Die Reduktion von Spektren mit Giotto und Vspec

Warum ist überhaupt eine Reduktion von Spektren erforderlich?

Ein Sternspektrum enthält grundsätzlich zwei (in seltenen Fällen drei) Bestandteile, die überlagert in Erscheinung treten:

- Das Sternkontinuum
- Absorptionslinien
- (in wenigen Ausnahmefällen) Emissionslinien

Der Verlauf des Sternkontinuums wird idealerweiser durch die Planck-Kurve eines schwarzen Strahlers gegeben. Dieser Verlauf ist bei einem schwarzen Körper rein temperaturabhängig, wobei die Temperatur alleine durch die Lage des Strahlungsmaximums (nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz) bestimmbar ist.

Das Vorkommen und die Form der Absorptionslinien wird durch Eigenschaften der Sternatmosphäre bestimmt (Temperatur, Druck, …), d.h. die Atome in der („kühlen“) Sternatmosphäre „verschlucken“ Licht ganz bestimmter Wellenlängen in Beobachtungsrichtung, weil Atome in der Sternatmosphäre durch diese speziellen Lichtenergien ($E \sim 1/\lambda$) angeregt werden (gebunden-gebunden-Übergänge).

Der (seltene) Fall von Emissionslinien kommt nur bei sehr heißen Sternen vor, die ein atomares Gas in ihrer Umgebung aufheizen, so dass dieses Umgebungsgas selber zum Leuchten angeregt wird. Dabei kann es natürlich zu Überlagerungseffekten von Emissionslinien (aus dem Umgebungsgas) und Absorptionslinien (aus der Sternatmosphäre und auch im Umgebungsgas) kommen. Es gehört zu den interessantesten Aufgaben der Sternspektroskopie, die komplexen Linienüberlagerungen in diesen exotischen Objekten zu erkennen und entsprechend ursächlich zu deuten.

➢ Warum Reduktion des Kontinuumsverlaufes?

Der Plancksche Strahlungsverlauf des Sternkontinuums ist vor allem durch die Verwendung unserer Aufnahmeinstrumente (Teleskop, Spektrograph, Kamera) völlig verfälscht, so dass das von uns aufgenommene eigene Spektrum das Ergebnis einer Überlagerung des Sternkontinuums mit einer speziellen Instrumentenfunktion ist, also:

Eigenes Kontinuumsspektrum = wahres Sternkontinuum x instrumentelle Funktion

Strategie der Wiederherstellung des „wahren Sternkontinuums“:

1. Ermittlung der instrumentellen Funktion, die unabhängig von dem spektroskopierten Stern immer gleich aussieht und „nur“ von der Verwendung des Systems „Teleskop,

Spektrograph, Kamera“ abhängig ist. Eine zuverlässig ermittelte instrumentelle Funktion kann so lange verwendet werden, wie sich die Verwendung dieser drei Komponenten in ihrer Einstellung separat und zueinander nicht ändert und auch bei einigermaßen konstanter Umgebungstemperatur benutzt wird.
Durch Umstellung der obigen Formel sieht man:

Instrumentelle Funktion = Eigenes Kontinuumsspektrum : wahres Sternkontinuum

Dadurch ergibt sich das folgende Vorgehen: Spektroskopiere einen Stern, den du auch in der Datenbank „ELODIE“ des französischen Observatoriums in der Haute Provence (OHP) findest. Google nach „Elodie“ und lade dir dort das Spektrum deines Sterns in demselben Wellenlängenbereich und derselben Dispersion (Angström pro Pixel) herunter.

2. Mit der einmal auf diese Weise ermittelten instrumentellen Funktion kann man dann jedes beliebige Sternkontinuum nach einem astronomischen verbindlichen Standardverfahren flußkalibrieren, und zwar durch:

   Wahres Sternkontinuum = Eigenes Kontinuumsspektrum : instrumentelle Funktion

➢ Warum weitere Reduktion des kompletten Spektrums?

Das komplette aufgenommene Sternspektrum wird nicht nur durch eine immer gleich bleibende instrumentelle Funktion verfälscht, sondern auch durch etliche Einflüsse, die sich zeitlich schnell ändern können und daher separat vorher beseitigt werden müssen:

- Elektronisches Ausleserauschen der CCD-Kamera (Bios-Korrektur)
- (thermisches) Rauschen der Kamera selbst ohne Lichteinfall (Dark-Korrektur)
- Empfindlichkeitsverlauf der Pixel auf dem CCD-Chip, Staub und Kratzer auf den optischen Komponenten, … (Flatfield-Korrektur)
- zusätzlich aufgenommenes Licht des Nachthimmels incl. Absorptionslinien des Wasserdampfes in der Erdatmosphäre, evtl. Reflexe von Stadtbeleuchtungen, … (Himmelshintergrund-Korrektur)

Zur Begründung und Reduktionsstrategie im Einzelnen:

1. Bios-Korrektur: Aufnahme eines reinen Auslese-Bildes mit einer Belichtungszeit von 0s („Bios“) und anschließende Subtraktion aller Spektren um dieses „Bios“. Dieser Schritt wird von vielen Kameras bereits bei der Aufnahme durchgeführt und braucht dann nicht mehr manuell vorgenommen zu werden.
2. Dark-Korrektur: Aufnahme eines Dunkelbildes („Dark“) mit gleicher Belichtungszeit wie das aufgenommene Sternspektrum und anschließender Subtraktion des Sternspektrums mit diesem „Dark“. Auch dieser Schritt wird von vielen Kameras automatisch durchgeführt, wobei sich dann natürlich die Wartezeit pro Spektrum exakt verdoppelt.
3. Um das Signal-zu-Rausch-Verhältnis eines aufgenommenen Spektrums zu optimieren, muss man mehrere „gute“ Spektren übereinanderlegen, gemäß des Verhältnisses von n-facher Bildüberlagerung (n-fache Signalverstärkung) zu $\sqrt{n}$-facher Verstärkung des Rauschens

(damit verbessert sich das Signal- zu-Rausch-Verhältnis mit $\frac{n}{\sqrt{n}} = \sqrt{n}$, also mit zunehmender Anzahl an Überlagerungen „guter“ Spektren). „Gute“ Spektren erzielt man, indem man die Belichtungszeiten so wählt, dass man im linearen Empfindlichkeitsbereich der CCD-Kamera landet. Die Pixel dürfen also weder überlaufen („ausbrennen“), noch dürfen die Pixel zu wenig gefüllt sein. Am besten erreicht man einen Wert zwischen 30% und 70% der maximal möglichen Füllhöhe.

