

Der Context SMS

Günter Gebhard

22. Januar 2011

Der Context SMS dient der Extraktion von Rohspektren, die mit einem Spalt-spektrographen gewonnen wurden. Jedem Pixel der Rohaufnahmen wird mit Hilfe eines Vergleichsspektrums die Wellenlänge zugeordnet, so dass auch die Spektren von Reihenaufnahmen in denen das Objekt längs des Spalts auf und ab wandert mit der korrekten Wellenlängenskala versehen werden. Verbiegungen des Spektrogra-phen bei langen Aufnahmeserien werden durch Korrelation der späteren Aufnah-men mit der ersten aus der Serie zurück gerechnet. Bisher werden Bias, Dark und Flatfields berücksichtigt. Die Spektren können normiert werden, Äquivalentbrei-ten bestimmt werden und das Signal/Rausch-Verhältnis wird auf eine vereinfachte Weise abgeschätzt. TODO: Kalibration mit terrestrische Linien, heliozentrische Korrektur, Standardstern.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Installation	3
1.2	Neues	3
1.3	Schreibweisen	4
1.4	Die Reduktion im Überblick	4
1.5	Kataloge in SMS	10
1.6	Das FITS-Format	10
1.7	Ergebnisdateien	11
1.8	Hilfe und Fehlerberichte	11
2	Die Kommandos des Context SMS	12
2.1	Starten	12
2.2	Eigene Einstellungen verwenden	13
2.3	Einstellungen anschauen und setzen	14
2.4	Objektspektren	14
2.5	Biases	16
2.6	Darks zu den Objektspektren	17
2.7	Darks skalieren	17
2.8	Darks subtrahieren	18
2.9	Flatfields	19

2.10	Flatkorrektur	21
2.11	Vergleichsspektrum	21
2.12	Drehen	23
2.13	Extrahieren	24
2.14	Verschiebungen beseitigen	29
2.15	Kontrollen	30
2.15.1	Kalibration in Wellenlänge	30
2.15.2	Auflösung	31
2.16	Ein eigenes Spektrum einschleusen	31
2.17	Normieren	32
2.18	Ein-Punkt-Normierung	33
2.19	Terrestrische Linien entfernen	33
2.19.1	Berechnung des atmosphärischen Spektrums	36
2.20	Signal To Noise	38
2.21	Äquivalentbreite	39
2.22	Daten ins Bild schreiben	40
2.23	Bild vom Spektrum	41
2.24	Einstellungen anzeigen	41
2.25	Einstellungen speichern	42
2.26	Ergebnisse speichern	42
2.27	Aufräumen	42
2.28	Beenden	42
2.29	Variablen	42

3 Lizenz

43

Abbildungsverzeichnis

1	Ablauf einer Reduktion	5
2	Vergleich zweier Biases	6
3	Die Biasaufnahmen zeigen nur minimale Strukturen.	7
4	Skalierung von Darks	8
5	Mittelwert aller Objektaufnahmen, <code>middummobjaver.bdf</code>	15
6	nochmal der Mittelwert <code>mobjects.bdf</code>	16
7	Der Mittelwert der Objektaufnahmen, nachdem das Masterdark <code>MODARK.bdf</code> von den Einzelaufnahmen subtrahiert wurde.	18
8	Das normierte Flat <code>NFLAT.bdf</code>	20
9	Mittelwert der Flat-korrigierten Aufnahmen <code>MFLATCORR.bdf</code>	22
10	Das Spektrum der Neonlampe	22
11	Den Drehwinkel bestimmen	23
12	Zurechtschneiden der gedrehten Spektren	24
13	Mittelwert der gedrehten Spektren <code>MROTOBJ.bdf</code>	24
14	Markierte Spektrallinien	25
15	Linien identifizieren	26
16	Die verwendeten Linien	27
17	Die Auflösung, gemessen an den Linien der Spektrallampe	31

18	Das normierte Spektrum	32
19	Auswahl des Bereichs	34
20	Anpassen des terrestrischen Spektrums	35
21	Stand der aktuellen Bereinigung	36
22	Vergleich des originalen Spektrums mit dem bereinigten	37
23	Ausschnitt mit Spektrum und künstlichem Kontinuum	39
24	Spektrum mit eingeblendeten Werten	41

Tabellenverzeichnis

1	Schreibweisen	4
2	Mediane von Darkframes	7
3	Defaultwerte einiger Variablen	13

1 Einleitung

SMS ist eine Skriptsammlung zur Reduktion von Spektren, die mit einem Spektrographen mit Spalt erzeugt wurden. SMS läuft als Context innerhalb von ESO-MIDAS.

Die Dokumentation von MIDAS beschreibt im Volume B wie Long-Slit and 1D Spectra reduziert werden können, und bietet im Anhang G ein Kochbuch zur Reduction of Long Slit and 1D Spectra mit Befehlen aus dem Context LONG . Daraus habe ich viel gelernt.

1.1 Installation

Die jeweils aktuelle Version von SMS erhält man auf www.spektros.de unter Data Reduction. Die Datei smsctx_datum_uhrzeit.tar.bz2 speichert man im persönlichen ~/midwork/ und entpackt das Archiv mit dem Befehl

```
tar xjf smsctx_datum_zeit.tar.bz2
```

Es entstehen die Datei gneon.tfits, der Link sms.ctx und das Verzeichnis sms/. Darin sind alle Skripte vom SMS enthalten. Das Unterverzeichnis doc/ enthält diese Anleitung. Wenn man keine eigene Linientabelle für Neonlampen hat, dann kopiert man in ~/midwork/ die Tabelle gneon.tfits nach neon.tfits.¹

1.2 Neues

- Mit TERR/SMS wird versucht aus dem Objektspektrum die terrestrischen Linien von Wasser und molekularem Sauerstoff weg zu rechnen.
- Seit der Version 10FEB kann die Ausgabe von WRITE/OUT farbig dargestellt werden. SMS fragt die Versionsnummer ab und zeigt Erfolgsmeldungen in grün und Hinweise

¹cp gneon.tfits neon.tfits

zur Bedienung in cyan. Leider können die Aufforderungen von `INQUIRE/KEYWORD` nicht gefärbt werden und bleiben deshalb in der Vordergrundfarbe des verwendeten Terminals.

- Seit der Version 10SEP liest Midas nur noch Fitsdateien im aktuellen Verzeichnis. Es gibt deshalb die neue Einleseroutine `copyfits.pl` mit der Kopien der Originaldateien erzeugt werden und gleich auch der Header bereinigt wird. Diese Dateien heißen `headercleanedNN.fits` und werden gleich nach ihrer Verwendung wieder gelöscht (NN ist eine laufende Nummer).
- Bei `CLEAN/SMS` wird man gefragt, welche Objektspektren in Fits verwandelt werden sollen und so der allgemeinen Vernichtung entgehen können. Der Befehl `FITS/SMS` bleibt aber zunächst erhalten.
- Diese Anleitung gibt es jetzt auch einzeln auf meiner Homepage.

1.3 Schreibweisen

Midasbefehle	SCHREIBMASCHINENSCHRIFT
Midasausgaben	Schreibmaschinenschrift
Datei- und Verzeichnisnamen	ohne Serifen
Namen von Variablen	boxed

Tabelle 1: Schreibweisen

1.4 Die Reduktion im Überblick

SMS kann bisher Reduktionen mit sechs Typen von Rohaufnahmen durchführen:

- Rohbilder vom Objekt: **Objekt**
- Darks zu den Objektaufnahmen: **ODark**
- Biasaufnahmen: **Bias**
- Flatfields: **Flat**
- Darks zu den Flats: **FDark**
- Aufnahmen einer Spektrallampe: **Lamp**.

Unbedingt notwendig sind nur die Objektaufnahmen und das Spektrum einer Spektrallampe mit dem die Zuordnung der Pixelnummern zu den Wellenlängen gemacht wird.

Die Graphik 1 zeigt den Ablauf einer Reduktion im Ganzen.

Zuerst werden die Objektaufnahmen eingelesen. Damit kennt SMS das Aufnahmedatum und die Belichtungszeit.

Dann kann man ein Masterdark herstellen, wenn noch keines vorliegt. Mithilfe eines Masterbias kann das Masterdark auch an eine leicht abweichende Belichtungszeit angepasst werden.

Eine Flatfieldserie kann zur späteren Verwendung hergerichtet werden.

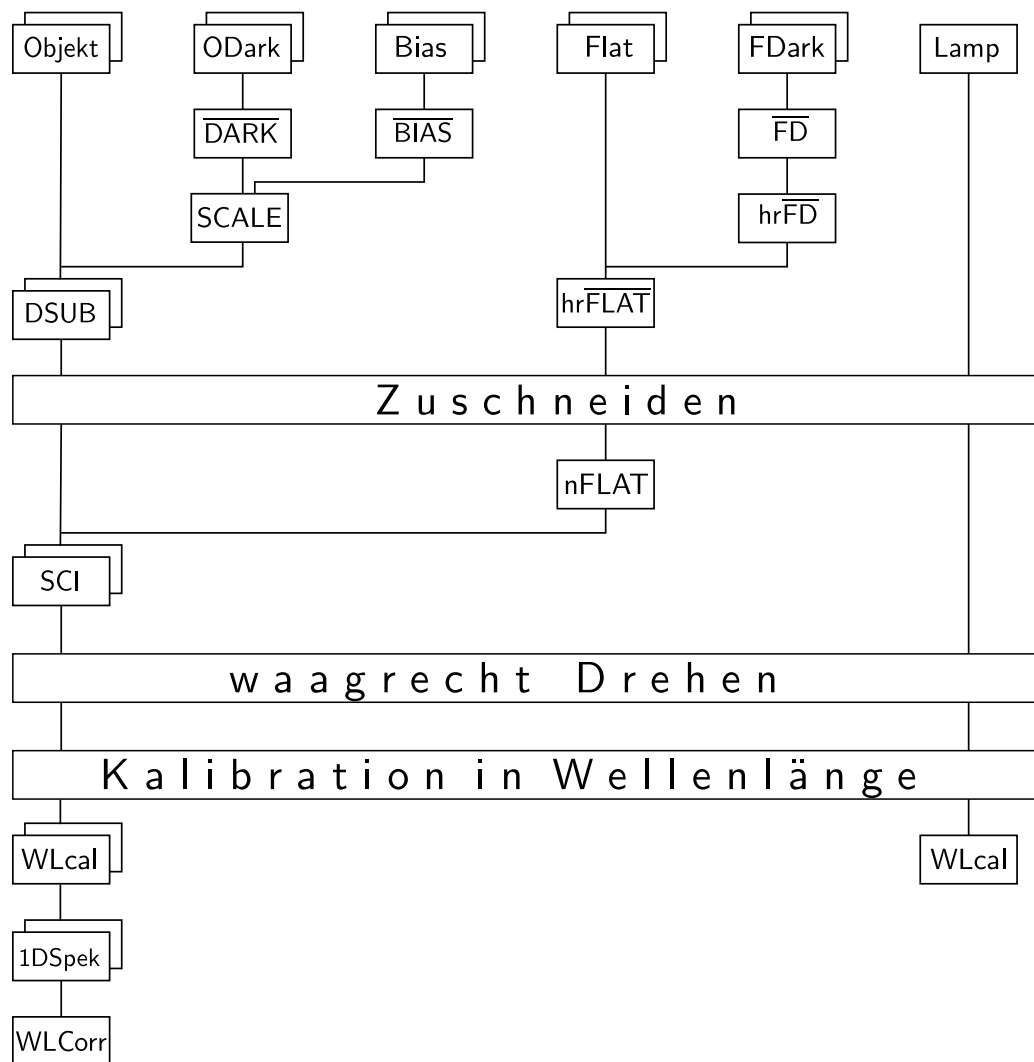


Abbildung 1: Ablauf einer Reduktion

Unbedingt notwendig ist das Vergleichsspektrum. SMS ist noch nicht dafür eingerichtet, die Wellenlängenskala aus dem Objektspektrum zu bestimmen.

Nun zieht man den Dunkelstrom von den Objektaufnahmen ab und schneidet alle beteiligten Aufnahmen soweit zu, dass unbrauchbare Randbereiche oben und unten abgeschnitten werden.

Jetzt wird das verbleibende Flatfield normiert und die Objektaufnahmen durch dieses nFlat dividiert.

Wenn nötig dreht man die Objektspektren und das Vergleichsspektrum perfekt waagrecht und kann dann endlich die Wellenlängenkalibration durchführen.

Erst jetzt werden aus den Objektaufnahmen die einzelnen Spektren extrahiert und korreliert aufeinandergelegt.

Fertig! Jetzt können die Messungen beginnen. Aber dazu später. Vorher möchte ich noch ein paar Bemerkungen zu den einzelnen Bildtypen anbringen.

Die Biasframes enthalten eigentlich nur den Gleichspannungsoffset des Ausleseverstärkers, etwas Rauschen und wenige warme Pixel. Kleinräumige Muster konnte ich nicht entdecken. Sie müssten sich bemerkbar machen, wenn man die Summe von zwei Biasaufnahmen mit ihrer Differenz vergleicht. In der Summe verstärken sich konstante Muster, in der Differenz verschwinden sie.

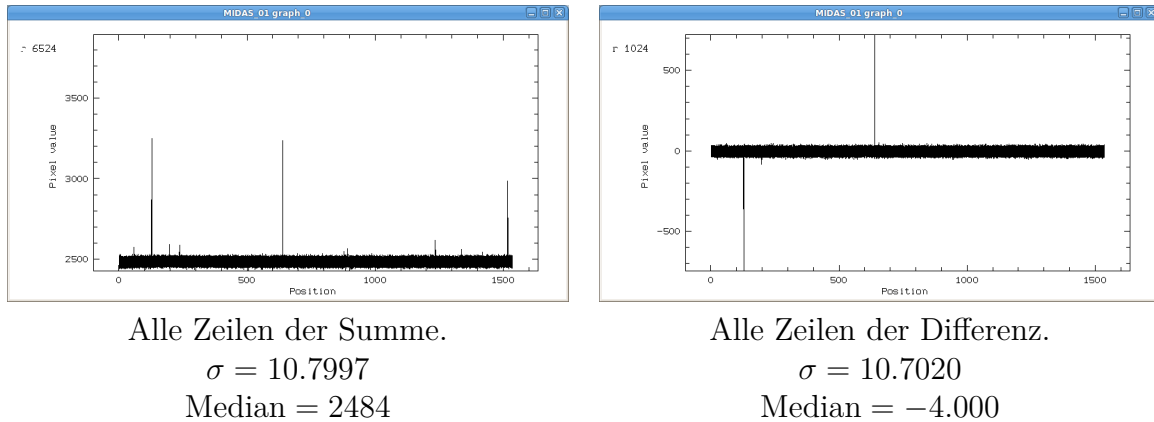


Abbildung 2: Vergleich zweier Biases

Auf den ersten Blick erkennt man, dass der dunkle Balken in beiden Bildern gleich breit ist. Im linken Bild zeigt er den DC-Offset überlagert von Rauschen, im rechten Bild ist in dem Balken nur noch das Rauschen enthalten. Die Standardabweichungen, ein Maß für das Rauschen, sind links und rechts auch beinahe gleich.²

Auf den zweiten Blick erkennt man, dass die warmen Pixel nicht völlig verschwunden sind. Jede Aufnahme hat offenbar einige wenige individuelle Kandidaten für heiße Pixel.

Bei genauem Hinsehen kann man im Summenbild aber ein leichtes Absinken des Bias zum linken Rand hin feststellen. Der Abstieg ist minimal, ca. 10 ADUs von 2480 insgesamt.

Dass in den Biasaufnahmen kaum Strukturen enthalten sind zeigt auch eine Fouriertransformation³ des Mittelwerts von 10 Aufnahmen. Die senkrechten Streifen zeigen, dass eine kleine Abweichung vom reinen Rauschen existiert. Die Amplituden dieser Strukturen sind aber sehr klein. Im Bild sind die Cuts so eingestellt, dass alle Pixelwerte unter 0,0 schwarz dargestellt sind und alle über 0,001 weiß.

Wir können von den Biasaufnahmen den Median bilden und als MBIAS verwenden. Von diesem Bild können wir außerdem noch den Mittelwert über alle Pixel berechnen und diese Zahl als völlig rauschfreien BIAS verwenden. Bei den vorliegenden Aufnahmen hat der Median des MBIAS den Wert 1240.

Dunkelströme brauchen wir für die Flatfields und für die Objektaufnahmen. Allerdings werden Flats und Objects wohl unterschiedliche Belichtungszeiten haben, so dass wir nicht den gleichen Satz von Darks verwenden können. Damit geht viel Beobachtungszeit verloren.

²Diese Werte wurden mit den Aufnahmen 2 und 3 aus einer Serie von 5 Bildern insgesamt gewonnen. Zum Vergleich hier die Daten aus den Bildern 4 und 5: $\sigma_+ = 10.83$, Median $_+ = 2470$, $\sigma_- = 10.58$, Median $_- = -3.000$.

³Eine schöne Einführung in die Interpretation der Fouriertransformation ist bei [QSIImaging](#) zu finden.

