche „Nacht“ kann Ihnen dabei helfen), dann auf „Auto“ und schließlich auf „Ausführen“ klicken. Das ist alles.

Tipp: Beachten Sie den generischen Namen, der für die Dunkelbildaufnahmen verwendet wird. Dies ist eine Gewohnheit des Autors: Ein „n“ zeigt an, dass es sich um ein im Dunkeln aufgenommenes Bild handelt, eine „900“ gibt die Belichtungszeit in Sekunden an und ein „\_12“ zeigt an, dass die Detektortemperatur -12 °C beträgt. Diese Konvention erleichtert den Aufbau von Referenzbibliotheken und ermöglicht es, auf einen Blick zu überprüfen, ob die Dunkelbilder für die zu verarbeitenden Objekte gut geeignet sind. Außerdem ist zu beachten, dass 19 Bilder n900\_12-xxx mit einer Belichtungszeit von 900 Sekunden aufgenommen wurden, was auch der maximalen Belichtungszeit entspricht, die hier für die Ziele der Nacht verwendet wurde. Natürlich wurden diese Kalibrierungsbilder tagsüber aufgenommen, indem der Spektrograph mit seiner Kamera in einen Kühltank gestellt und eine Kappe vor den Spalt gesetzt wurde, wobei darauf geachtet wurde, die Tür nicht zu oft zu öffnen!

## 19. Spektroskopie von Objekten mit sehr geringer Intensität

specINTI ist flexibel genug, um sich an die meisten Situationen anzupassen. In der Realität gibt es immer eine Verarbeitungslösung, die jedoch mehr oder weniger Aufwand und manchmal fortgeschrittene Softwarekenntnisse erfordern kann.

Eine schwierige Situation entsteht beispielsweise, wenn die Spur des Spektrums eines Objekts im 2D-Bild selbst nach einer sehr langen Belichtungszeit kaum wahrnehmbar ist.

In einer solchen Situation kann einer der wichtigen Automatismen von specINTI versagen: die Suche nach der vertikalen Position des Spektrums (seiner Y-Koordinate relativ zum unteren Bildrand).

Der Fehler kann auf Rauschen, Hotspots oder einen schlecht behandelten Bildbereich zurückzuführen sein, der specINTI irreführen kann, da die Intensität der Spur viel schwächer ist als diese Fehler.

Es gibt mehrere Techniken, um dieses Problem zu lösen.

Angenommen, wir lokalisieren die Spur nach der Anzeige mit hohem Kontrast bei der Y-Koordinate = 423.

Hinweis: Wenn das Spektrum aufgrund einer schlechten Kameraausrichtung im Bild schräg erscheint, immer Messen Sie den Y-Wert in der Mitte des Bildes entlang der horizontalen Achse.

Der erste Schritt besteht darin, den Suchbereich für die Spur des Sterns entlang der vertikalen Achse zu begrenzen. Dazu verwenden wir den Parameter „posy\_exclude“. Zum Beispiel hier:

```
posy_exclude: [380, 460]
```

Das bedeutet, dass die Suche nach der Spur nicht über die gesamte Höhe des Bildes erfolgt, sondern zwischen den Y-Koordinaten = 380 und Y = 460. Sie können diesen Suchbereich natürlich erweitern oder einschränken.

„posy\_exclude“ ist ein leistungsstarkes Werkzeug, das Sie in vielen Situationen einsetzen können. Zum Beispiel, wenn sich die Spur, die Sie extrahieren möchten, neben der Spur eines viel helleren Sterns befindet. Wenn Sie specINTI im vollautomatischen Modus lassen, erhalten Sie immer das Spektrum des hellsten Sterns. Mit „posy\_exclude“ können Sie dieses Risiko ausschließen und specINTI in die Lage versetzen, automatisch das richtige Ziel zu finden.

Wenn diese Lösung fehlschlägt, müssen Sie den Parameter „posy“ verwenden, indem Sie in die Konfigurationsdatei Folgendes schreiben:

```
posy: 423
```

Dadurch wird die automatische Suche nach der Spur vollständig blockiert und specINTI gezwungen, die Bearbeitungen um die Y-Koordinate = 423 (einschließlich Binning) durchzuführen.

Obwohl diese Lösung sehr effektiv ist, ist sie leider nicht immer zufriedenstellend. Angenommen, wir haben 3 Spektren desselben Objekts erhalten, aber aus irgendeinem Grund ändert sich die Y-Koordinate jedes Mal leicht: Y1 = 423, Y2 = 421, Y3 = 419.

Schreiben Sie

```
posy: 423
```

specINTI addiert alle Spuren unter der Annahme, dass der Durchschnitt bei Y = 423 liegt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Durch das Einfrieren der vertikalen Suche mit „posy“ verhindert specINTI auch



die automatische vertikale Zentrierung aller Spektren in der Sequenz, was eine normale Softwarefunktion zur Maximierung des Signal-Rausch-Verhältnisses ist, selbst bei zufälligen vertikalen Bewegungen.

Es gibt jedoch eine Lösung. Schreiben Sie stattdessen:

posy: -423

Der negative Wert des Parameters ist beabsichtigt. Natürlich wird der positive Wert beibehalten, aber die Angabe einer negativen Zahl verändert die Funktionsweise der Software grundlegend.

Wahrscheinlich haben Sie in Ihrer Konfigurationsdatei etwas Ähnliches (da es sich um einen obligatorischen Parameter handelt):

bin\_size: 14

Dies ist die vertikale Binning-Höhe (Aggregation), die die Software verwendet, um die Pixelintensität Spalte für Spalte zu erfassen und das Spektralprofil zu erstellen. Dieser Bereich ist in unserem Beispiel normalerweise auf die Y-Koordinate = 423 zentriert. In diesem Fall findet das Binning zwischen den Koordinaten  $Y' = 423 - 7 = 416$  und  $Y'' = 423 + 7 = 430$  statt.

Auf den ersten Blick scheint dies perfekt zu sein, da unsere drei Spektrumkurven in den betrachteten Binning-Bereich fallen. Es gibt jedoch einen besseren Ansatz. Durch die Angabe eines negativen Wertes für die Y-Koordinate zentriert specINTI alle drei Spektren neu, wobei nur ein Bildstreifen zwischen  $Y = 416$  und  $Y = 430$  verwendet wird.