4. Die Flatkorrektur des Spektrums erfolgt mit der Spektroskopie einer vollständig gleichmäßig weiß ausgefüllten Fläche (z.B. Bettlaken, das gleichmäßig mit einer Halogenlampe beleuchtet wird; Flatfieldfolien von Gerd Neumann; Leinwand mit einer Halogenlampe gleichmäßig ausleuchten, o.ä.). Dieses „Flat“ ist also die Aufnahme eines möglichst perfekt intensitätsgleichverteilten kontinuierlichen Spektrums, so dass man direkt die Empfindlichkeitskurve des verwendeten CCD-Chips und auch alle Unreinheiten auf den optischen Komponenten sehen kann. Das Flatfield sollte natürlich immer in dem Wellenlängenbereich aufgenommen werden, in dem man auch das Sternspektrum aufnimmt. Der Fokus und die Belichtungszeit sind nicht relevant, solange man sich wieder im linearen Empfindlichkeitsbereich der Kamera befindet.
   Zur Flatkorrektur dividiert man das Sternspektrum durch das „Flat“.
5. Zur Reduktion des Himmelshintergrundes bestimmt man zunächst einen „mittleren Himmel“ derart:
   mittlerer Himmel = (Himmelsstreifen oberhalb des Sternspektrums + Himmelsstreifen unterhalb des Sternspektrums) : 2
   und subtrahiert diesen „mittleren Himmel“ von unserem aufgenommenen Sternspektrum.
6. Wellenlängenkalibration: Auf der x-Achse findet sich in unserem Sternspektrum zunächst die Angabe der Pixelnummer, die fortlaufend nummeriert erscheint. Wir wissen natürlich, dass zu jeder Pixelnummer eine bestimmte Wellenlänge gehört. Diese gilt es mit Hilfe eines bekannten Spektrums (z.B. durch Aufnahme des Spektrums einer Neonlampe) zu finden. Dieser Reduktionsschritt wird als „Wellenlängenkalibration“ bezeichnet. Es ist u.U. ratsam, diese Wellenlängenkalibration mit Hilfe von Wasserdampflinien der Erdatmosphäre zu kontrollieren und evtl. sogar zu korrigieren.
7. Spektrennormierung: Interessiert man sich vor allem für die Analyse der Linien im Spektrum (Äquivalentbreite, V/R-Variation bei Emissionsliniensternen, …), ist es üblich, das Sternkontinuum auf den Wert „1“ zu normieren. Dazu bestimmt man zunächst das Pseudokontinuum des Sterns (also einen Kurvenverlauf, den wir für das sehr wahrscheinliche Sternkontinuum halten – leider ist dieser Reduktionsschritt daher ausgesprochen subjektiv und verlangt einige Erfahrung) und ermittelt dann das „normierte Spektrum“ durch:
   Normiertes Spektrum = aufgenommenes Sternspektrum : Pseudokontinuum

Übersicht über die Reduktion und der verwendeten Programme

A. Addition zum Summenspektrum: ➔ Giotto / Iris
B. Scannen des Summenspektrums: ➔ Vspec / Iris / Maxim DL
C. Kalibration mit Neon-Spektrum: ➔ Vspec / Iris / Maxim DL
D. Spektren-Normierung: ➔ Vspec / Iris / Maxim DL
E. Spektren-Feinkalibration: ➔ Vspec / Iris / Excel

Tipp für die Aufnahme von Spektren:

Kamera im „Binning“-Modus in der Nicht-Dispersionsrichtung verwenden, z.B. 8fach-Binning.

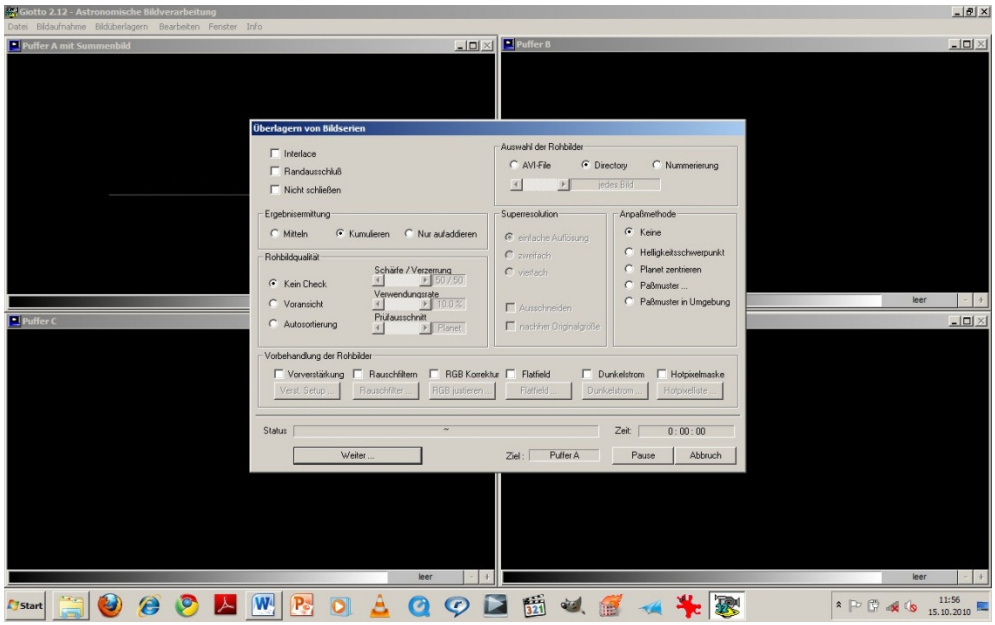
Die Fischer-CCD-Kameras kann man sich so „wünschen“.

Konkrete Benutzung von Giotto und Vspec für die einzelnen Schritte der Spektrenreduktion

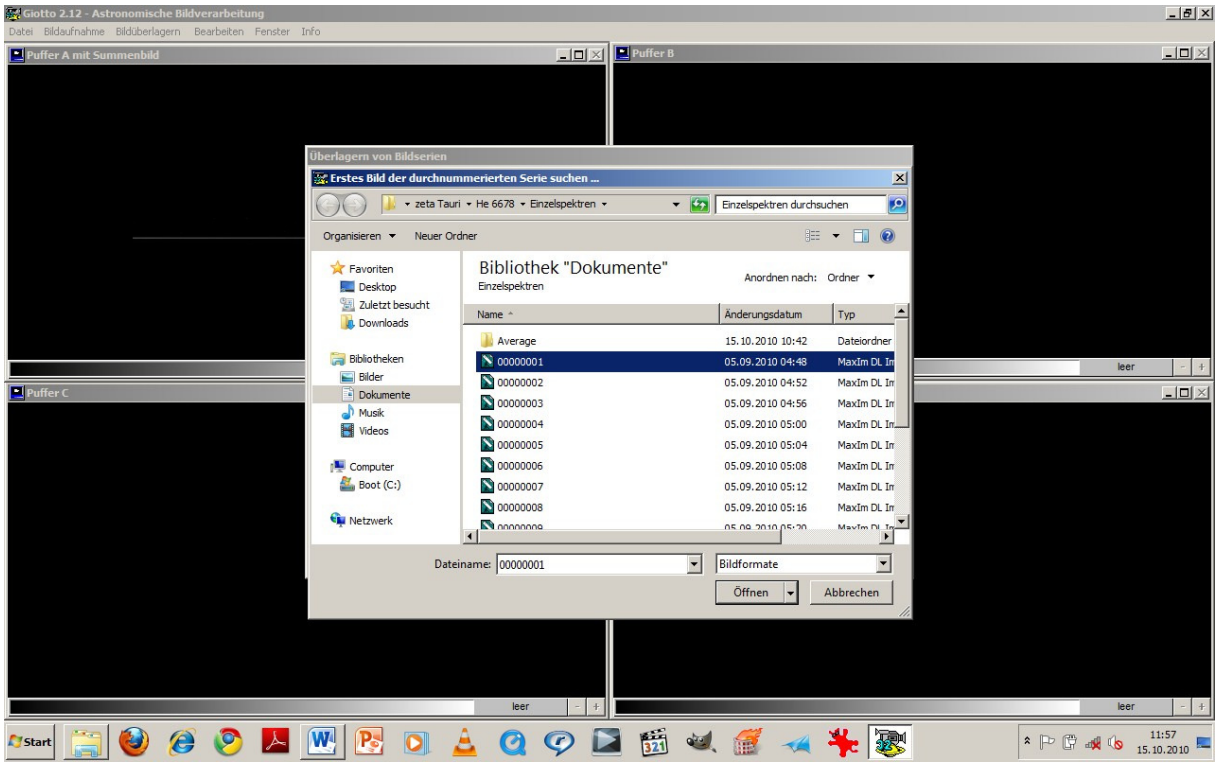
A. **Addition zum Summenspektrum und Flat-Reduktion:** ➔ Giotto

Starte die Software „Giotto“.