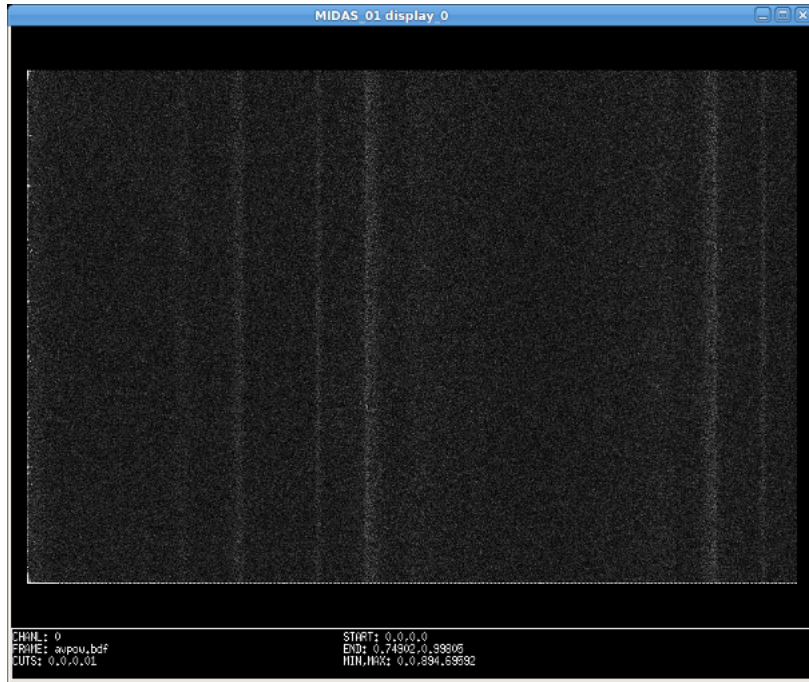


Abbildung 3: Die Biasaufnahmen zeigen nur minimale Strukturen.

Vielleicht gibt es ja einen anderen Weg.

Eine Möglichkeit wäre, immer wieder einige Sätze von Darks mit verschiedenen Belichtungszeiten auf Vorrat aufzunehmen und daraus Masterdarks herzustellen.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, Darks mit kürzerer Belichtungszeit auf die benötigte Zeit zu skalieren. Der Dunkelstrom sollte ja bei konstanter Chiptemperatur linear mit der Zeit anwachsen.

Als dritte Möglichkeit könnte man den Dunkelstrom ja direkt aus den Objektaufnahmen herauslesen. Schließlich enthält ein Rohspektrum, das mit einem Spaltspektrographen aufgenommen wurde im Idealfall nur einen Spektralstreifen und eine Unmenge schwarzer Pixel.

Schauen wir uns die Darks einmal genauer an. Mir liegen 3 Sets mit je 5 Einzeldarks vor. Die Belichtungszeiten sind 300 s, 600 s und 1200 s. Die Chiptemperatur bei der Aufnahme der Dunkelströme sowie der Biases oben war konstant -20°C . Aus den Darks gleicher Belichtungszeit habe ich jeweils der Median gebildet und davon den MBIAS subtrahiert. Mit diesen drei Masterdarks kann man nun sehen, wie der Dunkelstrom mit der Zeit anwächst. Die Mediane der drei Masterdarks sind 9, 13, 15.

Das ist nun leider überhaupt nicht linear. Warum das so nicht funktioniert zeigt ein Blick auf die einzelnen Frames der Dunkelstromserien.

Zeit	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	Δ
300s	1246	1248	1249	1250	1249	4
600s	1249	1252	1253	1253	1255	6
1200s	1254	1255	1255	1254	1254	1

Tabelle 2: Mediane von Darkframes

Die Tabelle enthält die Mediane der 15 Aufnahmen und ihre Streuung. Die Streuung ist einfach zu groß! Vielleicht ist bei dieser CCD-Kamera ja irgend eine DC-Einstellung nicht konstant genug. Oder was auch immer. So schlimm ist das auch gar nicht, weil SKYFIT/LONG sowieso einen Fit durch die dunklen Pixel oberhalb und unterhalb des Spektralstreifens legt und damit Bias, Dark und den Himmelshintergrund in einem Schritt aus dem Spektrum entfernt.

Bei den Flats ist das aber vielleicht nicht möglich, weil die Flatfieldlampe eventuell den ganzen Chip ausleuchtet. Dann brauchen wir auf jeden Fall Darks mit der richtigen Belichtungszeit. Der pure Dunkelstrom von etwa 15 ADU bei 20 min Belichtungszeit ist im Vergleich zum Bias mit 1240 ADU so gering, dass ich vorschlage auch hier den MBIAS statt eines MFDARKs zu verwenden.

Will man Dunkelströme verwenden, so wird aus den vorliegenden Aufnahmen der Median gebildet und als MODARK gespeichert. Dieses MODARK enthält den Bias und den Dunkelstrom zur jeweiligen Belichtungszeit und Chiptemperatur.

Außerdem sind da noch allerhand heiße Pixel zu sehen.

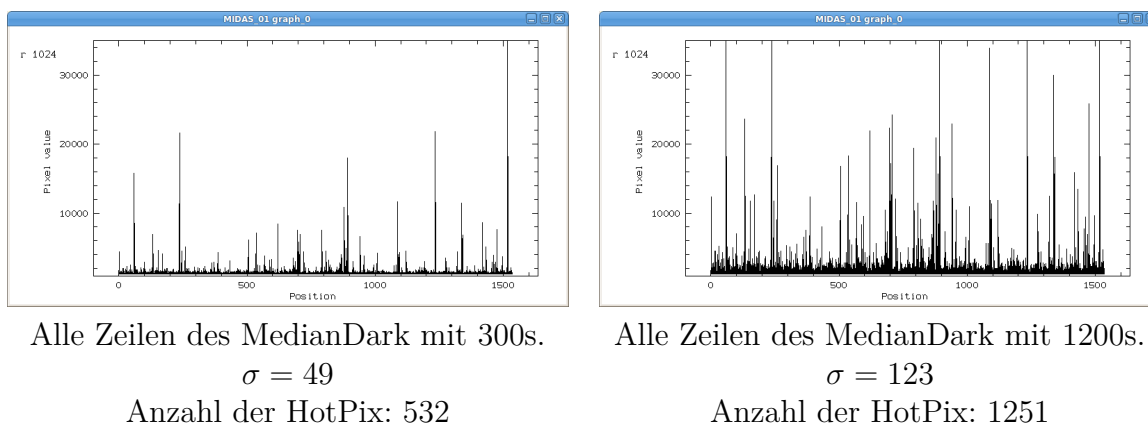


Abbildung 4: Skalierung von Darks

Wenn man die beiden Bilder genauer betrachtet, sieht man, dass manche heiße Pixel schon ganz gut skalieren. Im linken Bild sieht man rechts von 500 drei aufsteigende Linien gefolgt von einem schwächeren Block. Im rechten Bild ist der Block stärker als die drei Linien. Den Dunkelstrom kann man also nicht gut mit einem großen Faktor skalieren. Mit kleineren Faktoren mag das besser gehen. Wer will, kann mit SMS seine Darks skalieren.

Beim Masterdark für die Flatfields werden die heißen Pixel mit einem 5×5 Medianfilter heraus gefiltert. Damit vermindert sich auch noch das Rauschen im MFDARK.

Auch die Objektaufnahmen enthalten heiße Pixel, die zum größten Teil mit der Subtraktion des ungefilterten MODARK verschwinden. Wie wir aber schon bei den Biases gesehen haben, sind die heißen Pixel nicht immer ganz ortsfest, so dass auch nach der Darksabtraktion noch einige in den Objektaufnahmen übrig bleiben.

Flatfields erhält man, wenn der Spalt mit einer Kontinuumsquelle⁴ beleuchtet wird. Der Strahlengang ist oft nicht genau der gleiche, wie beim Stern. Deshalb kann man damit auch

⁴Hier eignen sich Halogenlampen und manche weißen LEDs gut

Vignettierungen nicht komplett wegrechnen. Die spektrale Empfindlichkeit des Spektrographen kann man vielleicht mit Halogenlampen einigermaßen bestimmen wenn man diese als schwarze Strahler einer Temperatur um 3000 K betrachtet. Mir ist aber keine überzeugende Kalibration mit Halogenlampen bekannt. Deshalb verwenden wir die Flatfields nur um die Störungen durch Staub auf dem Chip oder dem Eintrittsfenster der CCD zu entfernen.

Wir werden die Objektspektren durch das Flatfield dividieren. Dabei muss man allerdings behutsam vorgehen um keine Artefakte ins Objektspektrum zu bringen.

Zuerst wird deshalb der Median aller Rohflats berechnet und davon der MFDARK⁵ abgezogen. Das verbleibende Flat wird nun von heißen Pixeln befreit. Im nächsten Schritt werden die großräumigen Variationen entfernt, indem ein zweidimensionales Polynom an das Flat gefittet wird. Das Polynom hat höchstens den Grad 3 in jeder Dimension und kann deshalb den kleinen Schattenfiguren, die der Staub erzeugt nicht folgen.

Wenn man nun das Flat durch den Fit dividiert, dann entsteht ein Bild, das fast überall den Wert 1 hat, nur in den abgeschatteten Bereichen ist die Intensität geringer. So erhalten wir das normierte Masterflat NFLAT. Später werden wir die Objektspektren durch NFLAT dividieren.

Die Objektaufnahmen werden nicht gemittelt, da das Spektrum in den Aufnahmen längs des Spaltes auf und ab wandern kann. Außerdem kann es bei langen Aufnahmeserien vorkommen, dass sich der Spektrograph etwas verbiegt. Dann kann das Spektrum sogar in Dispersionsrichtung verschoben werden. Ich gehe aber davon aus, dass das Vergleichsspektrum unmittelbar vor dem ersten Objektspektrum angefertigt wurde.⁶ Deshalb kann man später alle einzelnen Objektspektren mit dem ersten korrelieren. Hoffen wir, dass der Stern nicht so variabel ist, dass sich sein Spektrum innerhalb einiger Stunden verändert.

Vergleichsspektren werden mit einer Gasentladungslampe hergestellt, sei es eine teure ThAr-Lampe oder eine einfache Neon-Lampe, die man aus dem heimischen Herd ausgebaut hat. Diese Lampen emittieren typische Spektrallinien mit bekannten Wellenlängen.⁷

Die Spektrallinien erzeugen auf dem Chip bei den bekannten Wellenlängen Bilder des Spaltes. Bei großen Chips gehen diese Spaltbilder nicht über die ganze Höhe. Dann werden wir die Aufnahmen passend beschneiden. Im verbliebenen Bereich kann nun jedem Pixel des Chip eine Wellenlänge zugeordnet werden. Es ist deshalb nicht so wichtig, wo genau das Objektspektrum liegt und auch Linien von ausgedehnten Emissionsnebels erhalten im ganzen Bereich die korrekten Wellenlängen. Bei jeder Beobachtungsnacht sollte man vor jeder Serie von Objektaufnahmen ein solches Vergleichsspektrum aufnehmen. Von den Vergleichsspektren müssen wir keine Mittelwerte bilden, die Qualität einer einzelnen Aufnahme reicht völlig aus.

Nun haben wir alle Aufnahmen beisammen, um eine Reduktion durchführen zu können. Die Tabelle gibt eine typische Abfolge der Befehle des Context SMS. Die Arbeitsweise der einzelnen Befehle wird dann im Kapitel 2 genauer erklärt.

Einige Befehle von SMS bearbeiten Einzelaufnahmen des gleichen Typs ohne einen Mittelwert

⁵Siehe aber oben die Bemerkung zum MBIAS statt MODARK

⁶Oft brennt sich das Vergleichsspektrum in den Chip ein, weil Photoelektronen in das Substrat abwandern. Wenn das auftritt, bleibt nichts anders übrig, als mit den weiteren Aufnahmen 1 bis 2 Minuten zu warten. Dann sollte das Geisterbild verschwunden sein.

⁷Links zu Spektralatlanten: [ThAr](#), [HeNeAr](#), verschiedene [Gasentladungslampen](#).

herzustellen. Die Namen der bearbeiteten Aufnahmen werden dann in einem Katalog gespeichert. Befehle, die diese Einzelaufnahmen weiterbearbeiten, bekommen dann nur den Katalog mitgeteilt. Erst bei **EXTRACT/SMS** wird aus den Einzelspektren noch ein Summenspektrum erzeugt. Damit der Bearbeiter auch etwas zu sehen bekommt wird trotzdem aus den erzeugten Einzelaufnahmen jeweils der Durchschnitt gebildet und im Display als Ergebnis präsentiert.

1.5 Kataloge in SMS

Um das Rauschen in den Daten zu verkleinern ist es sinnvoll, von mehreren Aufnahmen den Durchschnitt zu bilden. Deshalb wird man mehrere Objektspektren und Flatfields vom gleichen Spektralbereich herstellen und viele Dunkelströme mit geeigneter Belichtungszeit aufnehmen. Diese Aufnahmen werden von SMS in Katalogen verzeichnet. Die Befehle zur Bearbeitung der Rohdaten lesen die Einträge in diesen Katalogen und tragen die Namen ihrer Ergebnisse wieder in eigene Kataloge ein.

So erzeugt **OBJECT/SMS** den Katalog **OBJECTS.cat**. Aus diesem Katalog liest dann **DARK/SMS** und schreibt die Namen der Rohspektren, die vom Dunkelstrom befreit sind in den Katalog **DARKSUB.cat**

Der Namen des zuletzt erzeugten Katalogs wird in der Variablen `smslastcat` gespeichert. Die Befehle, die Kataloge verwenden lesen diese Variable und verwenden standardmäßig den zuletzt erzeugten Katalog.

Wenn man also gleich nach **DARK/SMS** die Extraktion der Spektren mit **EXTRACT/SMS** anstößt, werden die Spektren extrahiert, die in **DARKSUB.cat** verzeichnet sind. Führt man allerdings vorher noch die Flatfieldkorrektur durch, dann werden die Spektren aus **FLATCORR.cat** extrahiert. Selbstverständlich kann man auf der Kommandozeile erzwingen, dass ein bestimmter Katalog verwendet wird: **EXTRACT/SMS DARKSUB.cat** reduziert auf jeden Fall die Spektren aus **DARKSUB.cat**, selbst wenn die Flatfieldkorrektur vorgenommen wurde.

Der Befehl **READ/KEYWORD {smslastcat}** zeigt den Inhalt der Variablen `smslastcat` an.

1.6 Das FITS-Format

Eine FITS-Datei besteht aus zwei Teilen, dem Header im ASCII-Format und dem binären Datenteil. Obwohl das Format recht gut dokumentiert ist, hält sich kaum ein Programm zur Steuerung einer CCD an diese Vorschriften.

SMS erzeugt beim Einlesen der Originaldateien Kopien mit korrigiertem Header und richtig aufgefülltem Datenbereich. Die Originaldaten werden dabei nicht angetastet. Es genügt wenn der Bearbeiter nur das Leserecht an den Originaldateien hat.

Der Zeitpunkt des Beginns einer Objektaufnahme ist wichtig, wenn man die zeitlichen Veränderungen im Spektrum eines Objekts untersuchen will. Die Definition des Fitsstandards ist in diesem Bereich leider etwas unbestimmt.

Der Deskriptor `DATE-OBS` muss das Datum in der Form `yyyy-mm-dd` enthalten und kann auch noch zusätzlich den Beginn der Aufnahme in UT enthalten. Dann aber muss es die Form `yyyy-mm-ddThh:mm:ss[.sss]` aufweisen. Die verschiedenen Programme zur Steuerung der CCDs erzeugen meistens einen Eintrag `DATE-OBS`, der das Datum und die Uhrzeit enthält.

Nur MaximDL kann man leider so einstellen, dass die Uhrzeit nicht in `DATE-OBS`, sondern in `TIME-OBS` enthalten ist.

Midas verwendet allerdings die Uhrzeit aus `DATE-OBS` nicht, sondern erwartet sie in UT im Deskriptor `TM-START`, und auch nicht im Format `hh:mm:ss`, sondern in Sekunden seit Mitternacht. Ich kenne keine Aufnahmesoftware, die diesen Header in ihre Fitsdateien schreibt.

Das Perlskript `fixfits.pl` erzeugt diesen Header aus den Rohdaten. Dazu lagen mir Aufnahmen vor, die mit folgenden Programmen erzeugt wurden:

- PISCO für Audine und davon abgeleitete CCD-Kameras,
- CCDSOFT für SBIG,
- SCPro für Sigma und
- MaximDL.

Wenn diese Korrektur nicht funktionieren sollte, dann kann man sie auch einfach abschalten indem man die Variable `smsheadercheck` auf `n` setzt.

```
set/sms smsheadercheck=n
```

1.7 Ergebnisdateien

Der Befehl `EXTRACT/SMS` erzeugt zwei Dateien die das eindimensionale Spektrum enthalten. Die erste Datei trägt einfach den Namen, wie er in `smsresult` abgelegt ist. Der Name der zweiten Datei entsteht durch anhängen von `_av`.

Die Befehle die das extrahierte Spektrum bearbeiten schreiben ihre Messungen einfach in den Header der ersten Datei von `EXTRACT/SMS`. Wenn neue Dateien erzeugt werden, dann wird diese Datei dann einfach überschrieben. Das macht aber nichts, weil jeweils der vorhergehende Befehl eine Sicherungskopie nach dem oben genannten Muster angelegt hat. So bekommt die Datei `smsresult.bdf` alle Bearbeitungsschritte mit.

Genaueres steht bei der Besprechung der einzelnen Kommandos.