Dieser Ansatz funktioniert oft gut, da das Risiko, auf einem so schmalen Band auf ein abweichendes Pixel zu stoßen, relativ gering ist (und Sie außerdem die Höhe des Binning frei wählen können). Dieser Trick ähnelt der „posy\_exclude“-Lösung, ist jedoch einfacher und in komplexen Situationen präziser.

Was tun, wenn es immer noch nicht funktioniert, wenn specINTI sich weiterhin weigert, das Spektrum an der richtigen Stelle zu extrahieren?

Tipp: Wenn Sie den Wert 1 für den Parameter „check\_mode“ eingestellt haben, ist es eine ausgezeichnete Idee, das von der Software erstellte Zwischenkontrollbild im Arbeitsordner unter dem Namen „\_step101.fits“ zu untersuchen. Dieses Bild ist oft eine Fundgrube wertvoller Informationen. Es enthält die Summe aller Sequenzbilder, verarbeitet, neu zentriert auf die beste Spur, ohne den Himmelshintergrund, möglicherweise gefiltert. Außerdem, und das ist entscheidend, sehen Sie auf diesem Bild horizontale Linien. Diese Linien begrenzen die von Ihnen angeforderten Himmelsberechnungszonen, die Binning-Zone und schließlich eine Mittellinie, die vermutlich Ihrem Ziel entspricht. Ist dies nicht der Fall, ist es Zeit zu handeln!

Unsere letzte Möglichkeit besteht darin, die Spurensuche auf die Bildbreite zu beschränken. Normalerweise erfolgt diese Suche auf einer vertikalen Projektion der gesamten Bildbreite. Dies ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn Sie beispielsweise Folgendes verwenden:

xlimit: [750, 980]

Die Spurensuche wird dann zwischen den X-Koordinaten = 750 und  $X = 980$  in Pixeln durchgeführt. Der Trick besteht darin, diese Grenzen so anzupassen, dass sie den intensivsten Teil des Spektrums umfassen. Diese Methode kann mit den zuvor beschriebenen vertikalen Suchbeschränkungen kombiniert werden.

Hinweis: In sehr schwierigen Fällen kann specINTI möglicherweise nicht automatisch den Neigungswinkel der Spektrumsspur (die Neigung der Spur) oder den Schrägwinkel finden. In diesem Fall müssen Sie diese Winkel gegebenenfalls erzwingen, zum Beispiel:

Neigung: 0,32

Schrägstellung: -0,12

Tipp: Blättern Sie durch das Referenzhandbuch, dort finden Sie viele Anregungen. Es ist relativ kurz, da specINTI nur eine begrenzte Anzahl von Parametern für die Arbeit nutzt und viele Vorgänge automatisch ausführt. Hier noch einmal der Link zum Referenzhandbuch:

## 20. Nutzung der Spektrenbibliothek von Melchiors

### 20.1 Einleitung

Melchiors ist eine umfangreiche Bibliothek mit 3.256 Spektren, die den Spektralbereich von 380 bis 900 nm mit einer Auflösung von  $R = 85.000$  abdecken. Diese Spektren wurden mit dem Spektrografen HERMES aufgenommen, der am Mercator-Teleskop der Sternwarte Roque de Los Muchachos auf La Palma installiert ist.

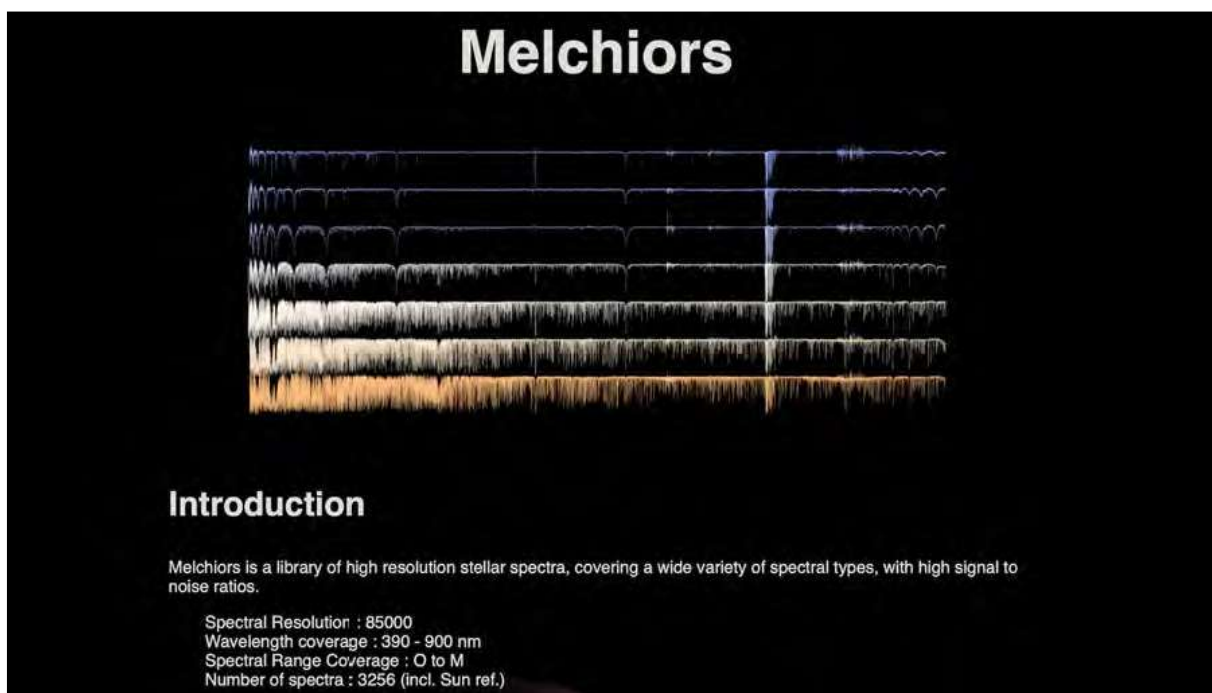
Diese Datenbank ist unter folgender Adresse öffentlich zugänglich:

<https://www.royer.se/melchiors.html>.