- ⇨ Bild überlagern ➔ Überlagere Bilder (Giotto classsic)
- ⇨ Wähle die folgenden Einstellungen: kein Check, einfache Auflösung, directory, Anpassmethode: keine
- ⇨ Weiter



Nun gib die Spektren an, die „addiert“ (übereinandergelegt und gemittelt) werden sollen. Dazu rufe den Ordner auf, in dem sich alle aufzuaddierenden Spektren befinden, markiere das erste Spektrum, alle anderen werden dann automatisch „addiert“.



Das „Summen“spektrum wird automatisch angezeigt und im selben Ordner unter der Bezeichnung „resultcopy“ gespeichert.

Überlagerung (Summierung) von Emissionslinienspektren:

Durch die Existenz einer oder mehrerer Emissionslinien in einem Sternspektrum haben wir jetzt die Möglichkeit, ausgezeichnete Referenzpunkte mit einem hohen Wiedererkennungswert in den Spektren festzulegen, so dass eine Überlagerung aller Spektren noch genauer gelingt.

Gehe wie folgt vor:

Starte die Software „Giotto“.

- ⇨ Bild überlagern ➔ Überlagere Bilder (Giotto classsic)
- ⇨ Wähle die folgenden Einstellungen: kein Check,
  4-fach, nachher Originalgröße
  directory,
  Anpassmethode: Paßmuster
- ⇨ Weiter
- ⇨ Auswahl: markiere das 1. Sternspektrum im Ordner ➔ Öffnen

- ⇨ Es hat sich jetzt ein rotes Fenster geöffnet; klicke ins rote Fenster, um es zu aktivieren. Mit der linken Maustaste kann man das rote Fenster nun verschieben. Schiebe es über die Emissionslinie als Referenzbereich.
- ⇨ Weiter
- ⇨ Markiere im Ordner das 2. Spektrum ➔ öffnen

Nun werden alle Spektren in diesem Ordner mit der Methode des „Paßmusters“ mit hoher Überlagerungsgenauigkeit summiert.

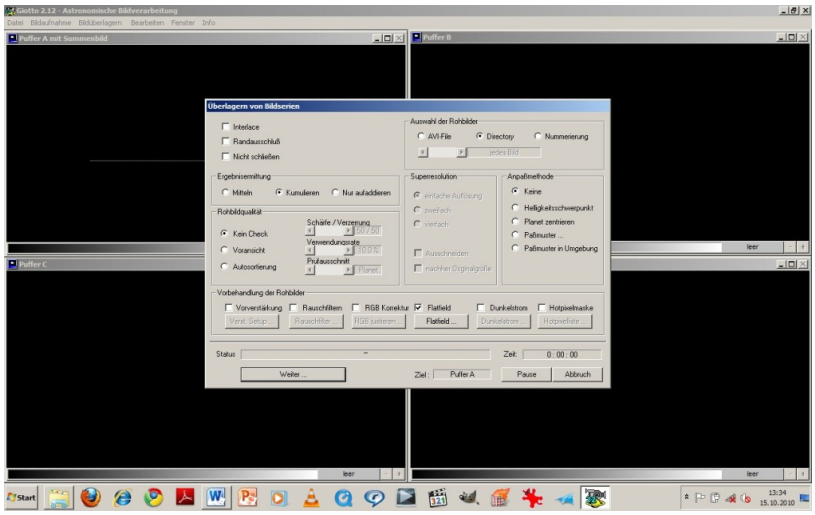
Flatreduktion:

Denselben Prozess der „Summen“bildung wiederhole mit allen Flats, die du zu einem Summenflat („average“) addieren möchtest.

Dann führe die Flatreduktion wie folgt durch:

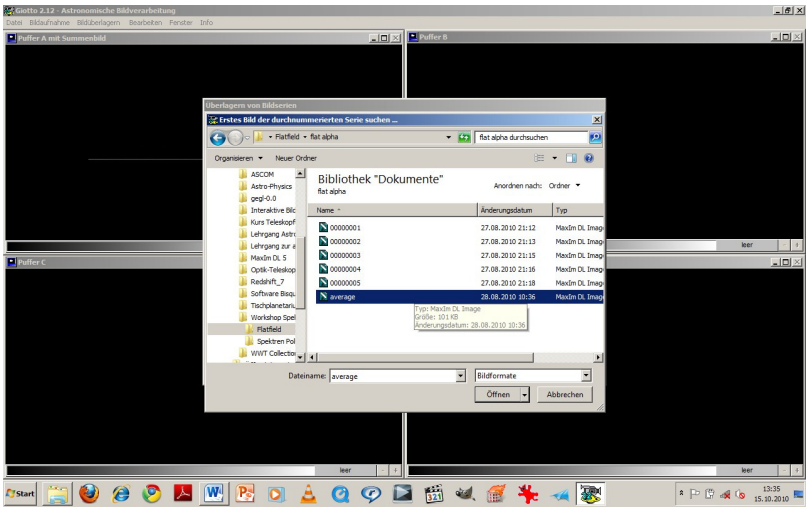
In Giotto: ➔ Bild überlagern ➔ Überlagere Bilder (Giotto classic)

➔ Wähle die folgenden Einstellungen: Flatfield √



➔ Flatfield

Nun wähle das soeben erstellte Summenflat („average“) aus:



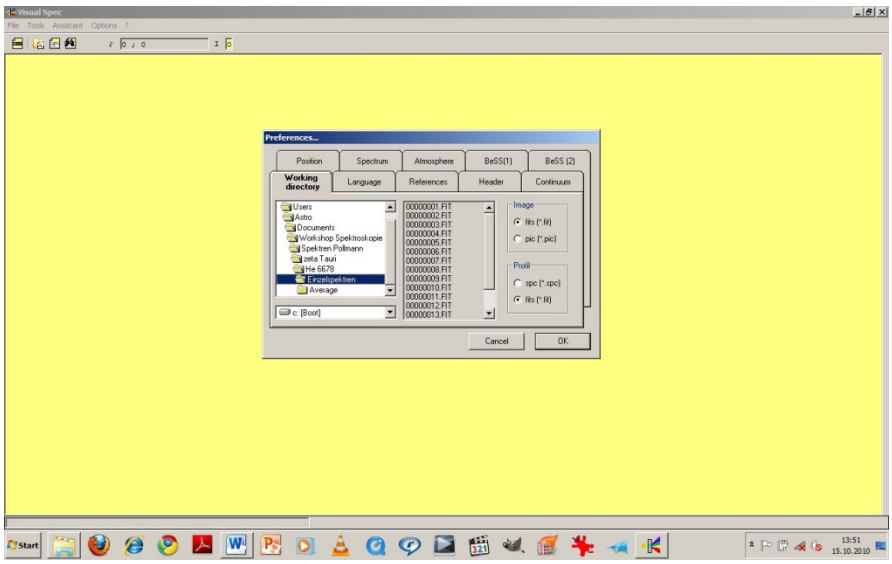
⇨ Öffnen ➔ weiter

Im Ordner der Sternspektren wird nun von Giotto das flatfieldreduzierte Spektrum gespeichert abgelegt (erneut unter „resultcopy“). Es empfiehlt sich, hier eine Umbenennung des Ergebnisspektrums vorzunehmen.