1.8 Hilfe und Fehlerberichte

Zu jedem Befehl kann man eine kleine Hilfe aufrufen, indem man als ersten Parameter `-h` angibt.

Z.B. `FDARK/SMS -h`

Wer Fehlerberichte an den Autor schicken will, möge bitte vorher diese gesamte Anleitung durchlesen. Wenn das nicht hilft, bitte ich darum `smsverb` auf `y` zu setzen und dann den Befehl, der nicht funktioniert hat nochmal aufzurufen.

Wenn auch das nicht weiterhilft, dann schicken Sie mir bitte die Fehlermeldung und auch noch die Logdatei `midwork/FOREGRxx.LOG`. Dabei ist `xx` eine Folge von zwei Ziffern.

2 Die Kommandos des Context SMS

Die Kommandos des Context SMS werden nun im Einzelnen vorgestellt. Dazu werden Beispieldateien verwendet, die Berthold Stober und Lothar Schanne 2008 auf Teneriffa gewonnen haben. Unser Arbeitsverzeichnis wird also Teneriffa/ heißen. Im Unterverzeichnis Teneriffa/origs/ liegen die Originaldateien.

```
dark1x1_1200s-001.fit
dark1x1_1200s-002.fit
dark1x1_600s-001.fit
dark1x1_600s-002.fit
dark1x1_600s-003.fit
flat_1x1_600s-001_9p30.fit
flat_1x1_600s-002_9p30.fit
flat_1x1_600s-003_9p30.fit
the1OriC_1x1_1200s-001.fit
the1OriC_1x1_1200s-002.fit
the1OriC_1x1_1200s-003.fit
the1OriC_1x1_1200s-004.fit
the1OriC_1x1_1200s-005.fit
the1OriC_1x1_1200s-006.fit
the1OriC_1x1_Neon_after.fit
the1OriC_1x1_Neon_before.fit
```

Wir starten also ESO-MIDAS im Verzeichnis Teneriffa.

```
cd Teneriffa
inmidas
```

2.1 Starten

Wir laden zunächst den Context SMS und erledigen einige Vorarbeiten. Die Extraktion der Spektren beginnt erst mit 2.4.

SET/CONT SMS

Set parameters to default value

Your Language [de]:

startet den Context SMS und stellt die neuen Kommandos bereit. Der Benutzer wird auch gleich nach der gewünschten Sprache gefragt. Derzeit sind aber nur Englisch (en) und Deutsch (de) implementiert. Die Voreinstellung ist de. Diese Voreinstellung bleibt erhalten, wenn man ohne weitere Eingabe ENTER drückt. Es wurde versucht alle Abfragen so zu gestalten, dass der bloße Druck auf die ENTER-Taste sinnvolle Voreinstellungen übernimmt.

Einige Voreinstellungen zeigt die Tabelle 3. Sie können jederzeit mit den Befehlen SET/SMS bzw. SET/LONG geändert werden.

Normalerweise teilt SMS dem Bearbeiter nur das Nötigste mit. Wenn man alle Fehler- und Erfolgsmeldungen mitlesen will, setzt man die Beredsamkeit des Context SMS auf y.

SET/SMS smsverb=y

Die östliche Länge⁸ des Observatoriums wird zur Berechnung des julianischen Datums und der barycentrischen Geschwindigkeit des Beobachtungsorts aus der Beobachtungszeit gebraucht. Die Beobachtungszeit muss dabei in UT im FITS-Header gespeichert sein. Es ist Aufgabe der Aufnahmesoftware aus Rechnerzeit und Zeitzone die Universal Time zu berechnen. Wir teilen SMS die westliche Länge des Observatoriums auf dem Pico del Teide mit:

SET/SMS smslong=-16,30,35

Context	Keyword	Wert	Bedeutung	Werte
SMS	smsverb	l	Meldungen mitlesen	y, n, l
SMS	smslang	de	Sprache	de, en
SMS	smstype	s	Art des Objekts	s=Stern, m=manuell, f=full
SMS	smsflip	n	alle Rohdaten flippen	y, n
SMS	smsheadercheck	y	Datum im Header prüfen	y, n
SMS	smsdisplayscale	-2	Bildmaßstab	ganze Zahl
SMS	smslindisp	0.1	gewünschte Lineardispersion	Dezimalzahl
SMS	smslong	11,29,16	östliche Länge des Beobachtungsorts in Grad, Minuten Sekunden	Zahl,Zahl,Zahl
LONG	gain	1.8	Gain des CCD	Zahl
LONG	ron	16	Ausleserauschen	Zahl
LONG	lincat	neon	Linienkatalog	Text
LONG	twodopt	y	2D Dispersion	y, n

Tabelle 3: Defaultwerte einiger Variablen

Wenn die Wellenlänge in den Spektren nicht von links nach rechts, sondern von rechts nach links ansteigt, müssen die Aufnahmen geflippt werden. Dazu setzt man das Keyword `smsflip` jetzt auf y. Geflippt wird jedoch erst bei EXTRACT/SMS. Die Originaldaten werden dabei wieder nicht angetastet.

Midas wird vom Context SMS in den Midas-Modus geschaltet, d.h. alle neu erzeugten Bilder und Tabellen sind im Midasformat mit der Endung .bdf bzw. .tbl und nicht im FITS-Format. ESO-Midas läuft schneller, wenn es seine eigenen Formate verwenden darf. Einige Befehle des Context LONG und EDIT/FIT setzen ohnehin das Tabellenformat .tbl voraus.

Diese Formate unterscheiden sich allerdings je nach verwendetem Betriebssystem und sind deshalb *nicht geeignet zum Archivieren von Ergebnissen*. Dazu müssen die gewünschten Dateien erst in das standardisierte FITS-Format verwandelt werden. Das wird mit dem SAFIT/SMS in Abschnitt 2.26 erledigt.

2.2 Eigene Einstellungen verwenden

Wenn man eigene Voreinstellungen verwenden will, dann kann man im Verzeichnis midwork/sms die Datei ownsms.prg erstellen. Alle Kommandos, die in dieser Datei stehen werden ausgeführt,

⁸östliche Längen sind positiv, westliche negativ anzugeben.

wenn man

OWN/SMS

aufruft. Die Datei `ownsms.prg` wird nicht mitgeliefert. Die eigenen Einstellungen werden bei einem Update also auch nicht überschrieben.

Die Datei `ownsms.prg` könnte zum Beispiel die Zeilen

```
set/sms smsobserver="Leopold Bloom"  
set/sms smslat=43,23,24.5  
set/sms smslong=-11,03,45.7  
set/sms smsflip=y  
set/sms smslindisp=0.1
```

enthalten.

Syntax : OWN/SMS

2.3 Einstellungen anschauen und setzen

Einige Einstellungen, die für die Verarbeitung der Spektren wichtig sind, kann man mit dem Befehl

BASIC/SMS

anschauen und verändern. Der Reihe nach werden folgende Variablen mit ihren momentanen Werten präsentiert. Wir tragen die Werte für die Beobachtung am Pico del Teide ein.

```
Beobachter smsobserver=+: Lothar und Berthold  
Objekt smsobject=Star: Theta1 Ori C  
Rektaszension smsra=0.0,0.0,0.0: 5,35,16.5  
Deklination smsdec=0.0,0.0,0.0: -5,23,24  
geogr. Laenge (oestl. positiv) smslong=11.0,29.0,16.0: 16,30,35  
geogr. Breite (noerdl. positiv) smslat=49.0,16.0,26.0: 28,10,0  
Meereshoehe in m smselev=595.0: 2390
```

Wenn man einfach nur ENTER drückt, bleibt der Inhalt der Variablen unverändert. Die Änderungen sind nur für die aktuelle Sitzung wirksam. Sie werden nicht dauerhaft gespeichert.

Die Texteingaben dürfen hier auch Leerzeichen enthalten.

Syntax : BASIC/SMS

2.4 Objektspektren

OBJECT/SMS `origs/the1OriC_1x1_1200s-00*.fit`

Das Muster `origs/the1OriC_1x1_1200s-00*.fit` passt genau auf die sechs Objektspektren im Unterverzeichnis `origs/`. Diese sechs Dateien werden nun von dem Perlskript `fitsfix.pl` der Reihe

nach auf `middummbb.fits` kopiert und in gültige FITS-Dateien umgewandelt. Die Originaldateien werden dabei nicht angetastet, und bleiben in ihrem ursprünglichen Zustand, wie sie von der CCD-Software geschrieben wurden.

Die Datei `middummbb.fits` wird in das `bdf`-format verwandelt und so der Reihe nach Objektspektren `ob0001.bdf` - `ob0006.bdf` erzeugt. Diese werden in den Katalog `OBJECTS.cat` aufgenommen.

`OBJECT/SMS` liest auch die Abmessungen der CCD-Aufnahmen aus. Damit werden dann die Abmessungen des `Imagedisplays` berechnet, das in späteren Befehlen geöffnet wird. Selbst kleine CCD-Chips sind schon 800 Pixel breit. Damit würde das Display eine Breite von 820 Pixeln erhalten. Für die Auswahl von Hintergrundbereichen und Objektgrenzen ist das unnötig. Deshalb werden die Bilder im Maßstab 1:2 dargestellt. Dies kann man ändern, indem man die Variable `smsdisplayscale` auf einen anderen Wert setzt. Genauer dazu kann man unter `HELP LOAD/IMAGE` erfahren.⁹

Aus dem Datum und der UT der ersten Aufnahme und der geographischen Länge des Beobachtungsorts wird nun das Julianische Datum berechnet und als `MJD`¹⁰ im Header `o_time` gespeichert. Im Textfenster wird nun das modifizierte Julianische Datum der ersten Aufnahme angezeigt.

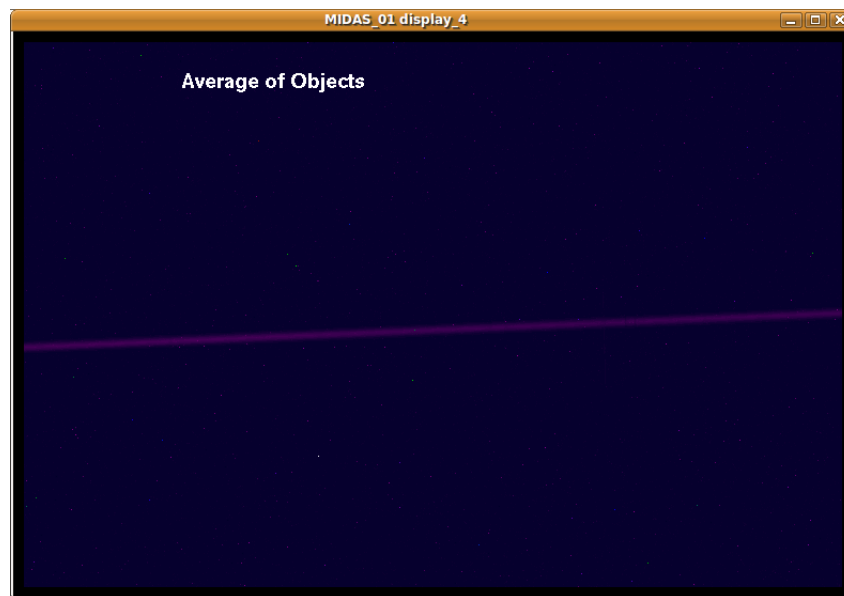


Abbildung 5: Mittelwert aller Objektaufnahmen, `middummobjaver.bdf`

Als nächstes werden die Aufnahmen in der Höhe beschnitten. Im Displayfenster muss er nun einen Bereich um den Spektralfaden auswählen, der genug Himmelshintergrund enthält. ein Bereich von etwa 200px - 400px Höhe sollte genügen.

Damit wird zum einen die Größe der Dateien verkleinert, und so die Bearbeitung beschleunigt. Der Hauptgrund ist allerdings, dass ein Bereich entstehen soll, wo im Vergleichsspektrum auch

⁹Wenn `smsdisplayscale` einen negativen Wert enthält, dann ist das Fenster kleiner als das Bild in Originalgröße. Bei `smsdisplayscale = -2` ist es genau halb so groß (2^{-1}). Wenn man dann mit `LOAD/IMAGE` ein Bild ganz anschauen möchte muss man den Verkleinerungskoeffizienten angeben. Zum Beispiel `LOAD/IMAGE &mflat sc=-2`

¹⁰ $MJD = JD - 2400000.5$

tatsächlich Linien zu finden sind und der im Flatfield auch wirklich Licht von der Halogenlampe enthält.

Zur Belohnung wird dem Betrachter nun noch der Mittelwert der ausgeschnittenen Objektaufnahmen gezeigt. Diesmal ohne Überbelichtung.

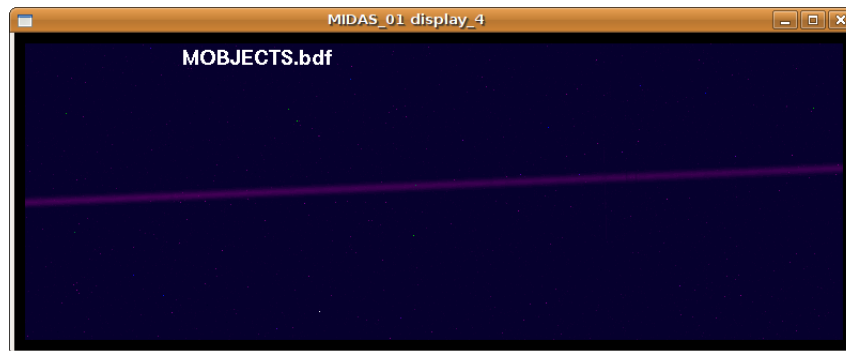


Abbildung 6: nochmal der Mittelwert `mobjects.bdf`

Entstanden sind nun der Katalog `OBJECTS.cat`, der die beschnittenen Rohaufnahmen enthält, die Datei `middummaverobj.bdf` die nur der oben schon genannte Durchschnitt der Objektspektren ist und `MOBJECTS.bdf`, die der Mittelwert der zugeschnittenen Rohspektren ist.

Die Belichtungszeit der ersten Aufnahme dieser Serie wird in der Variablen `smsexptime` gespeichert.

```
Syntax : OBJECTS/SMS P1
P1      : Pfad oder Einzelbild
Katalog: OBJECTS.cat, enthält ob0001.bdf, ...
Bilder  : MOBJECTS.bdf, Mittel aus OBJECTS.cat
```

`MOBJECTS.bdf` wird nur erzeugt, damit der Bearbeiter etwas zum Anschauen hat. Die Einzelaufnahmen `ob0001.bdf`, ... werden auch einzeln weiterverarbeitet und erst die extrahierten Spektren werden korreliert übereinander gelegt.

2.5 Biases

Biasaufnahmen sind sehr kurze (< 1 sec) Darks. Sie enthalten den Gleichspannungsanteil der Ausleseelektronik, das Infrarotlicht des Auslesetransistors und einen leicht ansteigenden Dunkelstrom, der während der Auslesedauer entsteht.

Die Biasframes enthalten kaum Cosmics oder heiße Pixel.

`BIAS/SMS orig/bias_00*`

Von den gefundenen Biases wird der Median gebildet. Das Bild wird zurecht geschnitten wie die Objektaufnahmen, und als `MBIAS.bdf` gespeichert.

Wenn die CCD einen schönen flachen Bias liefert, kann man auch den Mittelwert des Masterbias verwenden. Der ist dann ganz frei von Rauschen. Deshalb wird der Benutzer im Textfenster gefragt, ob er den Median des Masterbias verwenden will. Wird diese Frage mit `y` beantwor-

tet, dann wird der Masterbias durch ein Bild ersetzt, das überall den ermittelten Median des Masterbias enthält.

Wenn später das Vergleichsspektrum eingelesen wird, dann wird auch dieses vom Bias befreit. Dazu muss nur die Datei MBIAS.bdf existieren.

Syntax : BIAS/SMS P1
P1 : Pfad oder Einzelbild
Katalog: BIASES.cat, enthält bias0001.bdf, ...
Bilder : MBIAS.bdf, Median aus BIASES.cat

Die Datei MBIAS.bdf wird für einige Berechnungen weiterverwendet.

2.6 Darks zu den Objektspektren

ODARK/SMS origs/darks_00*.FIT

Von den gefundenen Darks wird der Median gebildet. Das Bild wird zurecht geschnitten wie die Objektaufnahmen, und als MODARK.bdf gespeichert.

Syntax : ODARK/SMS P1
P1 : Pfad oder Einzelbild
Katalog: ODARKS.cat, enthält darks0001.bdf, ...
Bilder : MODARK.bdf, Median aus ODARKS.cat

Die Datei MODARK.bdf wird später von jeder Objektaufnahme subtrahiert.

2.7 Darks skalieren

Um Beobachtungszeit zu sparen könnte man versuchen den Dunkelstrom einer bekannten Belichtungszeit auf eine andere Zeit umzurechnen, schließlich steigt der Dunkelstrom ja linear mit der Zeit an, zumindest wenn die Temperatur des CCD konstant ist und auch die Gleichspannungseinstellungen der verwendeten CCD-Kamera stabil genug sind. Das ist meistens leidlich gut erfüllt und die Skalierung ist für unsere Zwecke genau genug.

Bei den Objektaufnahmen wird später sowieso spaltenweise der „Himmelshintergrund“ abgezogen. Ein Fehler bei der Dunkelstromkorrektur verschwindet dann wieder.