[http://www.astrosurf.com/solex/spevinti6\\_en.html](http://www.astrosurf.com/solex/spevinti6_en.html)

Ausführliche Informationen finden Sie bei Royer et al. 2013:

[https://www.royer.se/melchiors/royer\\_etal\\_melchiors.pdf](https://www.royer.se/melchiors/royer_etal_melchiors.pdf)



Die Spektren sind von hoher Qualität, werden für Radialgeschwindigkeiten auf ein baryzentrisches Referenzsystem gebracht und sind in verschiedenen Formaten verfügbar. Am relevantesten für uns ist dasjenige, bei dem die atmosphärische Absorption korrigiert ist (die Spektren werden somit so dargestellt, wie sie aus dem Weltraum beobachtet würden). Die Intensitäten sind relativ (nicht in

absoluten Werten, wie z. B. in Erg-Einheiten). Manchmal sind für denselben Stern mehrere Spektren verfügbar. Es gibt auch ein Spektrum der Sonne, das sehr nützlich ist (Ganymede Sun). Die Magnituden der Sterne reichen von den hellsten am Himmel bis zur Magnitude 8.

Diese Bibliothek ist für uns Amateure revolutionär (und wahrscheinlich genauso wichtig für Profis), da sie einen sehr umfangreichen Satz von Referenzspektren am Himmel bietet, auf die wir uns bei der Kalibrierung von Rohdaten verlassen können.

Die Verfügbarkeit dieser Datenbank bestätigt die in dieser Toolbox vorgeschlagene Strategie, die darauf abzielt, die instrumentelle Reaktion zu bestimmen, indem sie von der atmosphärischen Transmission getrennt wird. Die Melchior-Datenbank macht diese Datenreduktionstechnik noch einfacher (siehe Abschnitt 11). Da die spektrale Auflösung ( $R$ ) der Spektren hoch ist, erleichtert sie außerdem die Kalibrierung unserer eigenen Spektren in der Wellenlänge, auch in „hoher Auflösung“, anhand dieser natürlichen Quellen (Berechnung der Terme mit einem Grad höher als 1 des Kalibrierungs-Polynoms – siehe Abschnitt 6 für niedrige Auflösung und Abschnitt 18 für hohe Auflösung und lateralen Modus 4).

Das FITS-Format der Spektren in dieser Datenbank ist recht komplex und weist zahlreiche Erweiterungen auf. In specINTI (ab Version 2.5) wurde ein kleines Dienstprogramm in Form einer einfachen Funktion erstellt, um Melchior-Spektren in ein vereinfachtes FITS-Format zu konvertieren, das direkt mit specINTI und vielen anderen Verarbeitungsprogrammen kompatibel ist. Es handelt sich um die Funktion „\_pro\_conv\_melchior“, deren Verwendung später beschrieben wird.

Beachten Sie, dass diese Ergänzung in specINTI die sofortige Verwendung der Spektren aus der Melchior-Bibliothek ermöglicht, dies jedoch nicht die einzige Möglichkeit ist, auf die Spektren aus der Bibliothek zuzugreifen. Insbesondere befindet sich derzeit eine Webanwendung (STAROS-Vereinigung) im Aufbau, die die Nutzung dieser Ressource in Zukunft noch einfacher machen wird.

## 20.2 Extrahieren eines Melchior-Spektrums

Als Beispiel für die Nutzung der Melchior-Bibliothek zeigen wir, wie man ein Spektrum extrahiert und verwendet, indem wir uns auf eine sehr konkrete Beobachtung des Sterns 10 Lacertae (selbst ein photometrischer und spektrophotometrischer Standard) konzentrieren.

Die hier gewählte Methode zur Nutzung der Melchior-Bibliothek besteht darin, die gesamte Datenbank auf einen lokalen Speicher zu übertragen. Laden Sie von der Hauptseite die beiden komprimierten Ordner „Spectra Part I“ und „Spectra Part II“ herunter (sie sind jeweils 9 GB groß, was heutzutage jedoch noch vertretbar ist).

Die Melchior-Bibliothek enthält ein Spektrum des Sterns 10 Lac. Unser Ziel ist es, dieses Spektrum mit dem beobachteten zu vergleichen, um die spektrale Empfindlichkeit des verwendeten Instruments gegenüber dem einfallenden Sternenfluss zu bewerten und die Qualität der spektralen Kalibrierung zu überprüfen.

Die Dateien in der Melchior-Bibliothek sind nach Zahlen geordnet, zum Beispiel:

00307233\_melchior\_spectrum.fits

Um die richtige Datei zu identifizieren, müssen wir den Namen des Sterns mit dieser Dateinummer abgleichen. Die Excel-Datei (Microsoft) „Melchior\_lib.xlsx“ ist eine Entsprechungstabelle (Sie können nach Magnitude, Himmelskoordinaten usw. sortieren). Sie können diese Datei unter der folgenden Adresse herunterladen:

[http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/melchior/excel/melchior\\_lib.xlsx](http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/melchior/excel/melchior_lib.xlsx).

3057	374023	HD 214203	HIP 111601	6,42	A1III	22:36:36.30	11:41:47.90
3058	376041	HD 214454	* 9 Lac	4,63	A9VKA7mA6	22:37:22.40	51:32:42.40
3059	585269	HD 214454	HD 214454	4,63	A9VKA7mA6	22:37:22.40	51:32:42.40
3060	389330	HD 214665	V* V416 Lac	5,17	M4+III	22:38:37.90	56:47:44.30
3061	478113	HD 214734	* 30 Cep	5,19	A0IV	22:38:39.10	63:35:04.09
3062	374024	HD 214567	HD 214567	5,82	G8II	22:38:52.60	19:31:20.10
3063	416436	HD 214680	* 10 Lac	4,88	O9V	22:39:15.70	39:03:01.01
3064	478110	HD 214680	* 10 Lac	4,88	O9V	22:39:15.70	39:03:01.01
3065	584854	HD 214680	HD 214680	4,88	O9V	22:39:15.70	39:03:01.01
3066	835841	HD 214749	LTT 9143	7,84	K4.5Vk	22:40:43.38	-29:40:28.13
3067	374025	HD 214850A	BD+13 4971A	6,05	G4V	22:40:54.00	14:33:00.00
3068	366666	HD 214923	* zet Peg	3,41	B8V	22:41:27.70	10:49:52.90
3069	366667	HD 214923	* zet Peg	3,41	B8V	22:41:27.70	10:49:52.90

Wir stellen fest, dass die Bibliothek tatsächlich zwei Spektren von 10 Lac enthält. Wir interessieren uns (zum Beispiel) für das erste, dessen Rangnummer 416436 ist.