B. **Scannen des Spektrums und Himmelshintergrundreduktion:** ➔ Vspec

Starte die Software „Vspec“ und weise dem Programm zunächst einen Arbeitsordner zu:

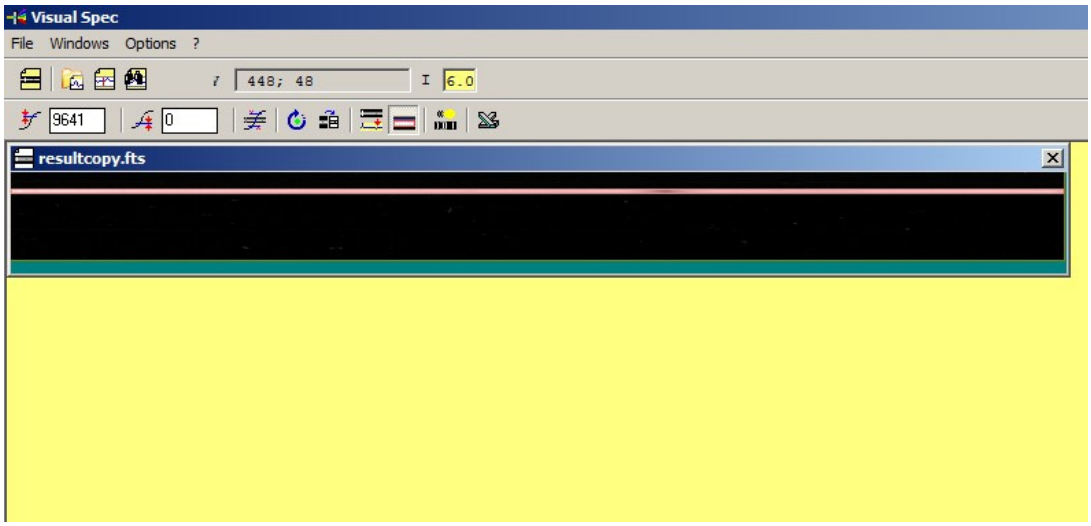
⇨ Options ➔ Preferences ➔ Working directory: dort den Arbeitsordner zuweisen!
➔ ok



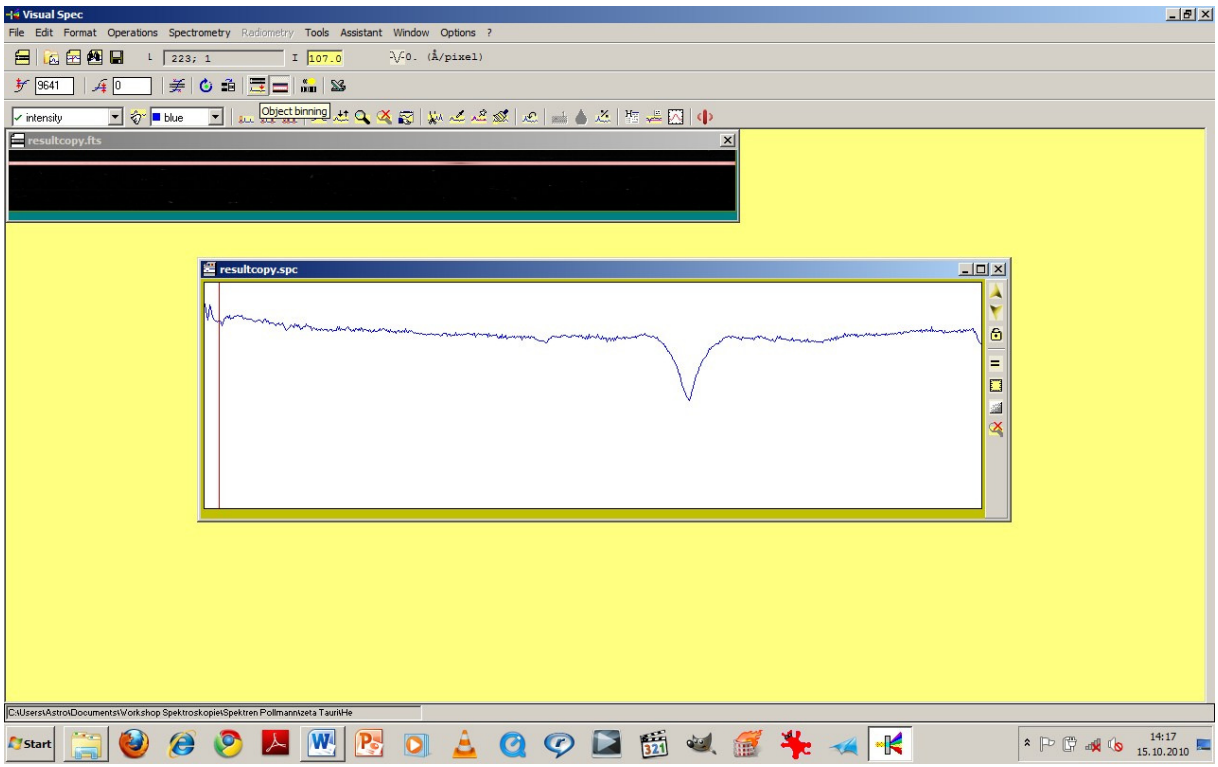
Öffne das flatkorrigierte Sternspektrum („resultcopy“) und nun scannen wir das Spektrum, so dass das Spektrum als wellenlängenabhängige Intensitätsverteilung erscheint:

⇨ File ➔ open image

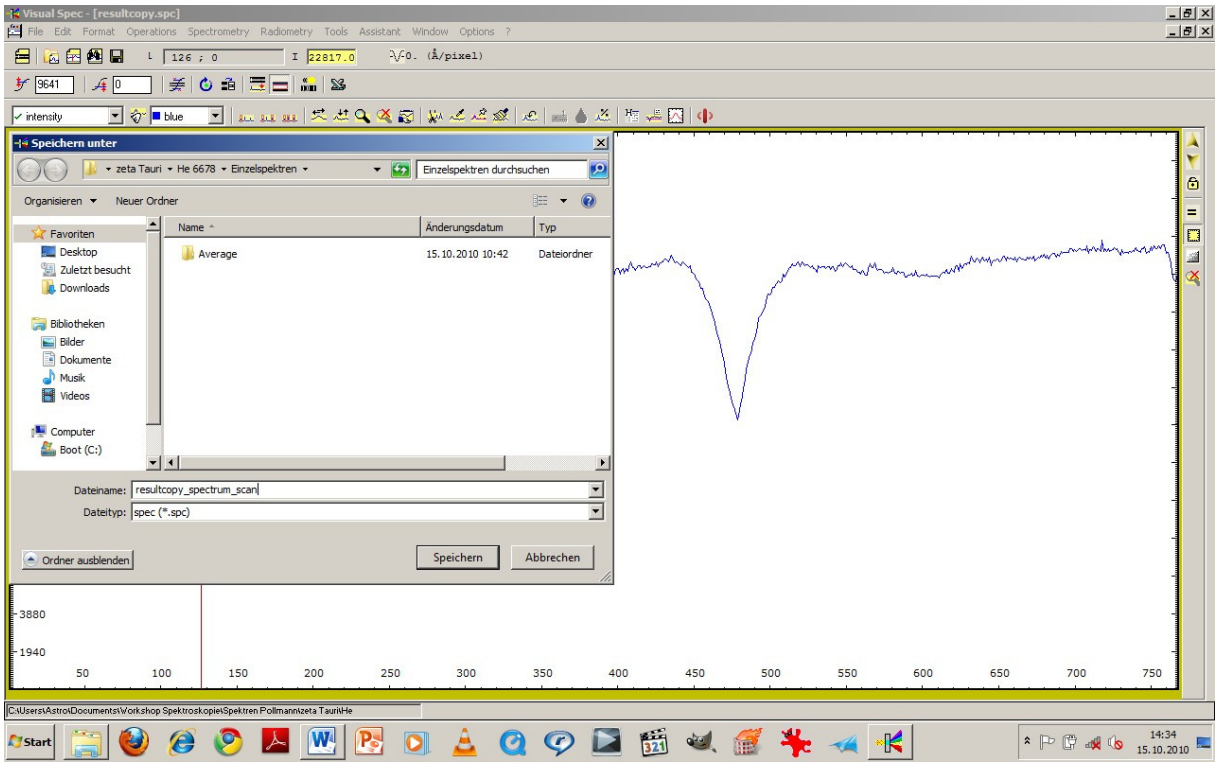
⇨ Roten-Rahmen-Button drücken und den roten Rahmen so eingrenzen, dass das Spektrum idealerweise ungefähr längst seiner Halbwertsbreite eingerahmt wird.