Der Skalierung wird nach der Gleichung

$$\text{MODARK} = (\text{MODARK} - \text{MBIAS}) \cdot \frac{\text{smsexptime}}{\text{darktime}} + \text{MBIAS}$$

vorgenommen.¹¹

DSCALE/SMS

besorgt die Skalierung ohne weitere Eingaben, weil die Namen von Dark und Bias auf MODARK.bdf bzw. MBIAS.bdf voreingestellt sind. Die Belichtungszeiten werden aus den Headern von ob0001.bdf

¹¹darktime = o_time(7) von MODARK

und MODARK.bdf ausgelesen.

Auf der Kommandozeile kann man dies alles jedoch überschreiben.

Die skalierte Datei heißt wieder MODARK.bdf. In ihrem Header ist auch die neue Belichtungszeit eingetragen.

```
Syntax : DSCALE/SMS P1 P2 P3
P1      : Darkaufnahme (Voreinstellung MODARK.bdf)
P2      : Biasaufnahme (Voreinstellung MBIAS.bdf)
P3      : neue Belichtungszeit (Voreinstellung smsexptime)
Katalog: –
Bilder  : MODARK.bdf, mit aktualisierter Belichtungszeit in o_time(7)
```

2.8 Darks subtrahieren

Von den Rohspektren kann jetzt der Dunkelstrom abgezogen werden.

DCORR/SMS

Von den Dateien im Katalog OBJECTS.cat wird nun MODARK.bdf subtrahiert. Dabei entstehen die Dateien Dob0001.bdf usw., die dann im Katalog DARKSUB.cat aufgelistet sind. Sollte der Katalog DARKSUB.cat schon vorhanden sein, dann werden alle darin verzeichneten Aufnahmen gelöscht bevor mit den Objektaufnahmen aus OBJECTS.cat eine erneute Dunkelstromkorrektur durchgeführt wird.

Wenn man eine andere Darkaufnahme als MODARK.bdf verwenden will, dann gibt man sie einfach auf der Kommandozeile an. Wenn der Dunkelstrom schön flach ist, dann kann man hier auch eine Zahl als Dark angeben.

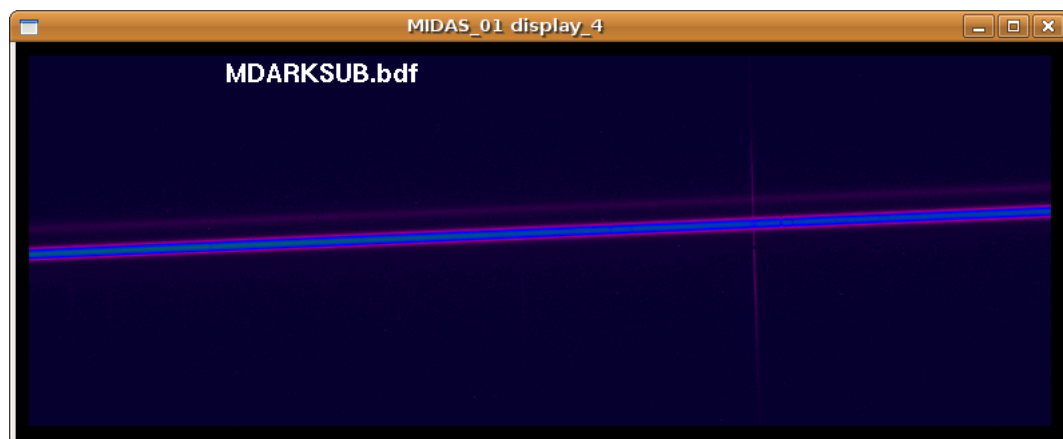


Abbildung 7: Der Mittelwert der Objektaufnahmen, nachdem das Masterdark MODARK.bdf von den Einzelaufnahmen subtrahiert wurde.

Syntax : DCORR/SMS P1
P1 : Einzelbild oder Zahl
Katalog: DARKSUB.cat, enthält Dob0001.bdf, ...
Bild : MDARKSUB.bdf, Mittel aus DARKSUB.cat

2.9 Flatfields

Gute Flatfields zu erstellen ist nicht einfach und auch nicht unbedingt nötig. Wer aber gut belichtete Flats hat, kann sie hier verwenden. Es besteht jedoch die große Gefahr, dass die flats das Rauschen im Spektrum stark erhöhen. Man sollte deshalb viele (>5) gut ausbelichtete Flatfields (>70%) herstellen.

Dunkelstromkorrektur: Bevor das Flat jedoch verwendet werden kann, muss ein geeigneter Dunkelstrom abgezogen werden. Mit dem Kommando

FDARK/SMS origs/dark_1x1_600*.fit

erzeugt man das Masterdark MFDARK.bdf als Median der Einzelframes.

Dieses muss vor der Subtraktion von eventuellen heißen Pixeln befreit werden. Zuerst wird die Standardabweichung σ über alle Pixel in MFDARK.bdf. Mit einem Medianfilter der Größe 3×3 Pixel werden alle Pixel, die um mehr als die $\sigma/2$ vom Median des 3×3 -Feldes abweichen werden durch diesen Median ersetzt.

Wenn das Masterflatdark von den heißen Pixeln befreit ist, wird der Median aller seiner Pixelintensitäten berechnet und der Benutzer wird noch einmal gefragt, ob er nicht lieber doch diesen Zahlenwert als Dunkelstrom verwenden will.

Syntax : FDARK/SMS P1
P1 : Pfad oder Einzelbild
Katalog: FDARKS.cat, enthält fd0001.bdf, ...
Bilder : MFDARK.bdf, gefiltertes Mittel aus FDARKS.cat

Masterflat erzeugen und normieren: Mit dem Befehl

FLAT/SMS origs/flat*90p30.fit

wird die Erzeugung des Masterflats angestoßen.

Zuerst wird der Median der Eingangsdateien gebildet. Das Ergebnis wird auf die passende Größe zugeschnitten und von heißen Pixeln befreit. Wie beim Glätten des Dunkelstroms wird die Standardabweichung σ über das ganze Bild berechnet. Mit einem Filter, der 5×1 Pixel groß ist, wird dann jedes Pixel, das um mehr als $\alpha \times \sigma$ vom Median der betrachteten 5 Pixel abweicht, durch diesen Median ersetzt. Der Faktor α ist in der Variablen `smsflatfilter` gespeichert. Die Voreinstellung ist 1. Der Wert kann mit SET/SMS geändert werden.

Danach wird der Dunkelstrom MFDARK.bdf vom geglätteten Masterflat subtrahiert. Das Ergebnis ist die Datei MFLAT.bdf.

Nach der Dunkelstromkorrektur wird das gemittelte Flat normiert. Dabei werden alle großräumigen Variationen entfernt.

Es stehen 3 verschiedene Verfahren zur Auswahl:

- (N) NORMAL/SPEC
- (0) globale Normierung
- (1,2,3) Polynomfit

NORMAL/SPEC aus dem Context SPEC kann man verwenden, wenn alle Zeilen des Flat im wesentlichen den gleichen Intensitätsverlauf zeigen.

Wenn man nicht normieren will (0), wird das Masterflat trotzdem durch seinen eigenen Median geteilt.

Manchmal ist das Flatfield sehr ungleichmäßig ausgeleuchtet, weil es gar nicht so einfach ist, den Spalt durch das Teleskop gleichmäßig zu beleuchten. Dann sollte versucht werden das Kontinuum der Flatfieldlampe mit einem Polynomfit zu approximieren. Dazu wird der Intensitätsverlauf durch ein zweidimensionales Polynom vom Grad $n \leq 3$ approximiert.

$$I(x,y) = \sum_{0 \leq i,j \leq n} a_{ij} x^i y^j$$

$I(x,y)$ ist die Intensität des Pixels mit den Koordinaten x und y .

Für eine bessere Konvergenz wurde beim Grad $n = 3$ der Koeffizient a_{33} auf Null gesetzt.

Eine genauere Beschreibung der angewendeten Methode kann man im Kapitel [Fitting of Data](#) im [ESO-MIDAS User's Guide Volume A](#) nachlesen.

Das Ergebnis der Approximation ist das Bild FLATFIT.bdf. Das Flat wird dann durch diese Approximation geteilt. Das Ergebnis hat dann die Durchschnittsintensität 1 und enthält nur noch die räumlich kleineren Abweichungen.

Mit $NFLAT = MFLAT / FLATFIT$ erhält man das normierte Masterflat.

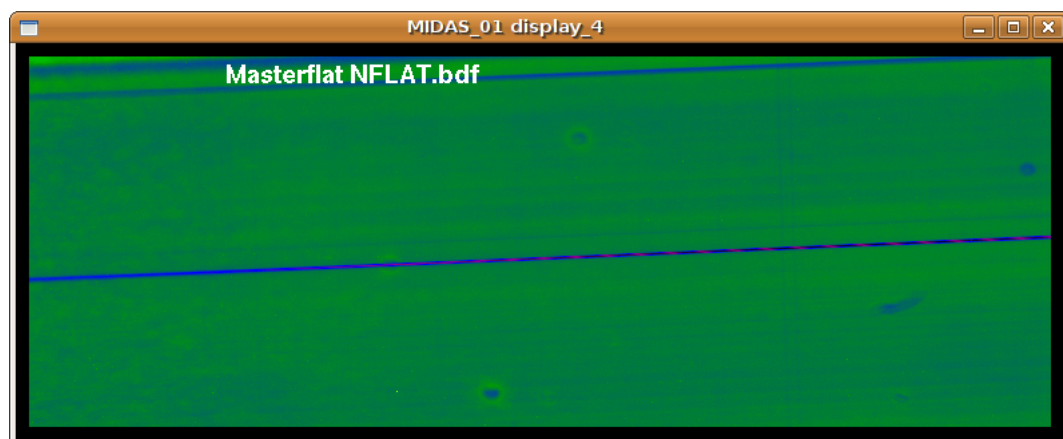


Abbildung 8: Das normierte Flat NFLAT.bdf

```

Syntax : FLAT/SMS P1 P2
P1      : Pfad oder Einzelbild zu den Rohaufnahmen der Flats.
P2      : Einzelbild oder Zahl, optional. Voreinstellung MFDARK.bdf
Ergebnis: Masterflat MFLAT.bdf, normiertes Flat NFLAT, Fit FLATFIT
Bild    : NFLAT.bdf, normiertes Masterflat

```

Ein kompletter Dialog:

```

Midas 010> FLAT/SMS      origs/flat\_1x1*.fit
3 Flats gefunden.
... arbeite
... arbeite
Art der Normierung?
NORMAL/FLAT          N
MFLAT/median         0
Fit Polynom Grad 1
Fit Polynom Grad 2
Fit Polynom Grad 3
N, 0, 1, 2, 3 ? [0]: 2
... arbeite
15 of 20 iterations
Masterflat NFLAT erzeugt.

```

2.10 Flatkorrektur

Nun werden die Objektspektren durch das Masterflat geteilt.

FCORR/SMS

Der Befehl kennt zwei optionale Parameter. Zuerst kann man den gewünschten Katalog angeben, als zweites den Namen des Masterflat, falls es nicht NFLAT.bdf ist.

Die dividierten Objektaufnahmen werden im Katalog FLATCORR.cat gespeichert. Die Namen der neu erzeugten Dateien entstehen, indem den Namen der bearbeiteten Dateien ein F vorangestellt wird. also z.B. FDo0001.bdf. Dem Benutzer wird MFLATCORR.bdf gezeigt. Sie ist das arithmetische Mittel aus den Dateien in FLATCORR.cat.

```

Syntax : FCORR/SMS P1 P2
P1      : Katalog oder Einzelbild,optional. Voreinstellung ist der aktuelle Katalog
P2      : Masterflat, optional. Voreinstellung NFLAT.bdf
Katalog: FLATCORR.cat enthält F..., ...
Bild    : MFLATCORR.bdf, Masterflat

```

2.11 Vergleichsspektrum

Der Befehl liest das Vergleichsspektrum ein. Wenn man mehrere Vergleichsspektren in genau der gleichen Gitterstellung mitteln will, dann kann man auch hier den Pfad zu den Vergleichss-

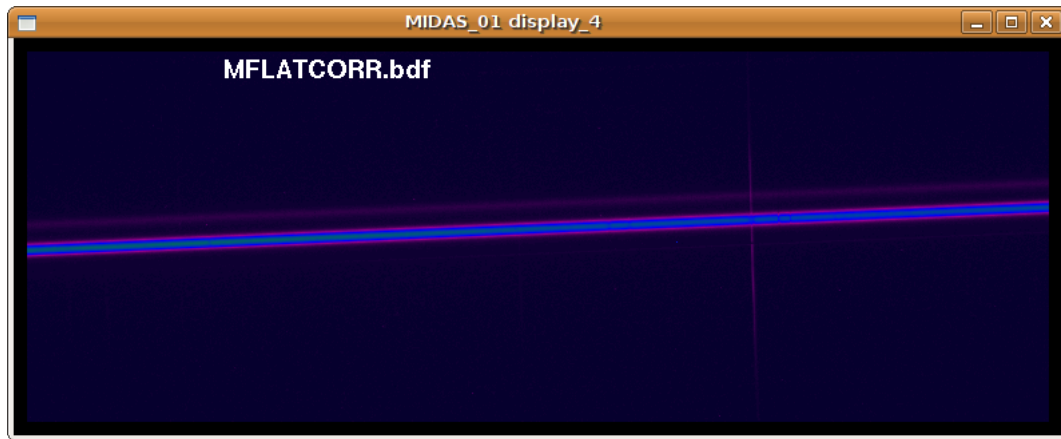


Abbildung 9: Mittelwert der Flat-korrigierten Aufnahmen MFLATCORR.bdf

pektren angeben.

CSPEC/SMS origs/thet1OriC_1x1_Neon_before.fit

Linienkatalog? [neon]:

Gegebenenfalls wird der Mittelwert der Eingansaufnahmen erzeugt und das Ergebnis in die temporäre Datei &cspec kopiert, und der Benutzer nach dem Katalog der Spektrallinien gefragt. Wir können hier einfach ENTER drücken, wenn der Name richtig ist. Der Katalog neon.tfits wird aus dem Verzeichnis midwork/ in das aktuelle Verzeichnis kopiert und dabei in neon.tbl konvertiert. neon.tfits muss also in midwork/ vorhanden sein.¹² Will man einen anderen Linienkatalog, z.B. thar.tfits verwenden, so gibt man oben thar ohne Endung an. Allerdings muss dann die Tabelle thar.tfits unter genau diesem Namen in midwork vorhanden sein.

Die Datei &cspec wird noch zurechtgeschnitten und das Ergebnis wird dem Bearbeiter gezeigt. Falls oben MBIAS.bdf erzeugt wurde, wird das Spektrum stillschweigend von Bias befreit.

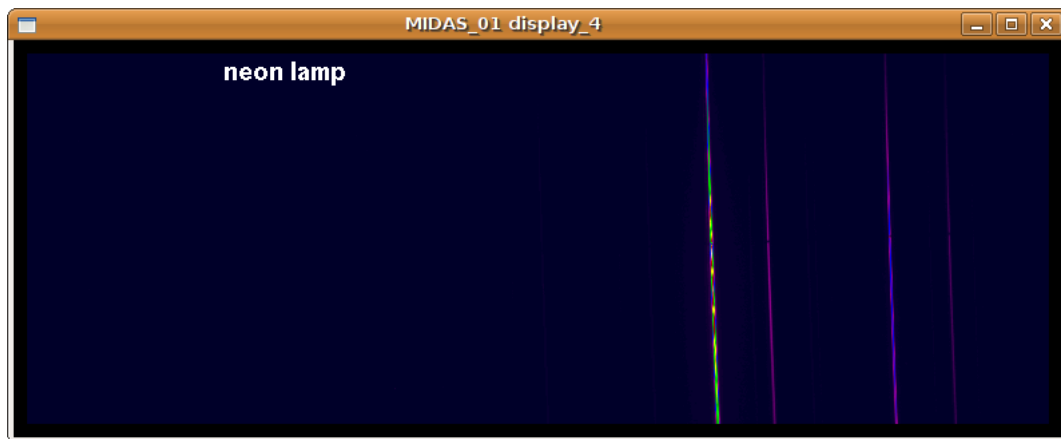


Abbildung 10: Das Spektrum der Neonlampe

Leider sind nur rechts Linien zu sehen. Das ist etwas ungünstig. Wir werden das weiter unten bei der Kalibration berücksichtigen.

¹²Die Tabelle neon.tfits wird als gneon.tfits mitgeliefert. Man kopiert sie gegebenenfalls auf neon.tfits

Wenn keine geeigneten Dateien gefunden wurden, gibt es eine Fehlermeldung.

```
Syntax: CSPEC/SMS P1
P1      : Einzelbild
Bild    : middummts
```

2.12 Drehen

Eigentlich kann man einen Spaltspektrographen so bauen, dass die Spektren perfekt waagrecht auf dem Chip liegen. Hier ist trotzdem die Möglichkeit eingebaut, die Spektren waagrecht zu drehen. Das Vergleichsspektrum wird stillschweigend mitgedreht.

Auf der Kommandozeile gibt man den Katalog der Objektspektren an. Das kann, je nachdem welche Bearbeitungsschritte durchgeführt wurden, OBJECTS.cat, DARKSUB.cat oder FLATCORR.cat sein.