Am besten kopieren Sie zu diesem Zeitpunkt die entsprechende FITS-Datei aus der Bibliothek in Ihren aktuellen Arbeitsordner:

00416209_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:14	6,7 Mo	Flexible...cument
00416210_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:14	6,7 Mo	Flexible...cument
00416281_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416282_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416283_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416285_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416434_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416436_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416437_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416438_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416439_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument
00416440_melchiors_spectrum.fits	13 mars 2023, 15:15	6,7 Mo	Flexible...cument

Die Konvertierung der Melchiors-Datei in eine konventionellere FITS-Datei erfolgt über die Funktion „\_pro\_conv\_melchiors“, deren Syntax wie folgt lautet:

\_pro\_conv\_melchiors: [Eingabe, Ausgabe, telluric]

- Eingabe: Name der Melchiors-Datei (ohne FITS-Erweiterung);
- Ausgabe: Name der Datei nach der Konvertierung;
- telluric: Parameter, mit dem Sie auswählen können, ob eine Datei mit (Wert: 1) oder ohne (Wert: 0) atmosphärische Absorptionslinien extrahiert werden soll.

Diese Funktion wird in einer „yaml“-Parameterdatei „\_conf\_melchiors.yaml“ (Sie können den Namen frei wählen) ausgeführt, in der auch der Pfad

des Arbeitsverzeichnisses angegeben ist, in dem sich die zu konvertierende Datei befindet. Hier ist der vollständige Inhalt der „yaml“-Datei, die wir für dieses Beispiel verwenden (Sie müssen den Namen des Pfads ändern). Sie können diesen Inhalt in Ihren eigenen Konfigurationsordner mit dem Namen „\_configuration“ kopieren/einfügen.

```

# *****

# CONF_MELCHIORS

# Conversion of a Melchior's FITS file into a spectrum FITS readable by specINTI

# *****

#-----

# Working directory #

#-----

working_path: D:/starex374

#-----

# Conversion #

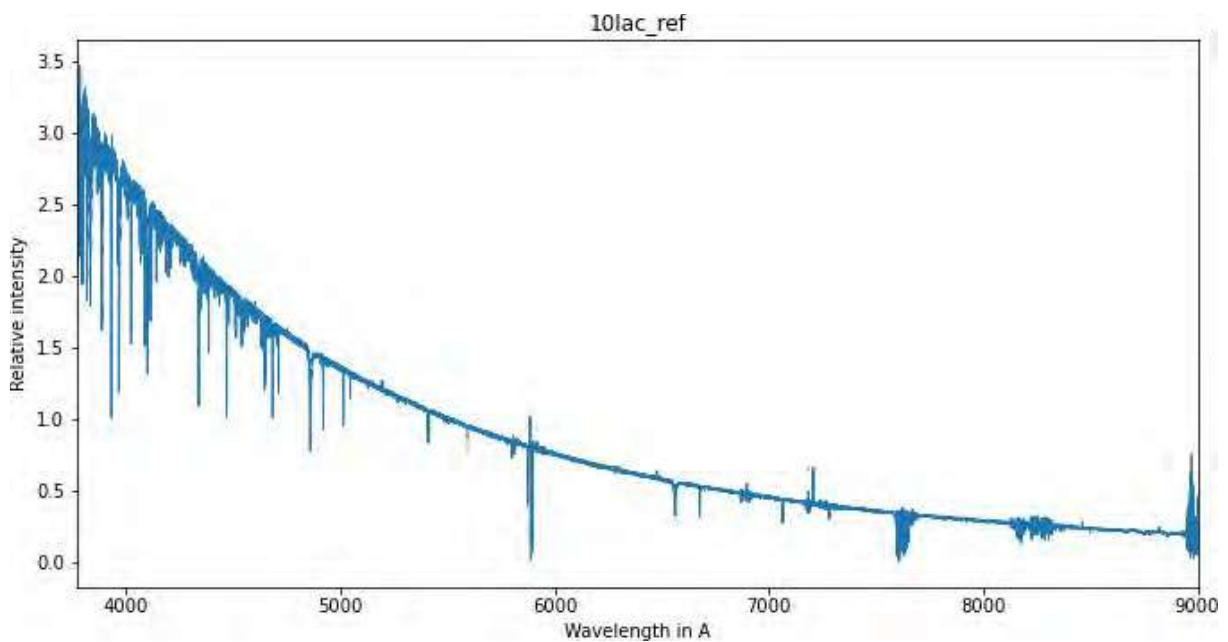
#-----

pro_conv_melchior: [00416436_melchior_spectrum, 10lac_ref, 0]

```

Wir identifizieren die Referenz der Melchior's-Datei für den Stern 10 Lac. Wir entscheiden uns für den Namen „10lac\_ref“ für die resultierende Datei. Schließlich möchten wir, dass die atmosphärischen Linien nicht vorhanden sind (die Autoren der Melchior's-Datenbank haben darauf geachtet, eine Version der Spektren zu erstellen, in der diese parasitären Linien aus unserer eigenen Atmosphäre entfernt wurden, und genau diese verwenden wir).

So sieht das Melchior's-Spektrum in seiner gesamten spektralen Ausdehnung aus, das mit einem Schritt von 0,05 Angström von specINTI abgetastet wurde:



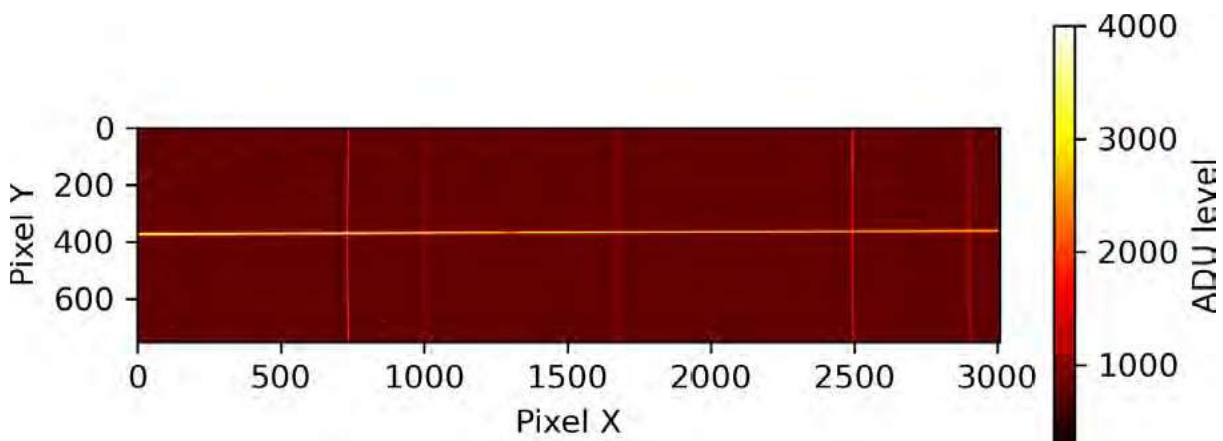
### 20.3 Berechnung des 10-Lacertae-Spektrums ohne instrumentelle Korrektur

Die Daten wurden am 8. November 2023 mit einem Ascar 107PHQ-Teleskop (107 mm Durchmesser, 750 mm Brennweite), einem Star'Ex HR-Spektrografen (2400 Linien/mm Gitter) und einer ASI533MM Pro-Kamera. Insgesamt wurden 7 Spektren dieses Objekts um die H-Alpha-Linie herum mit einer Belichtungszeit von jeweils 300 Sekunden aufgenommen. Die Spektralkalibrierung erfolgt über eine Kunststofffaser mit einem Durchmesser von 1,5 mm, die ständig das Signal einer Neonlampe an die Mitte der 107-mm-Linse sendet (dies ist der laterale Modus). Das Flatfield wird durch Platzieren eines LED-Panels vor dem Objektiv erzeugt (38 Belichtungen mit einer Belichtungszeit von 6 Sekunden für das verwendete Modell). Der Beobachtungsort befindet sich in Antibes Juan-les-Pins im Süden Frankreichs.

Die Rohdaten für diese Beobachtung können unter folgender Adresse heruntergeladen werden:  
<http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/melchiors/data/10lac.zip>

Die für dieses Beispiel nützlichen Konfigurationsdaten können hier heruntergeladen werden:  
<http://www.astrosurf.com/buil/specinti2/melchiors/configuration/configuration.zip>

Mit diesen Inhalten können Sie die Verarbeitung nachverfolgen und den in diesem Fall verwendeten Ansatz besser verstehen. Zögern Sie nicht, dies zu tun. Beachten Sie, dass zur Reduzierung des Datenvolumens die Offset-, Dunkel- und Flat-Field-Bilder (DOFs) in vorverarbeiteter Form bereitgestellt werden. Das folgende Bild zeigt eines der 7 Bilder, in dem zusätzlich zum Spektrum die Kalibrierungslinien überlagert sind.



Die 7 Bilder des Spektrums von 10 Lac werden wie üblich mit specINTI behandelt, hier im Modus 4 (lateraler Modus mit einem vorab festgelegten Spektraldispersionsgesetz). Wir wenden jedoch keine Korrektur der instrumentellen Empfindlichkeit an, da diese derzeit als unbekannt gilt. Hier ist die vollständige Auflistung der verwendeten Konfigurationsdatei:

```
# *****
# CONF_HR1_10lac (mode 4)
# *****
#-----
# Working directory #
#-----
working_path: D:/starex374
#-----
# Processing batch file #
#-----
batch_name: 10lac
#-----
# Spectral calibration mode #
#-----
calib_mode: 4
#-----
# Calibration polynomial #
# observation #374
#-----
calib_coef: [-1.092363802124218e-06, 0.10117821188182664, 6433.414563476807]
#-----
# Automatic search for neon calibration lines #
#-----
auto_calib: [6490, 6690]
#-----
# Width in pixels of the neon calibration line search area #
#-----
search_wide:40#
#-----
# Binning width #
```

```
#-----  
bin_size: 20  
#-----  
# Sky background calculation zones #  
#-----  
sky: [160, 22, 22, 160]  
#-----  
# Erasing calibration sidelines #  
#-----  
clean_wave: [6506.5, 6532.8, 6598.9, 6678.27]  
clean_wide: [1.1, 0.8, 0.9, 0.5]  
#-----  
# Radius of curvature of the smile #  
#-----  
smile_radius: -18000  
#-----  
# Sky extraction mode (1 = optimal) #  
#-----  
sky_mode: 1  
#-----  
# Horizontal terminals for geometric measurements #  
#-----  
xlimit: [400, 1800]  
#-----  
# Instrumental response #  
#-----  
# instrumental_response: _rep374  
#-----  
#Atmospheric transmission correction#  
#-----  
simbad: 1
```



corr\_atmo: 0.20

#-----

# Median filtering pattern (0 = no median filtering) #

#-----

kernel\_size: 0

#-----

# Gaussian filtering #

#-----

sigma\_gauss: 0.75

#-----

# Optimal extraction #

#-----

extract\_mode: 1

gain: 0.083

noise: 1.3

#-----

# Unit normalization area #

#-----

norm\_wave: [6640, 6660]

#-----

# Final profile cropping area #

#-----

crop\_wave: [6500, 6700]

#-----

# Longitude of the observation location #

#-----

Longitude: 7.093

#-----

# Latitude of the observation location #

#-----

Latitude: 43.581

```
#-----  
#-----  
# Altitude of the observation location in meters #  
Elevation: 40  
#-----  
# Observation site #  
#-----  
Site: Antibes Saint-Jean  
#-----  
# Instrument description #  
#-----  
Inst: Askar107PHQ + StarEx2400 + ASI533MM  
#  
#-----  
# Observer #  
#-----  
Observe: cbuil  
#-----  
# Output format (0: compact, 1: expanded) #  
#-----  
check_mode: 1  
#-----  
# S/N calculation is requested #  
#-----  
snr: [6650, 6665]  
#-----  
# Spectral shift requested #  
#-----  
spectral_shift_wave: 0.025  
#-----  
# Correction of the barycentric speed of the Earth #
```

#-----

corr\_bary: 0

Wie immer können Sie sich von dieser Konfigurationsdatei für Ihre eigenen Beobachtungen inspirieren lassen, aber seien Sie vorsichtig, denn sie wird hier in einer Zwischenversion präsentiert, die nicht unbedingt unverändert übernommen werden sollte. Vier Punkte sind zu beachten:

Erstens ist die Zeile „instrumental\_response“ derzeit auskommentiert, da der Parameter noch nicht ausgewertet wird.