⇨ Drücke den Button „Object binning“



⇨ Speichere dieses Profil ab: ➔ File ➔ save as
➔ neuen Name eingeben, z.B. „spectrumscan“



⇨ Speichern

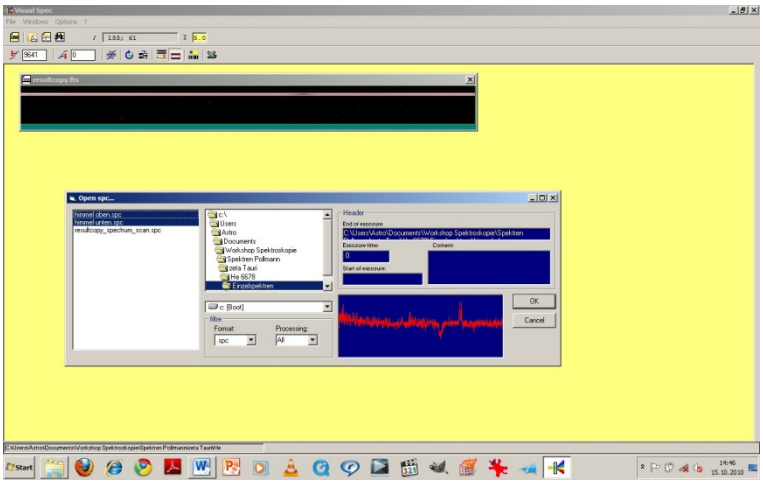
Himmelshintergrund-Reduktion:

Verschiebe den roten Balken (lasse die Breite unverändert) z.B. mit den Pfeiltasten auf der Tastatur (oder auch mit der Maus) etwas unterhalb des Spektrums auf den (eben nicht ganz) „schwarzen“ Himmel und erzeuge mit dem gleichen Vorgehen wie eben ein Scan dieses Himmelbereiches: himmel_unten.spec

Verschiebe dann den roten Balken unveränderter Breite etwas oberhalb des Spektrums auf den ebenso (nicht ganz) „schwarzen“ Himmel und erzeuge damit: himmel_oben.spec

Öffne beide Profile (himmel_unten.spec und himmel_oben.spec) über:

⇨ File ➔ open Profile

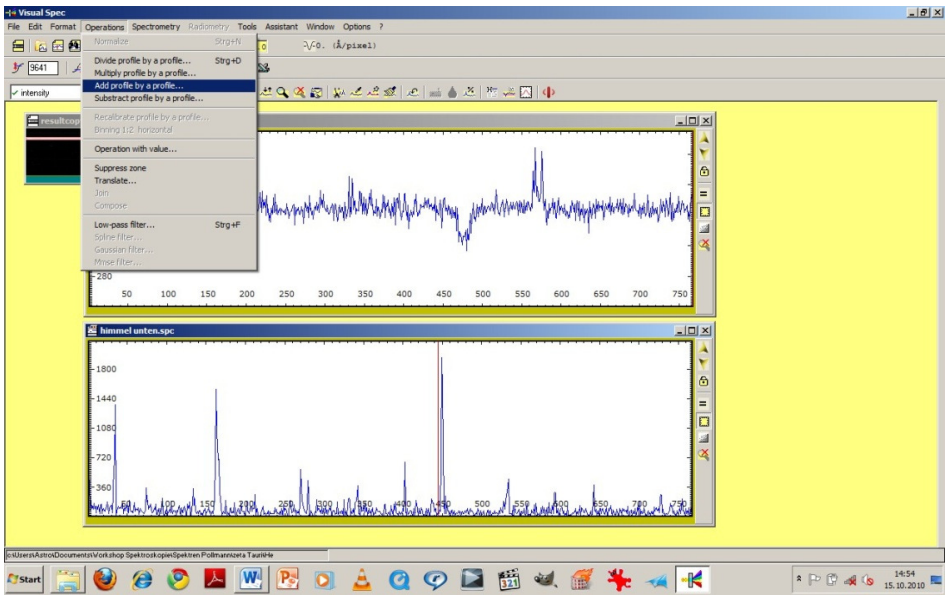


Führe nun eine Mittelwertbildung (arithmetisches Mittel: addieren und durch 2 teilen) dieser beiden Spektren durch, um einen „mittleren Himmel“ zur Reduktion des Himmelshintergrundes zu erzeugen.

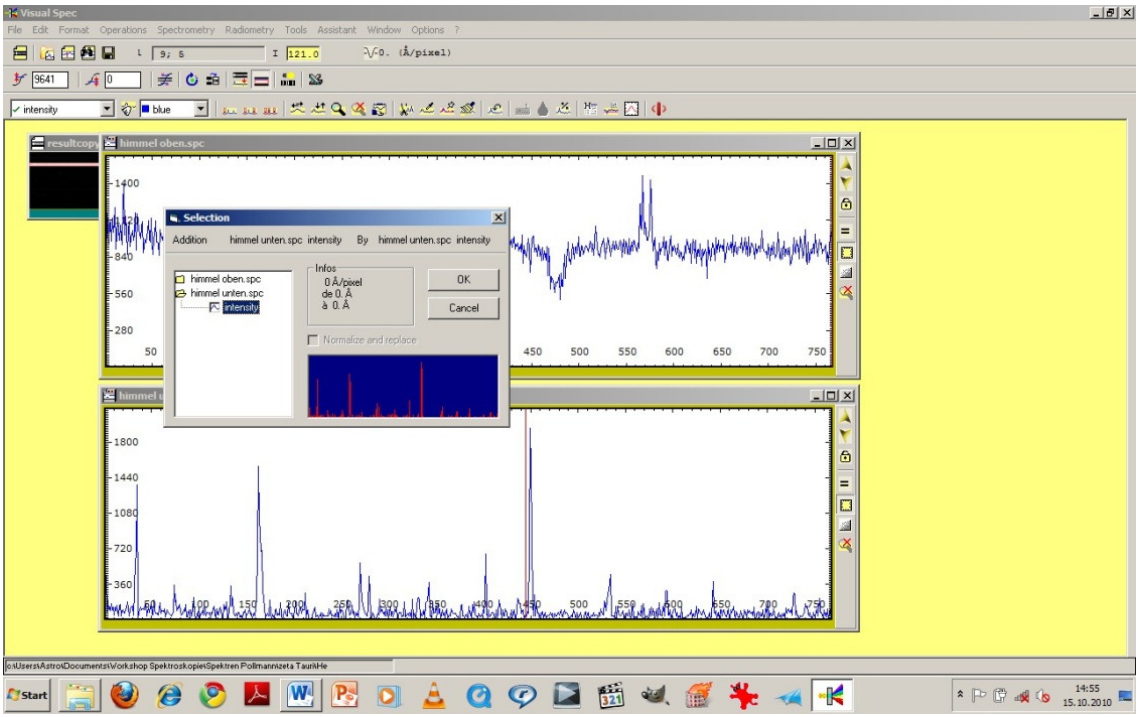
Dazu:

Klicke auf ein Bild, z.B. „himmel_oben.spec“

⇨ Operations ➔ Add profile by profile



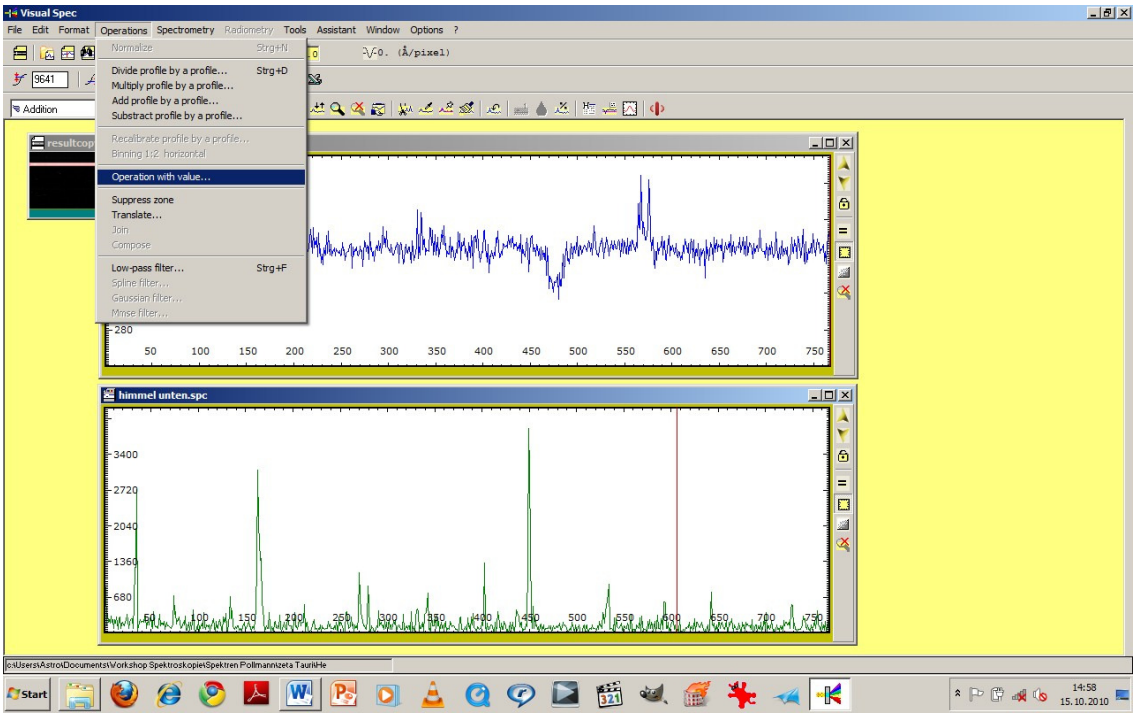
➔ wähle nun „himmel_unten.spec -- intensity“ aus



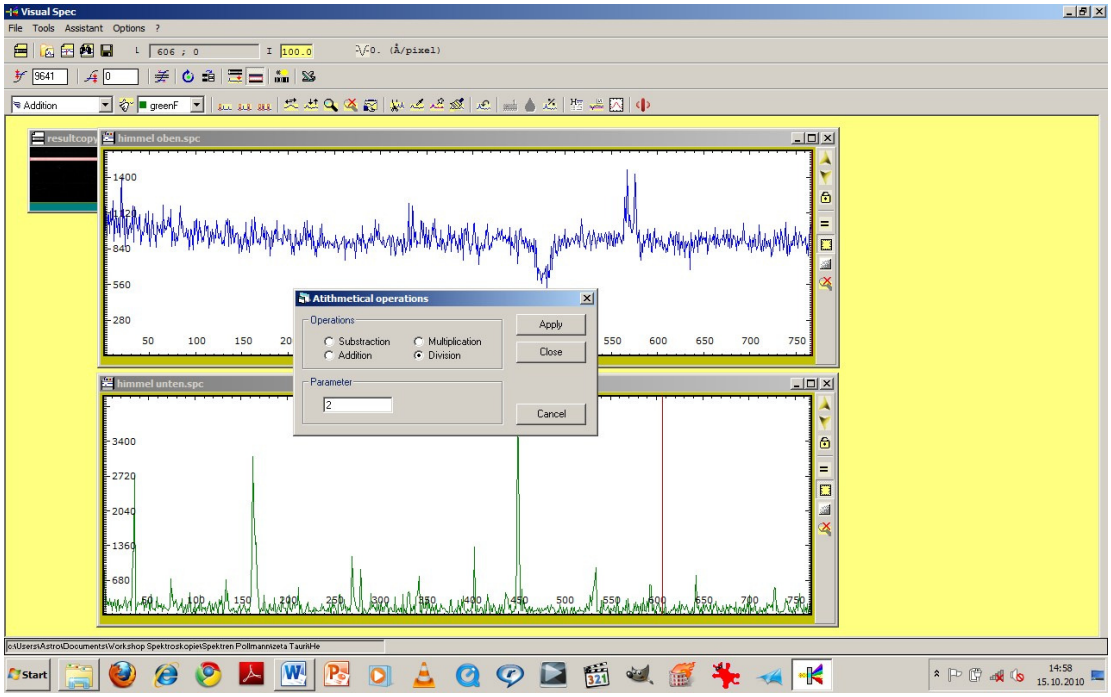
➔ ok

Dann: Lasse das erzeugte Fenster aktiv.

⇨ Operations ➔ Operations with value



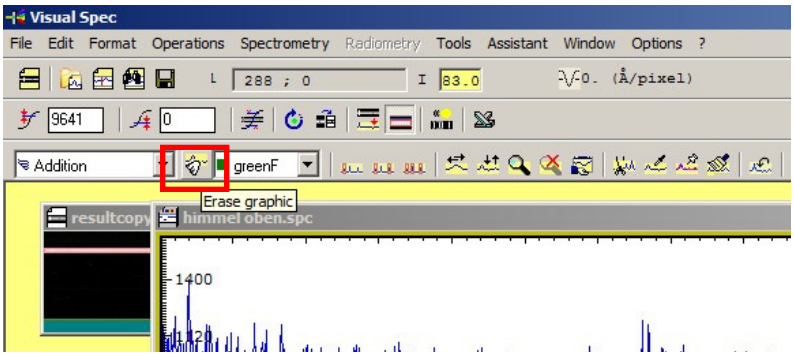
Wähle: Divison Parameter 2



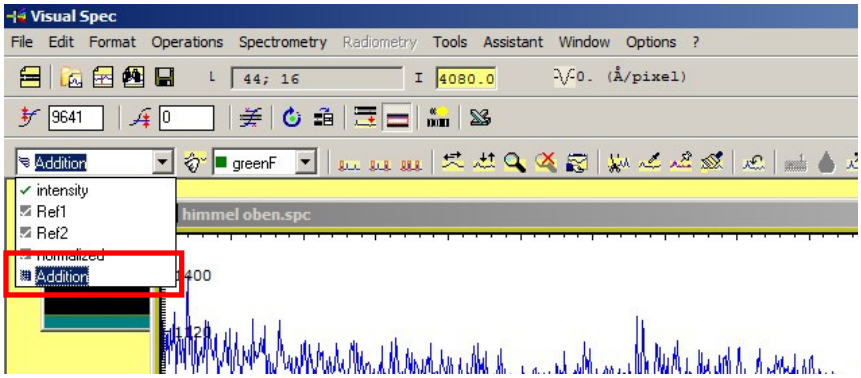
➔ Apply

Damit ist das Spektrum eines „mittleren Himmels“ berechnet und muss nun abgespeichert werden. Es ist eine gewöhnungsbedürftige Eigenart des Programmierers, auf welche Weise man dieses Ergebnisspektrums nun abgespeichert werden muss. Man geht wie folgt vor:

⇨ „Wischtuch“-Button anklicken

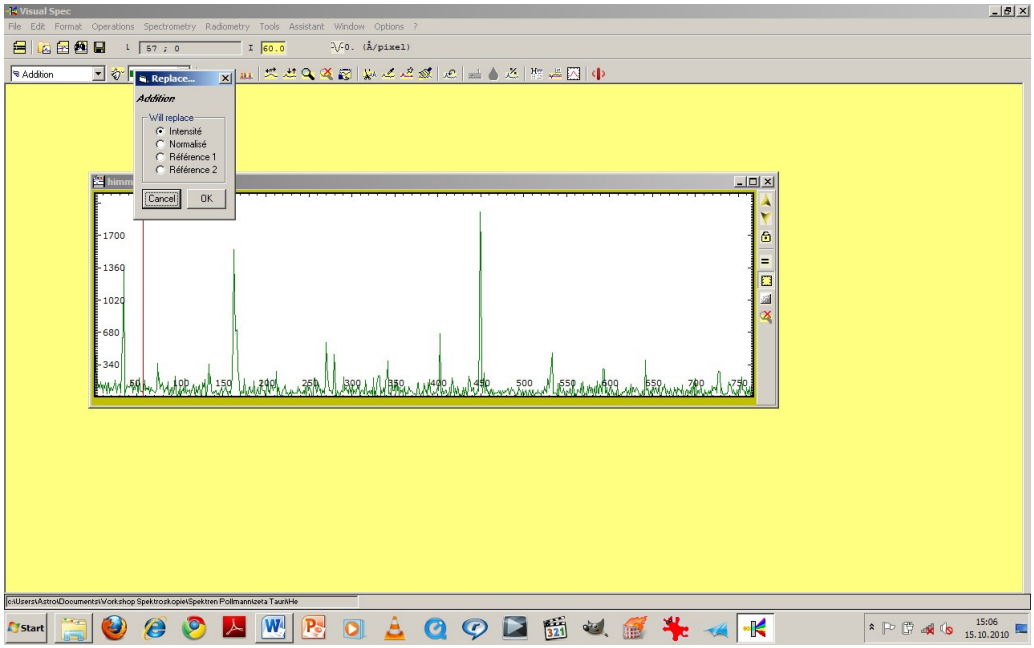


⇨ Links daneben „Addition“ anklicken



Im Fenster wird jetzt das soeben berechnete Spektrum angezeigt.

⇨ Edit ➔ Replace ➔ Intensité



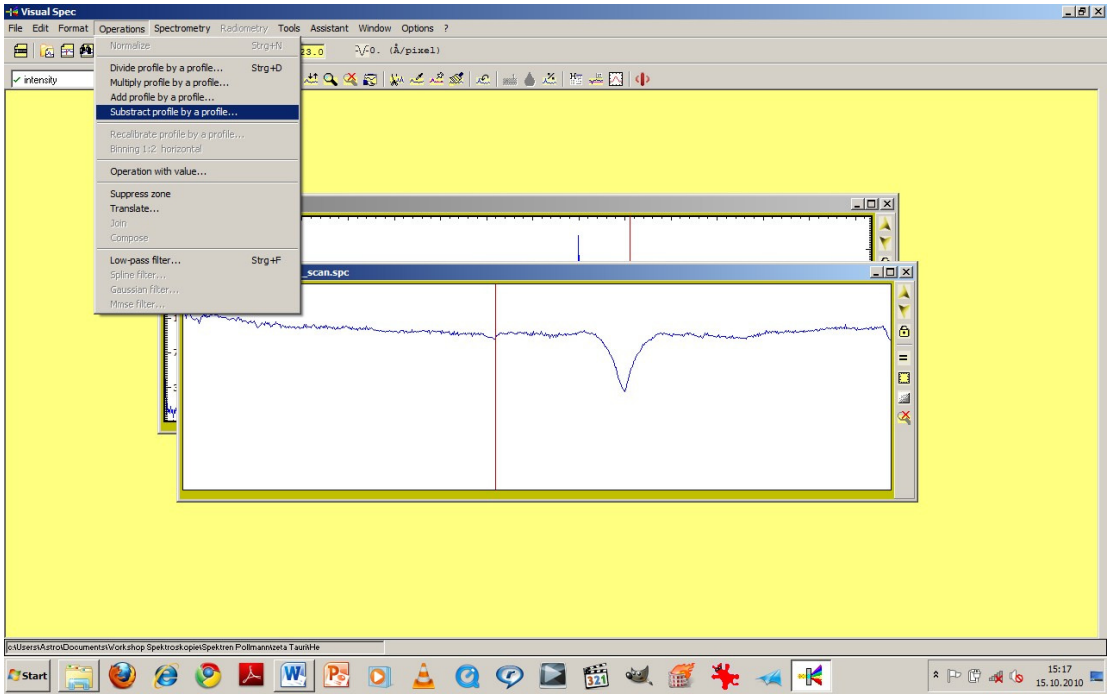
➔ ok

Das Spektrum verändert nun die Farbe von grün auf blau und kann jetzt wie üblich abgespeichert werden: ➔ File ➔ save as

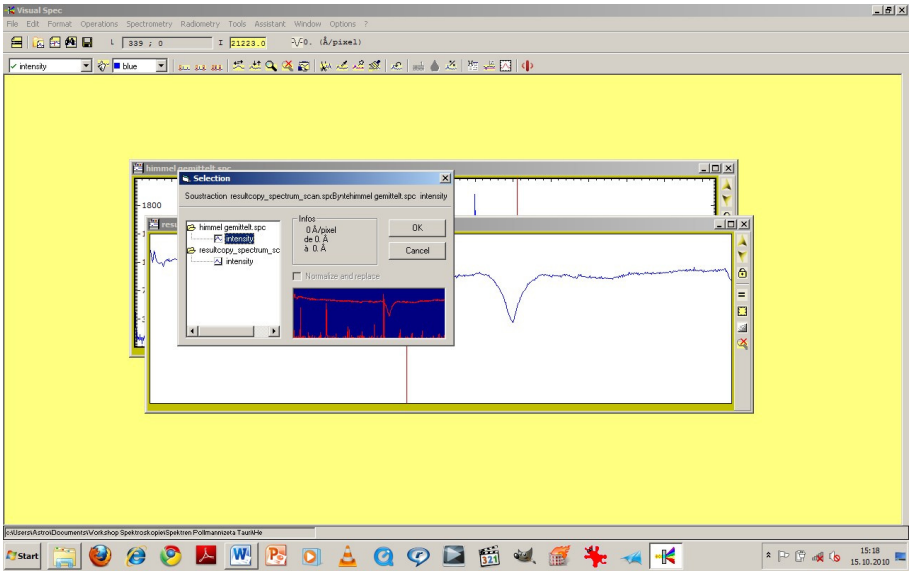
neuen Namen wählen (z.B. „mittlerer_himmel.spec“)

Zur Reduktion des Sternspektrums um den (eben nicht vollkommen schwarzen) Himmelshintergrund subtrahiere nun den „mittleren Himmel“ von deinem Sternspektrum „spectrumscan“.
Dazu öffne beide Profile, markiere „spectrumscan.spec“:

⇨ Operations ➔ Subtract profile by profile



Wähle aus: „himmel_mittel.spec -- intensite“



➔ ok

Nun wird das subtrahierte Spektrum angezeigt und muss mit dem umständlichen Verfahren von eben abgespeichert werden (Wischer-Button, links daneben „Subtraktion“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok, ➔ File ➔ save as …).

C. **Wellenlängenkalibration mit Neon-Spektrum:** ➔ Vspec

Starte die Software „Vspec“.