ROTATE/SMS

Wir haben vorhin die Flatkorrektur durchgeführt, also wird automagisch FLATCORR.cat verwendet. Das erste Bild aus dem Katalog wird gezeigt und zwei Cursor aktiviert, mit denen man eine Gerade auf das Spektrum legen kann. Der linke Cursor wird ganz normal mit der Maus bedient, der rechte mit den Pfeiltasten. Wenn die Gerade richtig liegt, drückt man die linke und dann die rechte Maustaste.

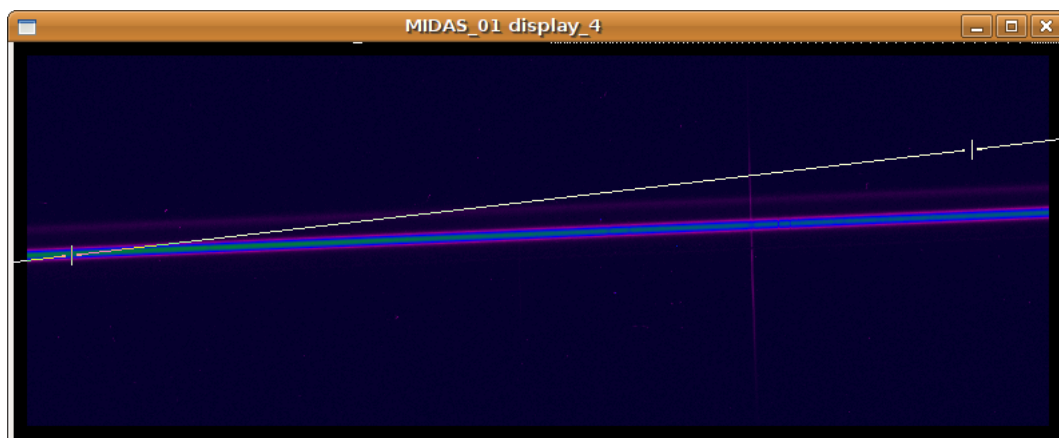


Abbildung 11: Den Drehwinkel bestimmen

Der Rotationswinkel wird aus der Steigung der Geraden berechnet und die Bilder aus dem Katalog werden gedreht.

Das Vergleichsspektrum wird mitgedreht. Die gedrehten Bilder werden noch achsenparallel zugeschnitten.

Die gedrehten Objektspektren werden im Katalog ROTOBJ.cat notiert und erhalten den Buchstaben R vor ihrem ursprünglichen Namen gesetzt. Nur das Vergleichsspektrum heißt weiterhin &ts.

Wenn man ROTATE/SMS ein zweites Mal mit den ungedrehten Objektspektren ausführen will, muss man mit CSPEC/SMS ein neues ungedrehtes Vergleichsspektrum herstellen.

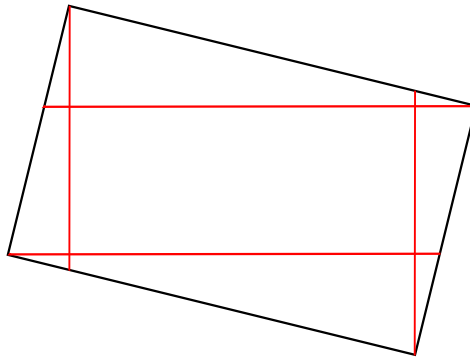


Abbildung 12: Zurechtschneiden der gedrehten Spektren

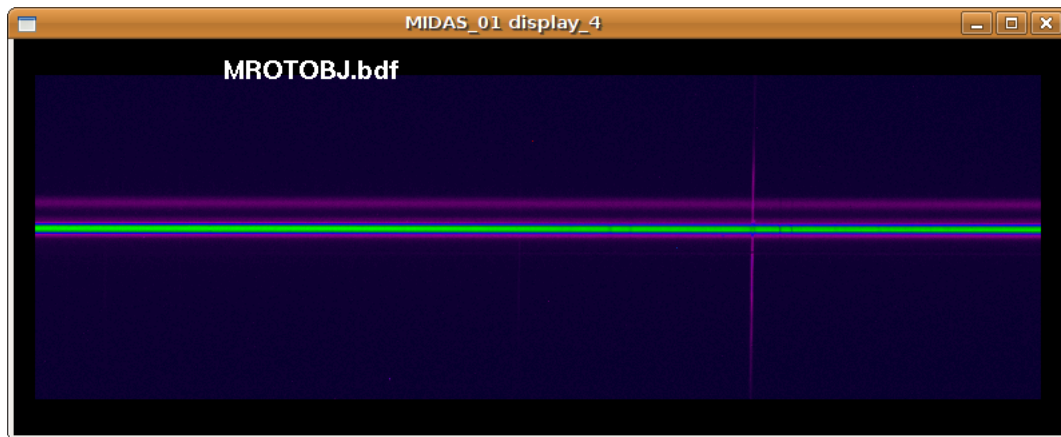


Abbildung 13: Mittelwert der gedrehten Spektren MROTOBJ.bdf

Syntax : ROTATE/SMS P1

P1 : Katalog oder Einzelbild, optional. Voreinstellung ist der aktueller Katalog

Katalog: ROTOBJ.cat enthält RFDob0001.bdf, ... oder R..., je nach Katalog

Bild : MROTOBJ.bdf

2.13 Extrahieren

Bevor man diesem Befehl aufruft, sollte das Keyword `smstype` richtig gesetzt werden. **s** für Punktquellen (Voreinstellung), **m** für manuelle Auswahl von Himmelshintergrund und Objektbereich, und **f** für Spektren die sich über die ganze Höhe des Bildes erstrecken.

Da wir drei Sternspektren in jeder Aufnahme haben, müssen wir Sky und Objekt manuell bestimmen.

SET/SMS `smstype=m`

`smstype=s` bewirkt, dass in jedem Bild nach dem Spektrum gesucht wird und Sky- und Objektgrenzen automatisch berechnet werden. Das geht nur gut, wenn wirklich nur ein Sternspektrum zu sehen ist und keine starken heißen Pixel den einfachen Suchalgorithmus irritieren.

EXTRACT/SMS

Der Befehl liest drei Parameter. Der erste ist wieder der Katalog mit den Namen der Spektren, die reduziert werden sollen. Wir können ihn einfach weglassen. Der zweite Parameter bewirkt, dass in jedem Bild kurz angezeigt wird, aus welchem Bereich der Himmels hintergrund genommen wird und wo das Spektrum vermutet wird, der dritte, dass die Himmelsbereiche mit einem Medianfilter beruhigt werden. voreinstellung ist **n**.

Der zweiten Parameter kann auch angegeben werden, wenn man beim ersten nichts eintragen will.

EXTRACT/SMS ? y bewirkt, dass in jedem rektifizierten Rohspektrum für 2 Sekunden die Bereiche des Himmels hintergrunds und des Objektspektrums angezeigt werden.

Der Benutzer wird zunächst nach dem Namen des Ergebnisspektrums gefragt:

Ergebnisspektrum : theta1OriC

Das Ergebnis soll also theta1OriC.fits werden. Der Name des Ergebnisspektrums wird in der Variablen `smsresult` gespeichert.

Zuerst wird das Vergleichsspektrum auf Werte zwischen 0 und 1 normiert.

Im zusammengestauchten Vergleichsspektrum werden nun die Spektrallinien gesucht und das Ergebnis ins Bild gezeichnet. Der Bearbeiter wird gefragt ob die Suche erfolgreich war.

Neuer Threshold 0.002? :

Wenn zu wenige Linien markiert wurden, sollte man hier einen kleineren Wert eingeben, wenn viele Kreuzchen an Stellen ohne Spektrallinien zu sehen sind, dann kann man den Schwellenwert erhöhen. Sind wir aber zufrieden, dann drücken wir nur ENTER.

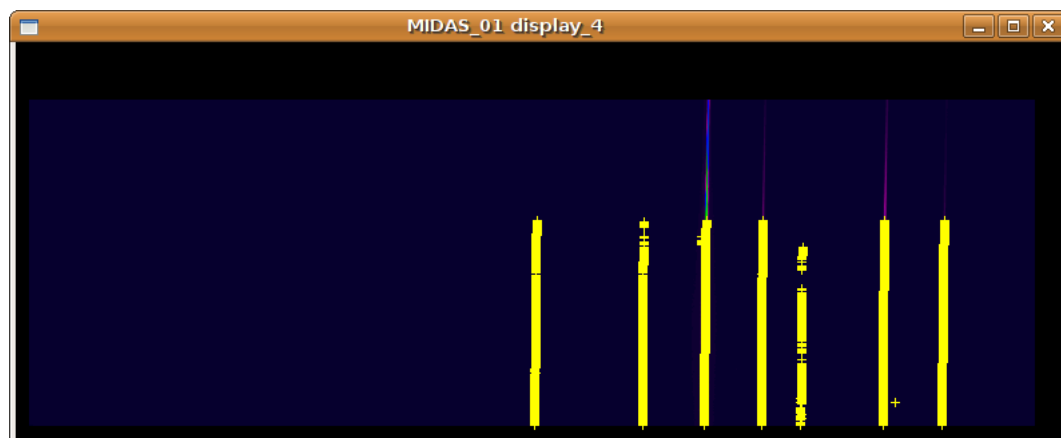


Abbildung 14: Markierte Spektrallinien

Jetzt müssen einige gefundene Spektrallinien identifiziert werden. Dazu wird die mittlere Zeile des Vergleichsspektrums im Graphikfenster gezeigt und nun sollte man sein Neonspektrum gut kennen!

Ein Klick auf die Linie bei 1000 ergibt:

IDENT ?:

Die Wellenlänge ist ungefähr 5852 Å. Genauer müssen wir es nicht wissen, denn Midas schaut selber in der Tabelle nach. Wir geben also 5852 im Textfenster an, drücken ENTER und iden-

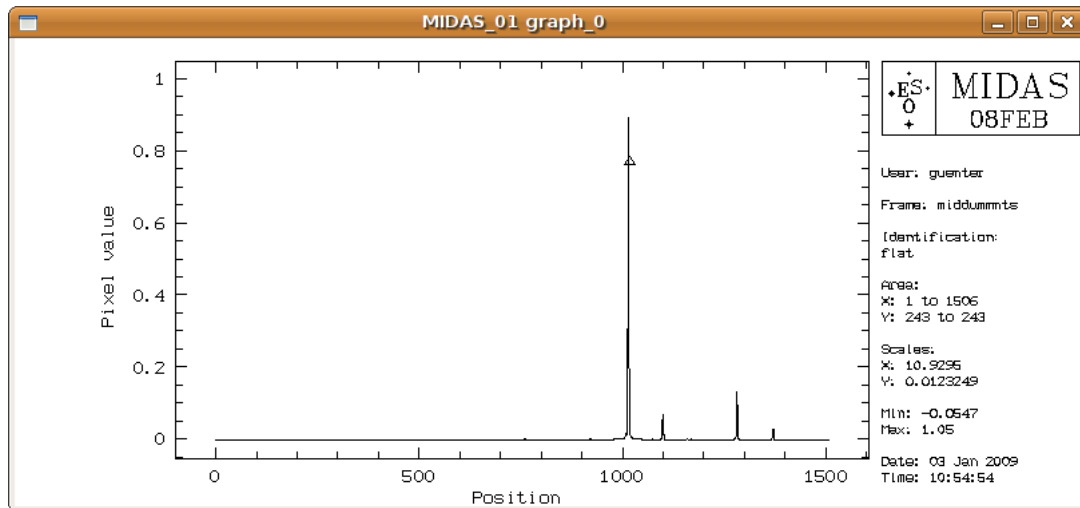


Abbildung 15: Linien identifizieren

tifizieren eine weitere Linie. Die Linie bei 1300 hat ungefähr 5944 Å. Das genügt. Rechtsklick im Graphikfenster beendet den Cursor.

Der Grad der Dispersionsrelation spielt eine wichtige Rolle. Der Grad sollte um 2 kleiner sein als die Anzahl der zugeordneten Linien. Je höher der Grad des Polynoms, desto absurder die Werte an den Rändern des Spektralbereichs. Im Neonspektrum stehen bei unseren kleinen Chips und bei hoher Lineardispersion oft nur drei Linien zur Verfügung. Wenn die drei Linien auch noch falsch identifiziert werden, kann es sogar zum Abbruch des Programms kommen.

dcx = 3 ?

Wir beantworten die Frage nicht mit ENTER, weil wir ein einfacheres Polynom verwenden müssen. Wir nehmen ein lineares Polynom, weil links die Vergleichslinien fehlen.

dcx = 3 ? 1

Die Voreinstellung für `dcx` ist 3. Wenn aber nicht mehr als 5 Linien gefunden wurden, sinkt der Grad bei SMS automatisch auf 2, bei weniger als 4 Linien auf 1.

Dann wird im Graphikfenster die Ausgabe von PLOT/CALI gezeigt. Darin ist bei all den Linien die Wellenlänge eingetragen, die zur Berechnung der Dispersionsrelation verwendet wurden. Wenn hier bei vielen Linien die Wellenlängen fehlen, dann stimmen die angegebenen Wellenlängen der identifizierten Linien nicht! Mit der Variablen `tol` vom Context LONG kann man steuern wie weit die Linie von der berechneten Position abweichen darf. SMS setzt diesen Wert auf 2.0px.

Im Befehlsfenster wird der Inhalt von 4 Variablen des Context LONG angezeigt:

```
- 5. (R) Rebin Parameters --
Rebinning method      : REBMTD = LINEAR
Wavelength Start      : REBSTR = 5785.496
Wavelength End         : REBEND = 5988.116
Wavelength Step        : REBSTP = 0.131
Ok?
```

REBSTP ist die Lineardispersion in Å/px.

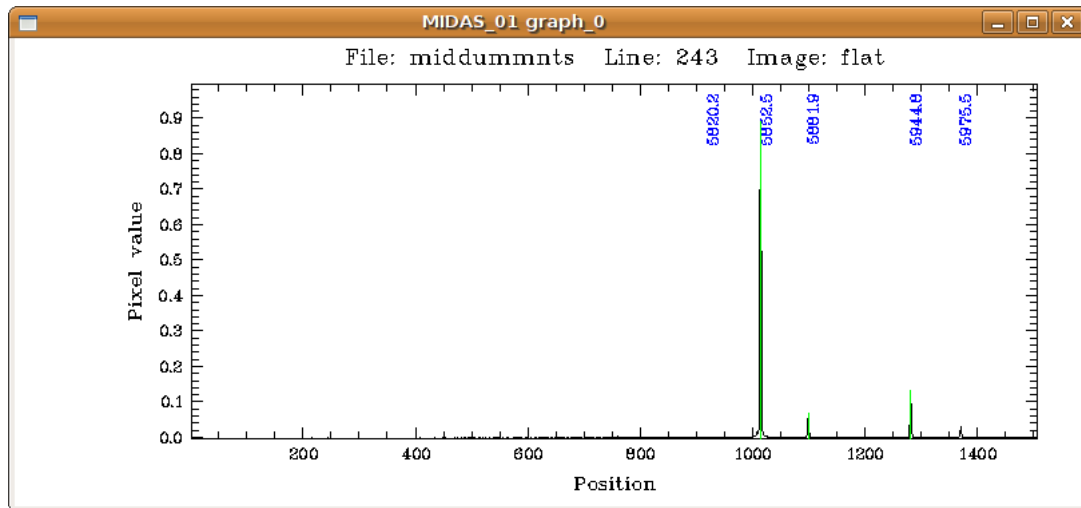


Abbildung 16: Die verwendeten Linien

Wenn man bei `Ok?` nicht nur ENTER drückt, sondern `n` eingibt, gelangt man wieder zur Identifizierung zurück.

`gewuenschte Lineardispersion [0.1] Angstr./px`

Hier ist nicht die tatsächliche Lineardispersion des Spektrographen gemeint, sondern die Schrittweite in den Einzelspektren `EXEobj_nnnn.bdf` und im Ergebnisspektrum. Da die echte Lineardispersion aber vom Wellenlängenbereich abhängt, sollte man die Ergebnisspektren auf einen gemeinsamen Wert linear rebinnen.

Jetzt wird das Spektrum ohne weitere Abfragen in der Wellenlänge kalibriert.

Wenn `smstype` auf `s` gesetzt ist, dann werden ohne weiteres Zutun die Spektrallinien im Vergleichsspektrum gerade gebogen¹³, auf jedes Objektspektrum die gefundene Dispersionsrelation angewandt und alle Objektspektren einzeln reduziert.

Folgendes wird mit jedem Einzelspektrum durchgeführt:

- In jeder Aufnahme wird der Ort des Spektrums bestimmt
- der Bereich des Himmels aus der Breite des Spektrumfadens berechnet,
- der Bereich des Himmles parallel zur Dispersion geglättet (optional),
- ein Modell des Himmelshintergrundes erstellt,
- der Himmel abgezogen,
- und mit `EXTRACT/LONG` das Spektrum herausgeholt.
- Dabei werden auch nochmal behutsam Cosmics entfernt.