Zweitens ist das Vorhandensein des Parameters „corr\_bary“ zu beachten, dem wir den Wert 0 zuweisen. Dadurch wird specINTI gezwungen, die baryzentrische Geschwindigkeit der Erde zum Zeitpunkt der Beobachtung (mit anderen Worten, die Radialgeschwindigkeit des Objekts ist diejenige, die wir vom Zentrum der Sonne aus sehen würden). Die Angabe 0 bedeutet hingegen, dass die Radialgeschwindigkeit des Objekts selbst nicht korrigiert wird, was auch bei den Melchior-Daten der Fall ist.

Drittens wird die Korrektur der atmosphärischen Transmission (mit Ausnahme der Moleküllinien) mit dem Befehl „corr\_atmo“ durchgeführt. Der hier verwendete AOD-Wert beträgt 0,2, da der Himmel als nicht sehr transparent angesehen wird (im Durchschnitt wird 0,13 verwendet). Diese Korrektur ist ein grundlegendes Element, da sie es uns ermöglicht, die tatsächliche „instrumentelle Reaktion“ zu ermitteln.

Beachten Sie schließlich, dass der Parameter „spectral\_shift\_wave“ einen Wert von +0,025 Angström hat. Diese geringfügige Korrektur ist darauf zurückzuführen, dass die Faserbelichtung der Pupille zu punktgenau ist, was zu dieser Verzerrung bei der spektralen Kalibrierung führen kann. Führen Sie eine Kontrolle durch, indem Sie eine erste Bearbeitung durchführen, und überprüfen Sie dann die Kalibrierung der tellurischen Linien mit dem Tool „Verif atmo“ in der Registerkarte „View profile“ unter specINTI Editor. Hier ist der Inhalt der Registerkarte „Observation“ für unser Beispiel, mit dem Sie die Beobachtungsdatei „10lac.yaml“ erstellen können:

Répertoire observations : D:/starex374 Parcourir

Nuit Effacer

Liste objets : 10 Lac Auto

Liste images : 10Lac-

Nb image par objet : 7

Liste calibration : none

Nb image calibration : 0

▲ Mode avancé

Fichier(s) Offset : \_offset nb : 0

Fichier(s) Dark : \_dark nb : 0

Fichier(s) Flat : \_flat nb : 0

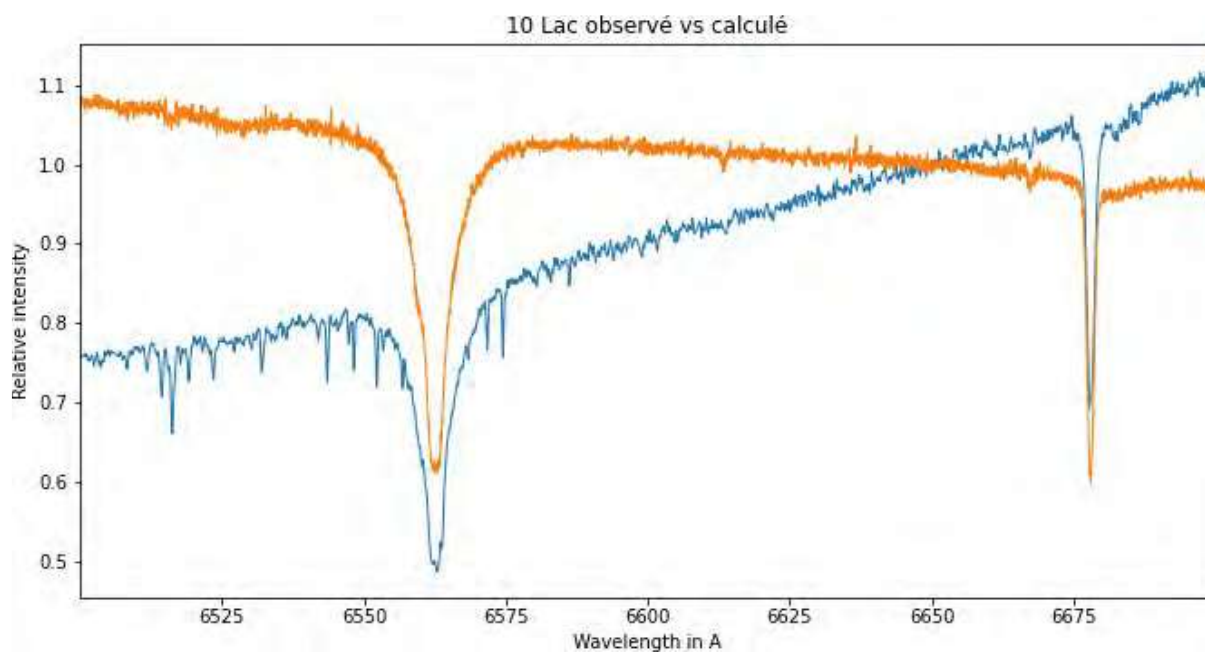
Fichier Img postfix : -

Fichier Cal prefix :

Fichier Cal postfix : \_neon-

Fichier observations à sauver : 10lac Sauver

Klicken Sie auf die Schaltfläche „Ausführen“, um die Verarbeitung zu starten. Am Ende erhalten Sie das folgende Ergebnis, dargestellt in Blau, während in Orange der Spektrumauszug aus der Melchior-Bibliothek für den Stern 10 Lac dargestellt ist:



Das Erscheinungsbild des Kontinuums unterscheidet sich zwischen diesen beiden Spektren erheblich, was auch richtig ist, da wir keine instrumentelle Antwortkorrektur durchgeführt haben. Die Tatsache, dass unser Spektrum (blaue Kurve) im roten Bereich intensiver erscheint als im blauen, ist auf die Verwendung eines LED-Panels zur Erzeugung des Flatfields zurückzuführen. LED-Licht hat im Vergleich zu blauem Licht einen Mangel an Rot, was zu einer Überkorrektur führt, wenn Rohbilder durch das Flatfield-Masterbild geteilt werden. Genau dieses Problem werden wir nun beheben, indem wir das Referenzspektrum aus der Melchior-Bibliothek nutzen.

Tipp: Mit der Funktion „\_pro\_norm“ können Sie das Referenzspektrum von Melchior über einen bestimmten Wellenlängenbereich auf den Wert 1 normieren, um die vergleichende Darstellung zu erleichtern. Hier werden die Spektren auf die Wellenlänge von 6650 Å normiert (siehe auch den Parameter „norm\_wave“ in der Konfigurationsdatei).

## 20.4 Berechnung der instrumentellen Empfindlichkeit

Die instrumentelle Empfindlichkeit ergibt sich aus der Division des beobachteten Spektrums durch das Referenzspektrum des Sterns, der mit einer Beobachtung außerhalb der Atmosphäre assoziiert ist. Wir führen diese Berechnung mit Hilfe einer kleinen Konfigurationsdatei durch, deren Inhalt hier aufgeführt ist:

```
# CONF_MAKE_CONTINUUM

# Fits a stellar continuum to a parabolic function #
#*****

#-----

# Working directory #

#-----

working_path: D:/starex374

#-----

# Normalization to unity in a spectral interval #

#-----

_begin:
_pro_gauss: [_ref_10lac, 6, tmp1]
_pro_div: [_10lac_20231108_856, tmp1, tmp2]
_pro_fit: [tmp2, 6505, 6585, 6625, 6690, _rep374]
_end:
```

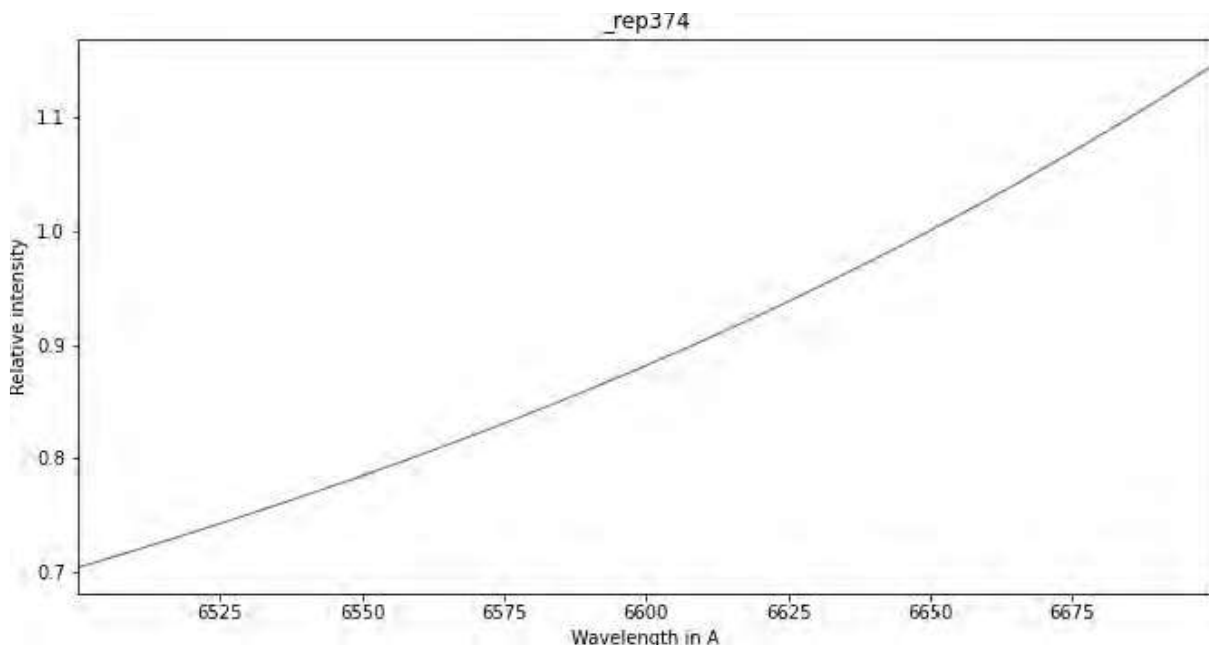
Nachdem wir den Pfad des Arbeitsverzeichnisses definiert haben, finden wir drei Funktionen, die nacheinander gestartet werden.

Zunächst führen wir eine Gaußsche Glättung des Referenzprofils \_ref\_10Lac durch, um dessen Auflösung des von uns verwendeten Star'Ex-Spektrografen. Die Filterbreite beträgt 6 Pixel (dieser Wert kann frei gewählt werden) und das Ergebnis wird in einer Datei mit dem Namen tmp1.fits gespeichert.

Anschließend befiehlt der Parameter „\_pro\_div“ die Division von tmp1.fits durch das im vorherigen Abschnitt berechnete 10-Lac-Spektrum. Das Ergebnis dieser Division ist eine Datei mit dem Namen tmp2.fits (Sie können den Namen wählen, hier „temp“ für „temporär“).

Schließlich passen wir ein parabolisches Profil an das Ergebnis der Division an, das zur tatsächlichen instrumentellen Antwort wird. Als Parameter der Funktion „\_pro\_fit“ geben wir den Namen des anzupassenden Profils (hier „tmp2“) und eine Liste von 4 Wellenlängen mit Intensitäten an, anhand derer specINTI seine Parabel anpasst. Es ist ratsam, Bereiche ohne Linien und mit gleichmäßiger Verteilung zu wählen, um die instrumentelle Antwort zu berechnen. Der Name der Datei, die die instrumentelle Antwort beschreibt, lautet \_rep374.fits (es ist üblich, die Antwortdatei mit den Daten zu verknüpfen, die ihre Berechnung ermöglicht haben, hier die Nacht Nummer 374, die mit Star'Ex erstellt wurde, wobei zu beachten ist, dass dieselbe Datei für nachfolgende Nächte verwendet werden kann).