Wenn man will kann man jetzt die einzelnen extrahierten Spektren begutachten und schlechte Aufnahmen verwerfen:

`Objektaufnahmen ausw [y/n] [y]:`

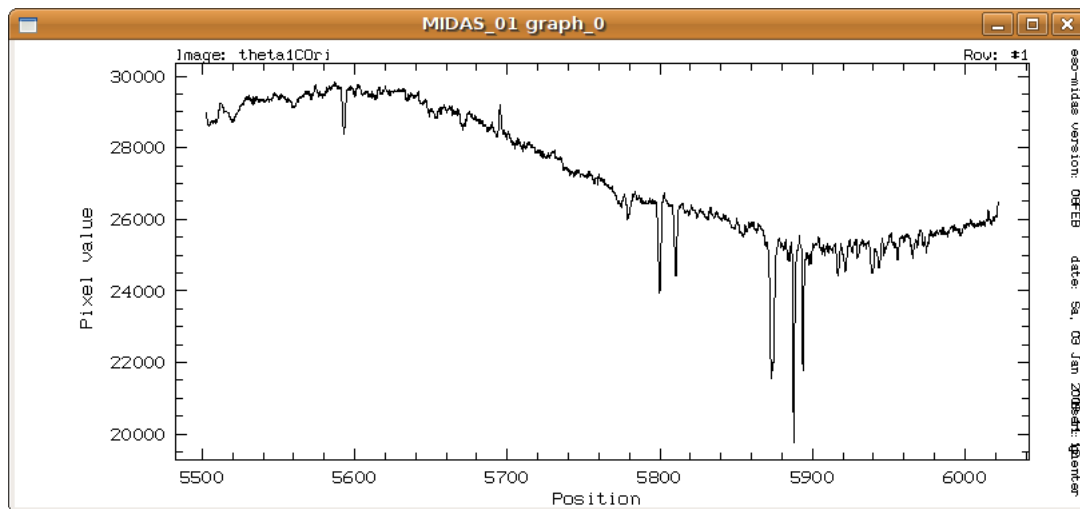
`Verwenden? [y/n] [y]:`

`Verwenden? [y/n] [y]:`

¹³Wer will kann das Bild `&rts` anschauen.

Verwenden? [y/n] [y] :

Da die Spektren gelungen sind drücken wir hier immer nur ENTER und von den gefundenen Spektren wird der Mittelwert gebildet und das Ergebnis dem Bearbeiter präsentiert.



Das Summenspektrum steht nun als theta1OriC.bdf und als theta1OriC_av.bdf zur Verfügung.

Bei einer ausgedehnten Lichtquelle, deren Bild auf dem Spalt auch noch räumliche Informationen enthält¹⁴, setzt man `smstype` auf m. Dann wird dem Bearbeiter jedes Objektspektrum gezeigt und er muss mit insgesamt 6 Mausklicks die Bereiche des unteren und oberen Himmelshintergrundes bestimmen und die horizontalen Grenzen des Objektspektrums.¹⁵

Wenn man die gleichen Spektren noch einmal extrahieren will, dann kann man die Kalibration der Wellenlänge überspringen, indem man den Befehl `EXTRACT/SMS JUMP` ausführt. Jetzt kann man die Bereiche von Sky und Objekt neu wählen.

Wenn das Spektrum aber den ganzen Spalt ausfüllt, und kein Himmelshintergrund neben dem Spektrum vorhanden ist, setzt man `smstype` auf f und von allen Spalten in der jeweiligen Aufnahme wird der Mittelwert genommen.

Zum Schluss wird noch ein eindimensionales Spektrum der Vergleichslampe erzeugt und als Fits gespeichert.

¹⁴Zum Beispiel der Planet Saturn mit seinem Ring.

¹⁵Mit den Mausklicks bestimmt man die Grenzen der Bereiche. Von den Mauspositionen werden nur die y-Werte verwendet. Man klickt also zwei mal unterhalb des Spektrums und bestimmt so Unter- und Obergrenze des unteren Himmelshintergrundes, zwei mal oberhalb, um Unter- und Obergrenze des oberen Himmelshintergrundes. Analog grenzt man das Objektspektrum ein.

Syntax : EXTRACT/SMS P1 P2 P3
P1 : Katalog oder Einzelbild, optional. Voreinstellung ist der aktueller Katalog
P2 : Himmels- und Objektbereiche anzeigen y/n, optional. Voreinstellung ist n
P3 : Himmelshintergrund glätten y/n, optional. Voreinstellung ist n
Katalog : EXTRACTED.cat enthält EXRFDob0001.bdf, ... oder EX..., je nach Katalog
Ergebnis: Mittelwert der Einzelspektren mit dem Namen `smsresult.bdf` und `smsresult_av.bdf`
: Vergleichsspektrum `lincat startwl to endwl.fits`
Bild : `smsresult.bdf`

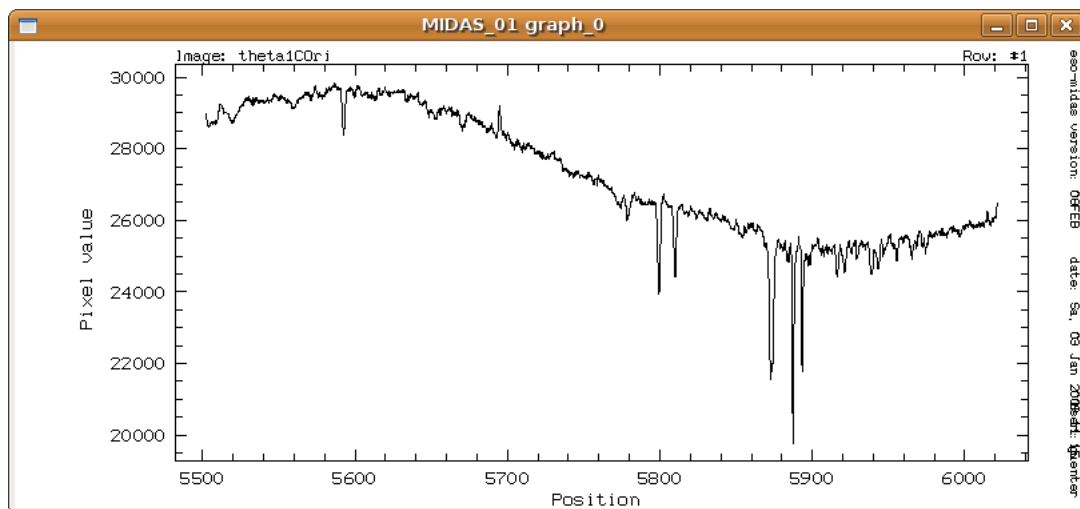
2.14 Verschiebungen beseitigen

Bei langen Aufnahmeserien können Verbiegungen auftreten, so dass die Einzelspektren in der Wellenlänge verschoben sind. Diesen Schritt kann man bei einem stabilen Spektrographen überspringen.

CORREL/SMS

Ohne weitere Angabe wird der Katalog EXTRACTED.cat verwendet.

Das erste extrahierte Spektrum wird angezeigt und der Graphikcursor aktiviert. Man wählt mit zwei Klicks einen interessanten Bereich mit markanten Linien aus. In jedem Spektrum wird dann durch Kreuzkorrelation die Verschiebung relativ zum ersten Spektrum bestimmt und beseitigt. Das Summenspektrum heißt dann wieder `theta1OriC.bdf`. Es steht auch als Datei `theta1OriC_corr.bdf` zur Verfügung. Die Originaldatei von EXTRACT/SMS ist noch als `theta1OriC_av` vorhanden.



Syntax : CORREL/SMS P1
P1 : Katalog, optional. Voreinstellung ist EXTRACTED.cat
Ergebnis: `smsresult.bdf`, `smsresult_corr.bdf`
Bild : `smsresult.bdf`

2.15 Kontrollen

2.15.1 Kalibration in Wellenlänge

Der Context LONG bietet sechs Befehle an, mit denen die Wellenlängenkalibration überprüft werden kann.

Mit

REVIEW/SMS

können diese nach Belieben ausgeführt werden. eigentlich ist dazu kein neuer SMS -Befehl nötig, es dient hier nur der Bequemlichkeit. Der gewünschte Befehl wird durch die Angabe der Ziffer gewählt.

- 1: PLOT/SEARCH
- 2: PLOT/IDENT
- 3: PLOT/CALIBRATE
- 4: PLOT/RESIDUUM
- 5: PLOT/DELTA
- 6: PLOT/DISTORTION
- 7: PLOT/CSPEC
- 8: QUIT

- 1: Die mittlere Zeile des Vergleichsspektrums wird gezeigt, und die gefundenen Linien markiert.
- 2: Die mittlere Zeile des Vergleichsspektrums wird gezeigt, und die identifizierten Linien markiert.
- 3: Die mittlere Zeile des Vergleichsspektrums wird gezeigt, und die Linien markiert, deren Wellenlänge zur Kalibration verwendet wurden. Die identifizierten Linien sind grün markiert.
- 4: Die Dispersionsrelation $Pixelfnummer \mapsto \lambda$ ist ein Polynom vom Grad 1,2 oder 3. Sie ordnet den verwendeten Linien nicht mehr genau die Katalogwellenlänge zu. Die relativen Abweichungen werden hier angezeigt.
- 5: Hier wird die absolute Abweichung der Katalogwellenlängen (blaue Kreuzchen) von der Dispersionsrelation (durchgezogene schwarze Linie) gezeigt.
- 6: Hier muss zunächst eine Katalogwellenlängen ausgewählt werden. Dann wird für jede Zeile des rekifizierten Vergleichsspektrums die Abweichung vom der Dispersionsrelation vom Katalogwert angezeigt. Der Maßstab ist ziemlich extrem: Die Breite des Graphikfensters entspricht nur 1 Pixel auf den Chip.
- 7: Eine Zeile des kalibrierten Vergleichsspektrums im Bereich des Objektspektrums wird gezeigt.

Syntax: REVIEW/SMS

2.15.2 Auflösung

RESOL/SMS

Die Auflösung wird aus der Breite der Linien im Vergleichsspektrum bestimmt. Dazu werden die Zeilen des rektifizierten Vergleichsspektrums `&rts` in denen das Objekt liegt, gemittelt, und ein 1D-Spektrum erzeugt. Aus diesem Spektrum werden die Peaks herausgeschnitten. Mit `CENTER/GAUSS` wird an jede Linie eine Gaussfunktion angepasst und die FWHM bestimmt.

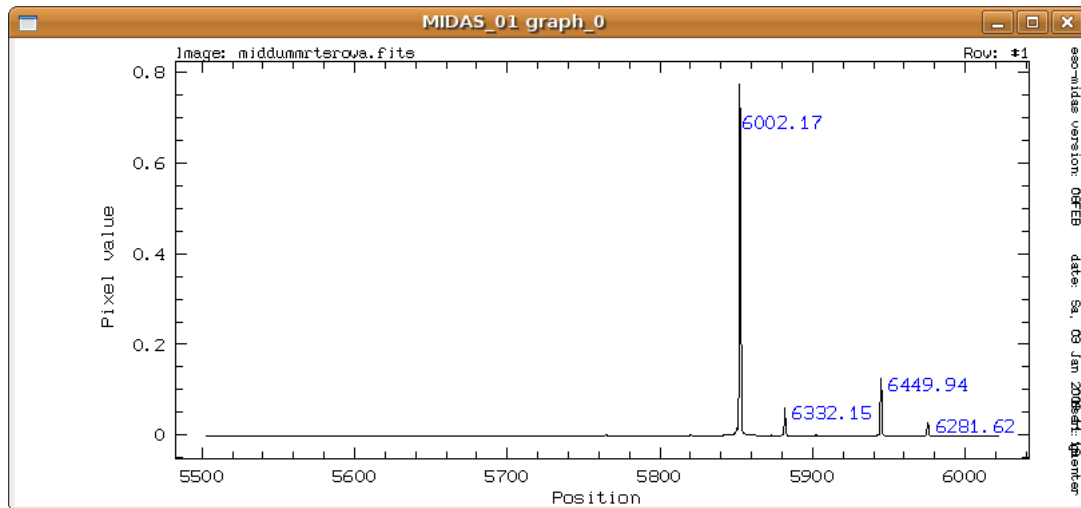


Abbildung 17: Die Auflösung, gemessen an den Linien der Spektrallampe

Die lokale Auflösung ist dann der Quotient aus der Zentralwellenlänge und der FWHM der Linie. Minimum, Maximum und Mittelwert der gemessenen Auflösungen werden im Deskriptor `RESOL` im Bild `theta1OriC`¹⁶ bzw. `smsresult` gespeichert.

Syntax: `RESOL/SMS`

2.16 Ein eigenes Spektrum einschleusen

Wenn man ein eindimensionales Spektrum bearbeiten will, das aus einer anderen Quelle stammt, kann man hier einsteigen und die Skripte von SMS nutzen. Mit dem Befehl

`INTO/SMS MeinSpektrum.bdf`

kann man ein fertig reduziertes Spektrum in den Workflow von SMS einspeisen. Diesen Befehl braucht man nur zu verwenden, wenn das Spektrum nicht vorher mit dem Befehl `EXTRACT/SMS` erzeugt wurde.

Dieses Kommando bewirkt vor allem, dass die Variable `smsresult` mit dem Namen des Spektrums gefüllt wird, hier `MeinSpektrum`. Die folgenden Befehle bearbeiten dann dieses Spektrum. Die Extension wird abgeschnitten. Wenn das Spektrum als FITS vorliegt, dann wird es stillschweigend in `bdf` verwandelt.

Von der eingebrachten Datei wird eine Sicherungskopie als FITS erzeugt: `MeinSpektrum_orig.fits`

¹⁶Wenn das normierte Spektrum `theta1OriC_nor` schon vorhanden ist, wird der Deskriptor dort auch gespeichert.

Syntax : INTO/SMS P1
P1 : Spektrum
Ergebnis: P1.bdf, Sicherungskopie

2.17 Normieren

NORMAL/SMS

Das Spektrum theta1OriC wird angezeigt und man muss mit dem Cursor *mindestens 5 Punkte* anklicken, die man für das Kontinuum hält. durch die angeklickten Punkte werden Splines gelegt, und daraus das synthetische Kontinuum gebildet, und das Spektrum dann durch dieses dividiert.

Da der Spline am Anfang und am Ende oft nicht ganz bis an die Ränder des Spektrums reicht werden die überstehenden unbrauchbaren Pixel vom normierten Spektrum weggeschnitten.

Es entsteht die Datei theta1OriC_nor. Wenn man keine eigene Datei ausgewählt hat, sondern mit der Defaulteinstellung gearbeitet hat, dann wird außerdem die verwendete Datei ohne weitere Warnung überschrieben. die Datei `smsresult` enthält also jetzt ein normiertes Spektrum.

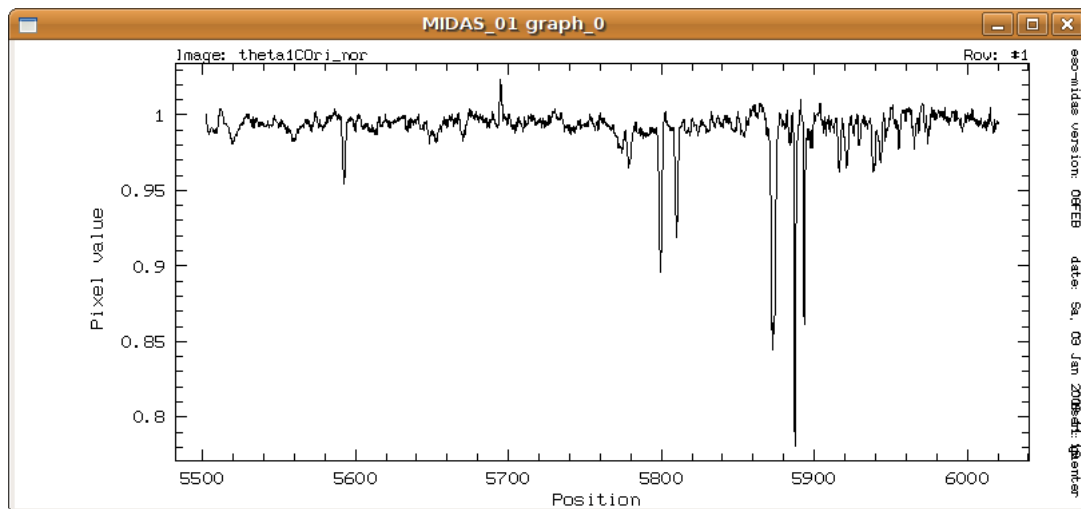


Abbildung 18: Das normierte Spektrum

Will man nicht das Ergebnis von EXTRACT/SMS bearbeiten, dann kann man auch einen anderen Dateinamen übergeben:

NORMAL/SMS MeinSpektrum

und erhält dann die Datei MeinSpektrum_nor. In diesem Fall wird die ursprüngliche Datei nicht überschrieben.

Syntax : NORMAL/SMS P1
P1 : Spektrum, optional. Voreinstellung ist `smsresult`
Ergebnis: `smsresult`.bdf, `smsresult`_nor.bdf, bzw `P1`_nor.bdf
Bild : `smsresult`.bdf, bzw. `P1`_nor.bdf

2.18 Ein-Punkt-Normierung

Mit einem Mausklick kann man im Spektrum eine Wellenlänge auswählen. Das ganze Spektrum wird dann durch die Intensität bei dieser Wellenlänge dividiert. Der Verlauf des Kontinuums ändert sich dabei nicht, aber die Intensitäten verschiedener Spektren liegen nun in der Nähe von 1, so dass man gut verschiedene Spektren übereinander plotten kann.