Hier ist das Ergebnis nach dem Start des Skripts, das in der Konfigurationsdatei „conf\_make\_continuum“ geschrieben wurde:



Hier machen wir eine wichtige Anmerkung: Das Erscheinungsbild der berechneten Antwort ist recht einheitlich; wir stellen lediglich eine Steigung und eine leichte Krümmung fest. Bei der Arbeit mit hoher spektraler Auflösung und einem besonders schmalen Spektralintervall gibt es keinen Grund, warum dies anders sein sollte. Ist dies nicht der Fall, kann dies auf ein Problem im Verarbeitungsprotokoll hinweisen, wie z. B. eine falsche Verwendung des Flat-Fields (oder dessen Nichtverwendung!), eine schlechte Profilextraktion u. a. Es ist unbedingt erforderlich, diese Elemente zu korrigieren, da es keinen triftigen Grund gibt, etwas anderes als das hier dargestellte Ergebnis zu erhalten, zumindest bei hoher Auflösung (bei niedriger Auflösung kann es etwas komplexer sein).

Die Antwortkurve soll so monoton sein, dass wir uns erlauben haben, nur 4 Punkte im Spektrum zu definieren, um eine einfache Parabel (ein Polynom 2. Grades) anzupassen. Dieses Verfahren ist sicher, präzise und einfach, da es automatisiert ist.

Es muss jedoch ehrlich gesagt werden, dass die Bewertung der instrumentellen Antwort immer Überraschungen bereithalten kann. Für komplexere Fälle und zur weiteren Verbesserung des Ergebnisses bietet specINTI die Funktionen „\_pro\_fit2“ und „\_pro\_fit3“ an, bei denen diesmal jeweils

5 und 6 Punkte im Spektralintervall für die Anpassung gemäß einem Polynom 3. Grades angegeben werden müssen. Hier zum Beispiel:

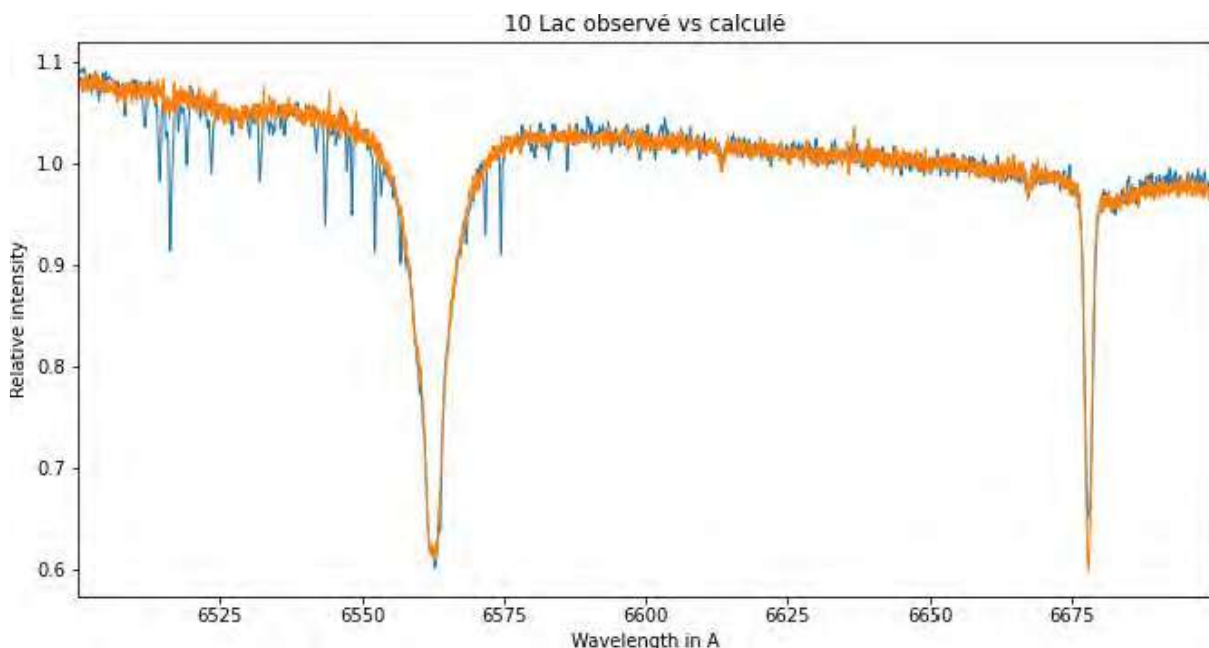
```
_pro_fit3: [tmp2, 6505, 6530, 6540, 6584, 6625, 6690, _ref374]
```

## 20.5 Berechnung des Spektrums von 10 Lacertae mit instrumenteller Korrektur

Um die instrumentelle Antwortkorrektur anzuwenden, entfernen Sie einfach das Kommentarzeichen vor der Zeile „instrumental\_response“.

```
instrumental_response: _rep374
```

Jetzt muss nur noch der gesamte Vorgang neu gestartet werden, hier ist das Ergebnis:



In Blau unser Spektrum, in Rot das aus der Melchior-Bibliothek. Nutzen wir die Gelegenheit, um zu überprüfen, ob die Wellenlängenkalibrierung korrekt ist, was hier der Fall zu sein scheint (beachten Sie die Überlagerung der Profile).

In Wirklichkeit ist es noch nicht ganz fertig. Wenn Sie ein Spektrum zur Untersuchung verteilen, beispielsweise um die BeSS-Datenbank zu füttern oder an einer STAROS-Kampagne teilzunehmen, ist es nicht immer erforderlich, die baryzentrische Geschwindigkeitskorrektur durchzuführen. Achten Sie in diesem Fall darauf, die Zeile „corr\_bary“ auszukommentieren (entfernen Sie das #-Zeichen davor), wenn Sie in diesem Zusammenhang arbeiten. Starten Sie dann den Prozess neu, und Ihr Spektrum ist bereit für die Auswertung!

Die so berechnete Antwort kann zur Bearbeitung anderer Spektren verwendet werden. Einmal ausgewertet, handelt es sich um eine „instrumentelle Konstante“, die über viele Nächte hinweg verwendet werden kann, ohne dass eine Neubewertung erforderlich ist. Hier sehen Sie beispielsweise das Ergebnis der Verarbeitung des Spektrums des Sterns Deneb (in Blau), das unter ähnlichen Bedingungen (107-mm-Objektiv, Star'Ex, hier 30 x 120 Sekunden) und mit derselben instrumentellen Antwort aufgenommen wurde – und in Orange das Spektrum von Deneb (Alpha Cyg), das ebenfalls in der Melchior-Bibliothek vorhanden ist.