OPN/SMS

erzeugt die Datei `theta1OriC_opn`. Der Skalenfaktor wird in der neuen Datei im Deskriptor `SCALEDDBY` gespeichert. Wenn man keine eigene Datei ausgewählt hat, sondern mit der Defaulteinstellung gearbeitet hat, dann wird außerdem die verwendete Datei ohne weitere Warnung überschrieben.

Will man nicht das Ergebnis von `EXTRACT/SMS` bearbeiten, dann kann man auch einen anderen Dateinamen übergeben:

OPN/SMS MeinSpektrum

und erhält dann die Datei `MeinSpektrum_opn`. In diesem Fall wird die ursprüngliche Datei nicht überschrieben.

```
Syntax : OPN/SMS P1
P1      : Spektrum, optional. Voreinstellung ist smsresult
Ergebnis: smsresult.bdf, smsresult_opn.bdf, bzw. P1_opn.bdf
Bild    : smsresult.bdf, bzw. P1_opn.bdf
```

2.19 Terrestrische Linien entfernen

In manchen Bereichen des Objektspektrums stören die Einflüsse der Erdatmosphäre genauere Messungen der Äquivalentbreite und sie verändern auch das Profil der stellaren Linien. Vor allem die Absorptionslinien von Wasser und Sauerstoff sind in manchen Wellenlängenbereichen recht ausgeprägt.

Mit SMS kann man versuchen diese Absorptionslinien aus einem *normierten* Objektspektrum heraus zu rechnen. Dazu wird zuerst das zuletzt bearbeitete Spektrum angezeigt und daraus der Bereich ausgewählt, aus dem die terrestrischen Linien entfernt werden sollen. Dieser ausgewählte Bereich wird dann angezeigt und das terrestrische Absorptionsspektrum wird eingeblendet. Die Linien dieses Spektrums können nun

- in der Wellenlänge verschoben,
- in der Amplitude angepasst,
- in der Linienbreite verändert werden, und
- die Wellenlängenskala kann gestaucht oder gespreizt werden,

bis die Linien des terrestrischen Spektrums zu den Linien des Objektspektrums passen. In einem zweiten Graphikfenster wird das Ergebnis nach jedem Schritt angezeigt. Dabei wird jedesmal das Objektspektrum durch das veränderte terrestrische Spektrum dividiert.

Wenn man mit dem Ergebnis zufrieden ist, beendet man die Anpassungsroutine. Das bereinigte Spektrum wird nun unter dem Namen `smsresult_clean1111to2222.bdf` gespeichert und auch

gleich nach Fits exportiert. Die Zahlen 1111 und 2222 stehen hier beispielhaft für die Anfangs- und die Endwellenlänge des bearbeiteten Ausschnitts. Das Spektrum `smsresult` wird nicht überschrieben, sondern bleibt so erhalten, wie es vor der Bereinigung war.

TERR/SMS

Rechteck mit 2 Clicks

bringt das Spektrum in `smsresult` zur Anzeige und nun wird mit zwei Mausklicks im Graphikfenster ein Rechteck ausgewählt.

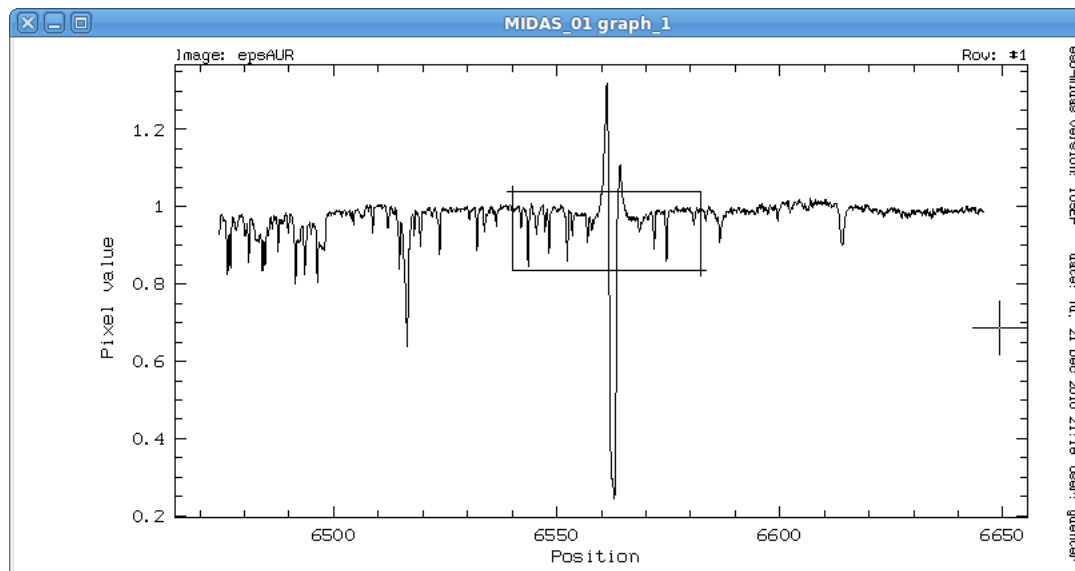


Abbildung 19: Auswahl des Bereichs

Die Breite des Rechtecks bestimmt den Bereich, der bearbeitet wird. Die Höhe bestimmt den Anzeigebereich des ausgeschnittenen Teilspektrums. Wenn man mit dem Rechteck nicht zufrieden ist, bestimmt man einfach ein neues. Die Positionierung des Rechtecks wird mit einem Rechtsklick beendet.

Nun wird nur noch der ausgewählte Bereich angezeigt und das terrestrische Spektrum in roter Farbe eingeblendet. Die eingeblendeten Linien werden wohl zu klein und zu schmal sein. Mit Tastaturbefehlen kann man nun das terrestrische Spektrum an das Objektspektrum anpassen.

Die terrestrischen Linien können auf 4 verschiedene Arten beeinflusst werden.

```

+,- Linien intensiver, schwächer
l,r links, rechts schieben
b,s Linien breiter schmaler
w,n Abstand weiter, näher
q   Fertig
+:

```

Die letzte Zeile zeigt die ausgewählte Aktion `+`. Wenn man diese Aktion ausführen will drückt man einfach ENTER, wenn nicht, dann gibt man eine andere Aktion an und drückt dann ENTER. Die Aktion wird ausgeführt und das veränderte Spektrum angezeigt. Gleichzeitig wird in einem zweiten Fenster das Ergebnis der Bereinigung gezeigt. Danach kann man weitere Aktionen auswählen. `q` beendet den Bereinigung.

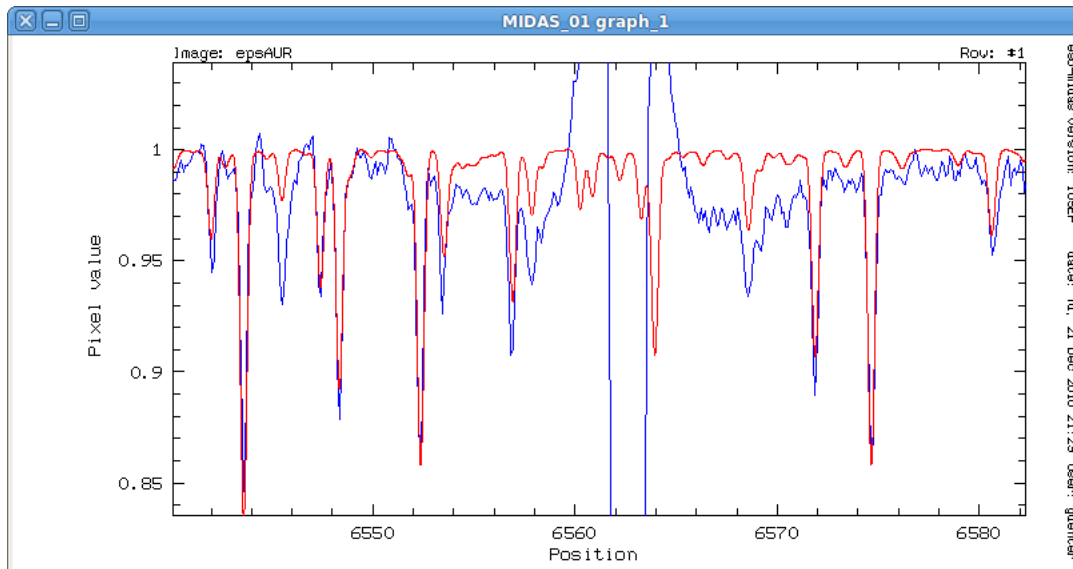


Abbildung 20: Anpassen des terrestrischen Spektrums

Die Schritte zur Veränderung des terrestrischen Spektrums sind recht klein gewählt, und man will vielleicht gleich 30 mal die Linien intensiver machen. Das erreicht man, indem man an das Zeichen der gewünschten Aktion eine Zahl aus maximal drei Zeichen anhängt. Ein Beispiel:

b:+30

bewirkt, dass nach der Verbreiterung der Linien die Amplitude um den Faktor 1.1^{30} vergrößert wird. Die Zahl wird nicht als Voreinstellung gespeichert, sondern muss immer wieder neu angegeben werden.

Wenn das bereinigte Spektrum schön genug ist, dann verlässt man die Anpassungsroutine mit **q**. Das Graphikfenster 2 wird geschlossen und im Graphikfenster 1 werden nun zwei Spektren übereinander geplottet. Der bearbeitete Ausschnitt des Originalspektrums in rot und das bereinigte Spektrum in schwarz.

Das bereinigte Spektrum wird in der Datei `smsresult_clean_λλλλtoλλλλ` als bdf und als fits gespeichert.

Der Inhalt der Variablen `smsresult` wird nicht verändert. Das aktuelle Spektrum ist immer noch das selbe wie vor der Ausführung von **TERR/SMS**. Wenn man mit dem bereinigten Spektrum weiterarbeiten will, dann kann man es mit **INTO/SMS** laden.

Wenn man mit **TERR/SMS** nicht das Spektrum in `smsresult` bearbeiten will, kann man den Namen des Spektrums als ersten Parameter angeben:

TERR/SMS MeinSpektrum

Will man bereits zu Beginn nur einen kleineren Teil des Spektrums anzeigen, dann gibt man den Wellenlängenbereich als zweiten Parameter an:

TERR/SMS ? 4350,5000

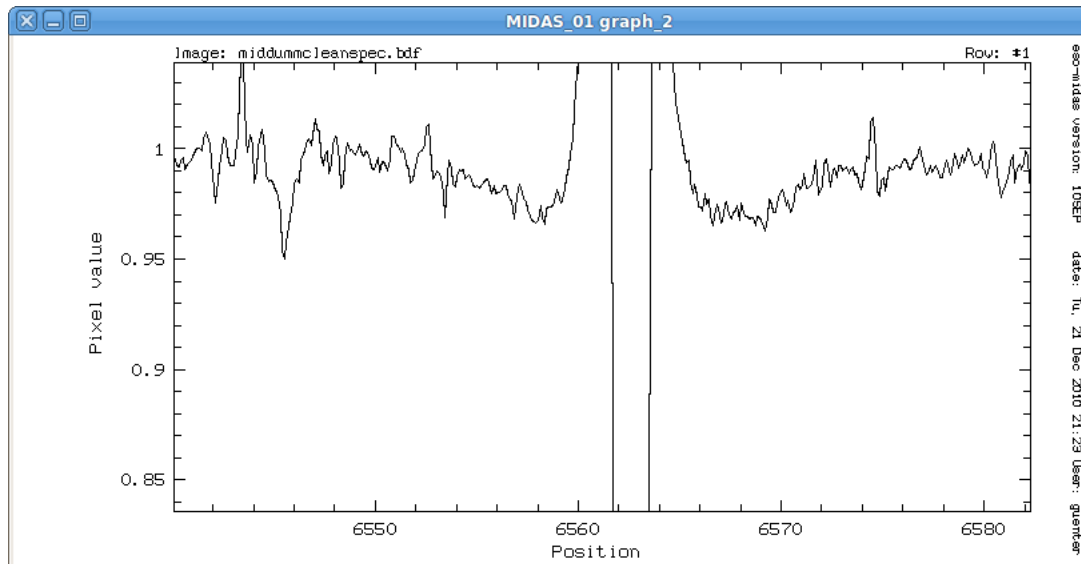


Abbildung 21: Stand der aktuellen Bereinigung

Syntax : TERR/SMS P1 P2
 P1 : Spektrum, optional. Voreinstellung ist `smsresult`
 P2 : zuerst angezeigter Spektralbereich, optional. Voreinstellung ist `<,>`
 Ergebnis: `smsresult_clean_λλλλtoλλλλ.fits`, bzw. `P1_clean_λλλλtoλλλλ.fits`
 Bild : siehe Text

2.19.1 Berechnung des atmosphärischen Spektrums

Daten über die Atmosphäre kann man als riesige Tabelle auf der [HITRAN HOMEPAGE](#) erhalten. Ich habe die Dateien `01_hit09.par` für Wasser und `07_hit09.par` für O₂ verwendet. Diese Tabellen enthalten die Frequenz einer Linie im Vakuum als Wellenzahl k , Die Intensität I , den Einsteinkoeffizienten $Einstein_A$ zwei FWHMs: $FWHM_{air}$ und $FWHM_{self}$ und noch viele andere Werte.

Ich habe nur k , I und die beiden FWHMs verwendet, da ich kein Atmosphärenmodell rechnen kann. Erstens kann ich das nicht und außerdem hinge das resultierende Spektrum von Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit ab. Bei höherer Auflösung ($R > 10\,000$) ergeben sich dadurch tatsächlich unterschiedliche Absorptionsspektren.

Also wurde nur ein Absorptionsspektrum einer trockenen Atmosphäre bei 296 K erzeugt, das vom Bearbeiter nach Augenmaß an sein Objektspektrum angepasst werden muss.

Dem Kontext SMS ist ein normiertes Absorptionsspektrum beigelegt, das den Wellenbereich von 3700 Å bis 9000 Å umfasst.

Zunächst beschreibe ich, wie ich aus den Daten von HITRAN dieses Spektrum erzeugt habe.

- Die Wellenzahl k in Ångström:

$$\lambda_{vac} = 10^8 : k$$

- Leider beobachten wir in Luft und nicht im Vakuum. Da hilft eine Näherungsformel nach

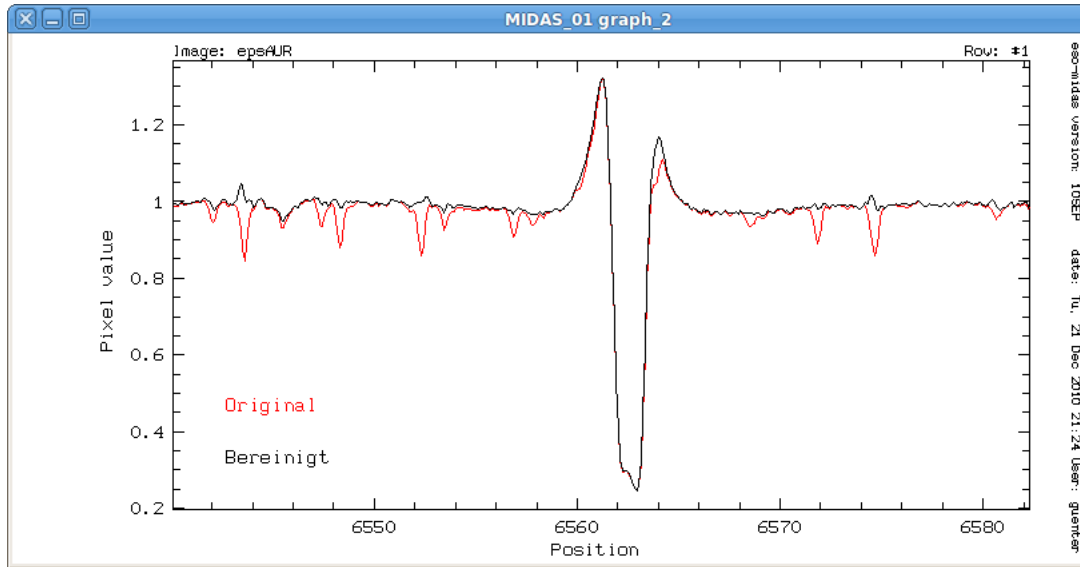


Abbildung 22: Vergleich des originalen Spektrums mit dem bereinigten

RefractiveIndex.info weiter:

$$\lambda_{air} = \lambda_{vac} : \left(1.0 + \frac{5792105}{238.0185 \cdot 10^8 - \lambda_{vac}^{-2}} + \frac{167917}{57.362 \cdot 10^8 - \lambda_{vac}^{-2}} \right)$$

- Die Intensität I wurde mit einem Faktor multipliziert, so dass der größte Wert bei 0.5 liegt.
- Die FWHMs wurden in Ångström umgerechnet und als Standardabweichung σ zur Erzeugung von Gaussförmigen Emissionslinien verwendet:

$$\sigma_i = FWHM_i \cdot \frac{10^8}{k^2 \cdot 2.3548} \rightarrow \sigma = \sqrt{\sigma_{air}^2 + \sigma_{self}^2}$$

Damit erhält man eine Tabelle, die im angegebene Wellenlängenbereich rund gut 18 000 Linien verzeichnet. Aus der jeweiligen Standardabweichung σ wurde nun ein Gausspeak der Höhe I_{norm} bei der Wellenlänge λ_{air} erzeugt. Diese über 18 000 Emissionslinien wurden in ein Spektrum kopiert und mit 1-Emission ein normiertes Absorptionsspektrum erzeugt. Das Spektrum geht von 3700 Å bis 9000 Å. Es 2 MB groß, heißt `smsabsterr.fits` und liegt im Verzeichnis `~/midwork/sms/`. Es hat eine Schrittweite von 0.01 Å.

Die Wellenlängen sind mit einer Näherungsformel berechnet und weder die Intensitäten, noch die Linienbreiten berücksichtigen die Temperatur oder die Luftfeuchtigkeit und schon gar nicht die Höhe des Objekts über dem Horizont. Die originalen Intensitäten gelten auch nur für die einzelnen Moleküle und eine Luftschicht von 1 cm Dicke.

Die Wellenlängen und die Intensitäten des gerechneten Atmosphärenspektrums passen also nicht ganz genau zu den terrestrischen Linien im Objektspektrum.

Dass die Wellenlängen nicht genau passen, ist aber auch noch aus einem anderen Grund nicht zu erwarten. Es kann auch daran liegen, dass vielleicht die Wellenlängenkalibration des Objektspektrums nicht genau genug ist.

Als Beispiel möge ein Spektrum mit einer Auflösung von ca. 20 000 bei H_α dienen. Ein Chip von 1500 Pixeln Breite kann bei dieser Auflösung einen Wellenlängenbereich von höchstens $1500 \cdot 6563\text{\AA}/40\,000 \approx 250\text{\AA}$ abbilden. In diesem Bereich liegen dann aber nur 3 Linien der Neonlampe, so dass die Wellenlängenrelation mit einer linearen Funktion erzeugt werden sollte.

Bei hoher Auflösung bringt man damit leider nichtlineare Fehler in die Wellenlängenskala, die höchstens dann zu korrigieren sind, wenn man das Objektspektrum gleich mit den Wasserlinien kalibriert. Dieser Schritt ist hier noch nicht implementiert.

2.20 Signal To Noise

Den Signal-Rausch-Abstand kann man bei einem sauber normierten Spektrum in einem linienfreien Bereich leicht bestimmen. Das Kontinuum liegt dort bei 1. Die tatsächlichen Messwerte werden aber um die 1 herum etwas schwanken. Der Kehrwert der Standardabweichung dieser Schwankung ist dann S/N.

STON/SMS

Wähle den Bereich.

Das Spektrum `smsresult` wird angezeigt und man muss mit zwei Cursorklicks den Bereich auswählen, in dem das S/N berechnet werden soll.

Das komplette Spektrum wird nun mit einem Medianfilter der Breite `smsstn` geglättet um den Verlauf des Kontinuums zu erhalten. Im ausgewählten Bereich wird das Spektrum durch das Kontinuum geteilt und dann S/N berechnet.

Die Breite des Filters beträgt 50, d.h. es werden $2 \cdot 50 + 1 = 101$ Pixel bei der Berechnung des Medians verwendet.

Auf der Kommandozeile kann man eine andere (halbe) Breite als zweiten Parameter angeben. Wenn man hier 0 angibt, wird kein Medianfilter aufgerufen, sondern nur der Mittelwert im ausgewählten Bereich gebildet und dieser durch die Standardabweichung dividiert.

Dem Benutzer wird der ausgewählte Spektralbereich mit dem eingeblendeten Kontinuum präsentiert.

S/N = 375

Das Ergebnis der S/N-Bestimmung wird im Descriptor SIGTONOISE im verwendeten Spektrum gespeichert.

Wenn man ein anderes Spektrum bearbeiten will, dann kann man auch einen anderen Dateinamen übergeben.

```
Syntax : STON/SMS P1
P1      : Spektrum, optional. Voreinstellung ist smsresult
Ergebnis: smsresult.bdf, P1.bdf
Bild    : smsresult.bdf, bzw. P1.bdf
```

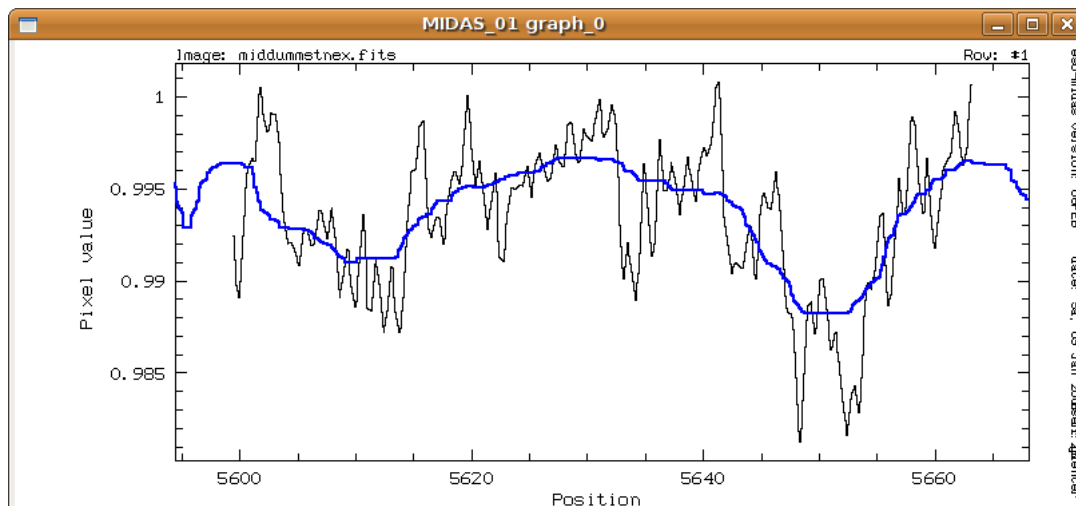


Abbildung 23: Ausschnitt mit Spektrum und künstlichem Kontinuum

2.21 Äquivalentbreite

Die Äquivalentbreite gibt an, wieviel Energie ein bestimmtes Element oder Molekül an einer bestimmten Stelle dem Kontinuum entzieht oder hinzufügt. Mit dem Befehl `EQUIV/SMS` kann man an beliebigen Stellen im Spektrum die Äquivalentbreiten messen.

`EQUIV/SMS`

Zoomen mit 2 Klicks

Zuerst sollte der Bereich um die interessierende Linie heraus vergrößert werden. Dazu klickt man einmal großzügig links und rechts von der Linie, deren Äquivalentbreite berechnet werden soll. Dann wird der Benutzer nach einer Bezeichnung der Linie gefragt.

Bezeichnung der Linie: `[H_alpha]: He5876`

Dies ist notwendig, weil die berechnete Äquivalentbreite im Descriptor `equivHe5876` gespeichert wird.

Bereich mit dem Cursor bestimmen? (y/n) `[y]:`

Hier kann man wählen ob der Integrationsbereich mit 2 Cursorklicks (beenden mit Leertaste) oder durch die Eingabe der Start- und Endwellenlänge bestimmen will. Bei der Cursormethode legt man mit dem Cursor sowohl die Wellenlänge, als auch die Intensität festgelegt. Der angenommene Verlauf des Kontinuums wird nach dem Beenden des Cursors angezeigt.¹⁷ Wenn man die Wellenlängen angibt, dann wird die Intensität aus dem Spektrum genommen.

Will man nicht die Datei `[smsresult]` bearbeiten, dann kann man auch einen anderen Dateinamen übergeben.

Diesen Befehl kann man auch mehrmals aufrufen um noch weitere Äquivalentbreiten im dargestellten Spektrum zu messen. Die Ergebnisse werden in verschiedenen Headern gespeichert.

¹⁷Man kann hier ein richtig schön gekrümmtes Kontinuum erfinden, wenn man die Variablen `[smseqcurs]` und `[smseqdeg]` auf höhere Werte setzt. Standard sind 2, bzw. 1. Siehe die Hilfe zu `INTEGRATE/LINE`.

Syntax : EQUIV/SMS P1
P1 : Spektrum, optional. Voreinstellung ist `smsresult`
Ergebnis: `smsresult`.bdf, `P1`.bdf
Bild : `smsresult`.bdf, bzw. `P1`.bdf

2.22 Daten ins Bild schreiben

Mit dem Befehl

`LABEL/SMS` werden einige Daten und Messwerte in das gerade aktive Graphikfenster geschrieben.

- Name des Objekts
- Julianisches Datum der Beobachtung
- mittlere Auflösung, falls vorhanden
- eine Äquivalentbreite, falls vorhanden
- S/N, falls vorhanden
- Name des Beobachters, falls ungleich +
- eine selbst formulierte Zeile, falls ungleich +

Die Messwerte und das JD werden aus dem Header des normierten Spektrums ausgelesen, das Spektrum wird in das Graphikfenster gezeichnet und mit schöneren Achsen versehen. Die Beschriftung der Y-Achse ist `normalized flux`. Wenn man eine andere Bezeichnung verwenden will, dann kann man sie als zweiten Parameter in Anführungszeichen angeben.

`LABEL/SMS ? "relative flux"`

Wenn eine Äquivalentbreite gemessen wurde, dann wird der Bereich der Messung im Spektrum rot gefärbt.

Als Spektrum wird `smsresult`.bdf verwendet. Wenn diese Datei nicht existiert, dann wird nach einem gültigen Namen gefragt. Man kann den *vollständigen* Namen der gewünschte Datei auch gleich beim Befehl angeben:

`LABEL/SMS MeinSpektrum.fits`

Der Name des Objekts und der Name des Beobachters dürfen Leerzeichen enthalten, aber weder ' noch ''.

Syntax : `LABEL/SMS P1 P2`
P1 : Spektrum, optional. Voreinstellung ist `smsresult`
P2 : Beschriftung der Y-Achse, optional. Voreinstellung ist `normalized flux`
Ergebnis: `smsresult`.bdf, bzw. `P1`.bdf
Bild : `smsresult`.bdf, bzw. `P1`.bdf

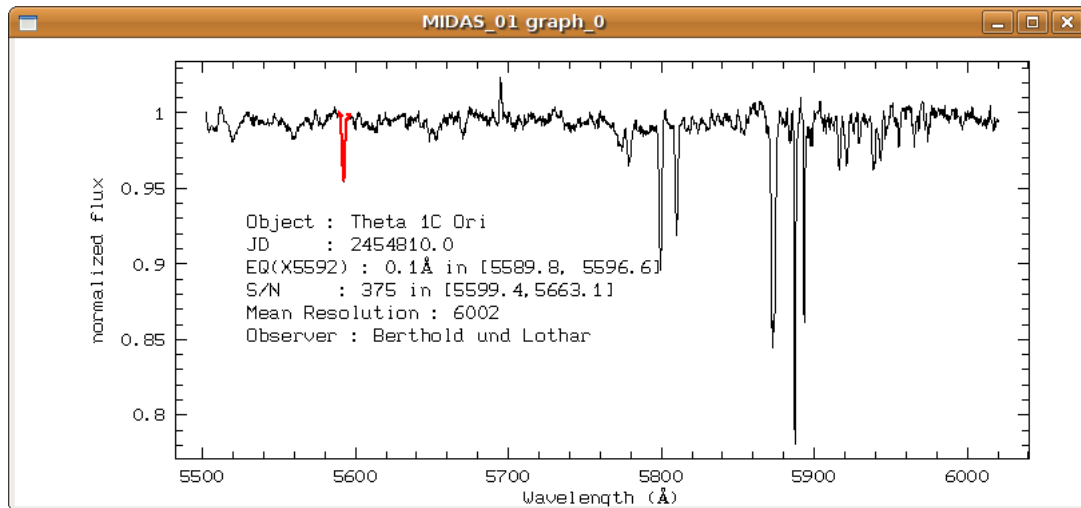


Abbildung 24: Spektrum mit eingeblendeten Werten

2.23 Bild vom Spektrum

IMAGE/SMS

Der Befehl liest zwei Parameter:

IMAGE/SMS P1 P2

Ohne weitere Angabe wird der Graphikbildschirm kopiert und das Bild `theta1OriC.gif` in der Breite 600 Pixel erzeugt.

Will man nur eine andere Bildgröße erzielen, dann gibt man die gewünschte Breite als zweiten Parameter an. Das Seitenverhältnis des Bildes wird dabei nicht verändert.

IMAGE/SMS ? 800

Einen anderen Bildnamen und ein anderes, von `convert` unterstütztes Graphikformat, gibt man als ersten Parameter an.

IMAGE/SMS MeinSpektrum.jpg

erzeugt dann `MeinSpektrum.jpg` in der Standardgröße 600 Pixel.

IMAGE/SMS setzt voraus, dass die Pakete Ghostscript und ImageMagick im Linuxsystem installiert sind.

Syntax : IMAGE/SMS P1 P2
P1 : Bild.typ, optional. Voreinstellung ist `smsresult`.gif
P2 : Breite des Bildes, optional. Voreinstellung ist 600px.
Ergebnis: `smsresult`.gif, bzw. `P1`.typ

2.24 Einstellungen anzeigen

SHOW/SMS zeigt den Inhalt aller relevanten Variablen.

Man kann sie mit SET/SMS verändern. Siehe 2.1.

2.25 Einstellungen speichern

Mit dem Befehl

SAVE/SMS meineEinstellungen

werden alle Variablen des Contexte SMS und LONG in den Tabellen `meineEinstellungen.tbl` und `meineEinstellungen_long.tbl` im aktuellen Verzeichnis gespeichert. Diese beiden Tabellen werden auch noch ins Fitsformat exportiert: `meineEinstellungen.tfits` und `meineEinstellungen_long.tfits`. Mit dem Befehl

INIT/SMS meineEinstellungen

kann man sie jederzeit wieder laden, insbesondere nach **SET/CONT sms**.

2.26 Ergebnisse speichern

Bis hierher wurden alle neuen Bilder im `bdf`-Format erzeugt. Die Ergebnisse sollten jetzt in das Fitsformat exportiert werden, damit sie beim Aufräumen überleben.

Alle Ergebnisbilder haben den Namensanfang `smsresult`. Mit dem Befehl

SAFIT/SMS

können diese exportiert werden. Dazu wird dem Bearbeiter eine Liste aller vorhandenen Ergebnisaufnahmen präsentiert und er kann auswählen, ob das Bild exportiert werden soll.

Syntax : **SAFIT/SMS**

Ergebnis: `smsresult`.fits, `smsresult_av`.fits usw.

2.27 Aufräumen

CLEAN/SMS

führt zuerst **SAFIT/SMS** aus und löscht dann alle nicht mehr benötigten Dateien, hoffentlich nicht noch mehr. Nur Fitsdateien bleiben übrig und die Bilder von **IMAGE/SMS**.

*.bdf- und *.tbl werden gelöscht. Man sollte vorher gegebenenfalls **SAVE/SMS** ausgeführt haben!

2.28 Beenden

CLEAR/SMS

beendet die Contexte LONG, SPEC und SMS.

2.29 Variablen

Wird noch ergänzt.

3 Lizenz

Die Skriptsammlung ist frei.



Maya ist immer dabei.

Index

Äquivalentbreite, 39

Auflösung, 30

aufräumen, 42

bdf-Format, 13

Befehl

BASIC/SMS, 14

BIAS/SMS, 16

CLEAN/SMS, 42

CLEAR/SMS, 42

CORREL/SMS, 29

CSPEC/SMS, 22

DCORR/SMS, 18

DSCALE/SMS, 17

EQUIV/SMS, 39

EXTRACT/SMS, 24

FCORR/SMS, 21

FDARK/SMS, 19

FLAT/SMS, 19

IMAGE/SMS, 40

INTO/SMS, 31

LABEL/SMS, 39

NORMAL/SMS, 31

OBJECT/SMS, 14

ODARK/SMS, 17

OPN/SMS, 32

OWN/SMS, 13

RESOL/SMS, 30

REVIEW/SMS, 29

ROTATE/SMS, 22

SAFIT/SMS, 41

SAVE/SMS, 41

SHOW/SMS, 41

STON/SMS, 37

TERR/SMS, 33

Bias, 5

FFT, 6

Masterbias, 6

Dark, 6

heiße Pixel, 8

Masterdark, 8

skalieren, 8

Dateien

_av, 28

_clean, 34

_corr, 29

_nor, 32

_opn, 33

_orig, 31

bias00..., 17

darks00..., 17

Dob00..., 18

EX..., 28

F..., 21

fd00..., 19

ob00..., 16

R..., 24

Deskriptor

DATE-OBS, 10

EQUIV, 39

RESOL, 30

SCALED BY, 32

SIGTONOISE, 38

TM-START, 11

Dispersionsrelation, 25

exportieren, 41

Fehlerbericht, 11

Fehlermeldungen, 12

Fits-Standard, 10

Flatfield, 8

Dunkelstromkorrektur, 19

Masterflat, 19

Normierung, 19

Hilfe, 11

HITRAN, 35

Julianisches Datum

modifiziertes, 15

JUMP, 28

Kalibration in Wellenlänge, 25

Katalog, 10

Lineardispersion, 27

Linienkatalog, 22

- neon.tfits, [3](#)
- Objektspektrum, [9](#)
 - Darkkorrektur, [18](#)
 - Flatkorrektur, [21](#)
- S/N, [37](#)
- Signal-Rausch-Abstand, [37](#)
- terrestrische Linien, [33](#)
- Threshold, [25](#)
- Variable
 - smsflatfilter, [19](#)
 - smslastcat, [10](#)
 - smsresult, [25](#)
 - smstype, [24](#)
- Vergleichspektrum, [9](#)
- Wasserlinien, [33](#)
- Wellenlängenkalibration, [25](#)