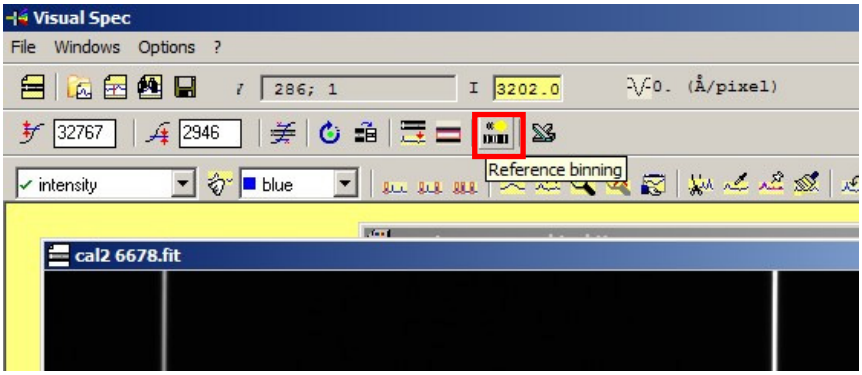
Öffne das reduzierte Sternspektrum (➔ File ➔ open Profile) und ebenso das mit einer Neonlampe aufgenommene Wellenlängenkalibrationsspektrum (➔ File ➔ open Image).

Aktiviere das Neonspektrum (mit der Maus drauf klicken).

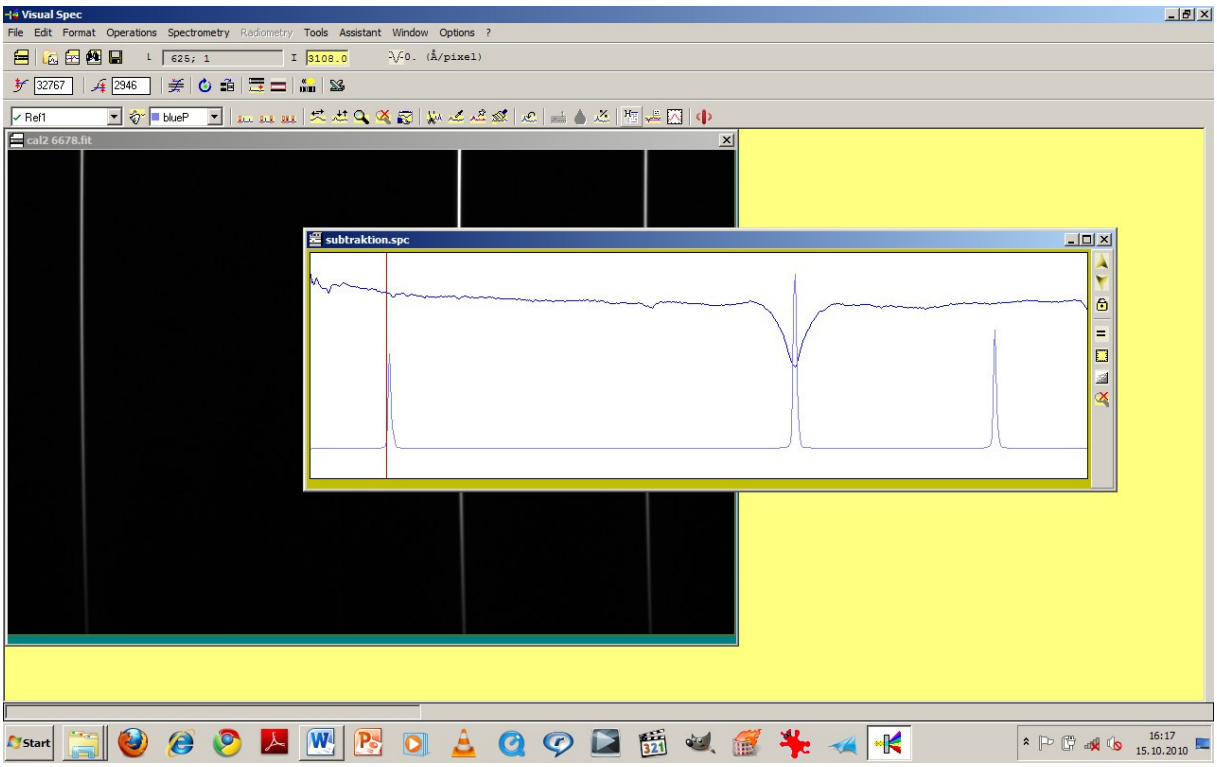
Wähle den Button zur Erzeugung eines roten Kastens und schiebe diesen an ungefähr die Stelle auf dem Chip, an der sich auch das Sternspektrum befunden hat (also ungefähr in die Mitte).

Dann:

⇨ Button „Reference binning“ (das ist der Button mit der Lampe) drücken

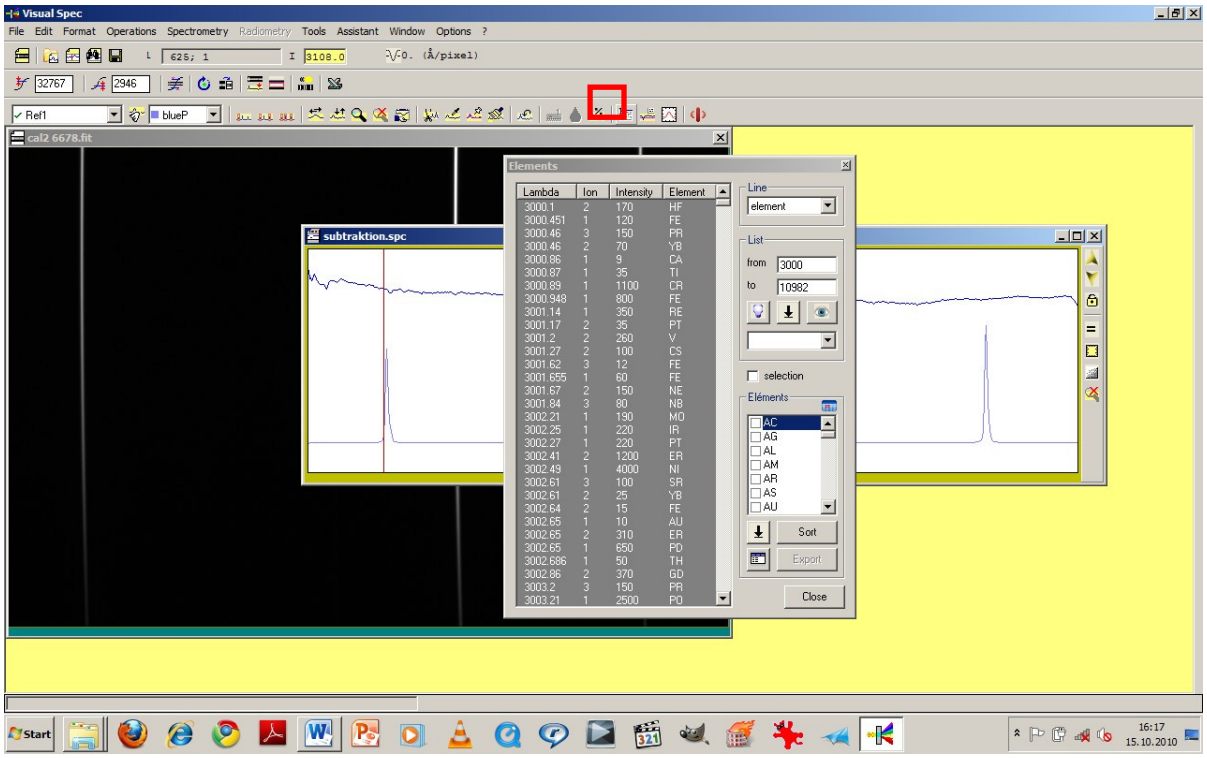


⇨ Dann wird das Neonreferenzspektrum gescannt und gleich im Sternspektrum eingeblendet dargestellt.

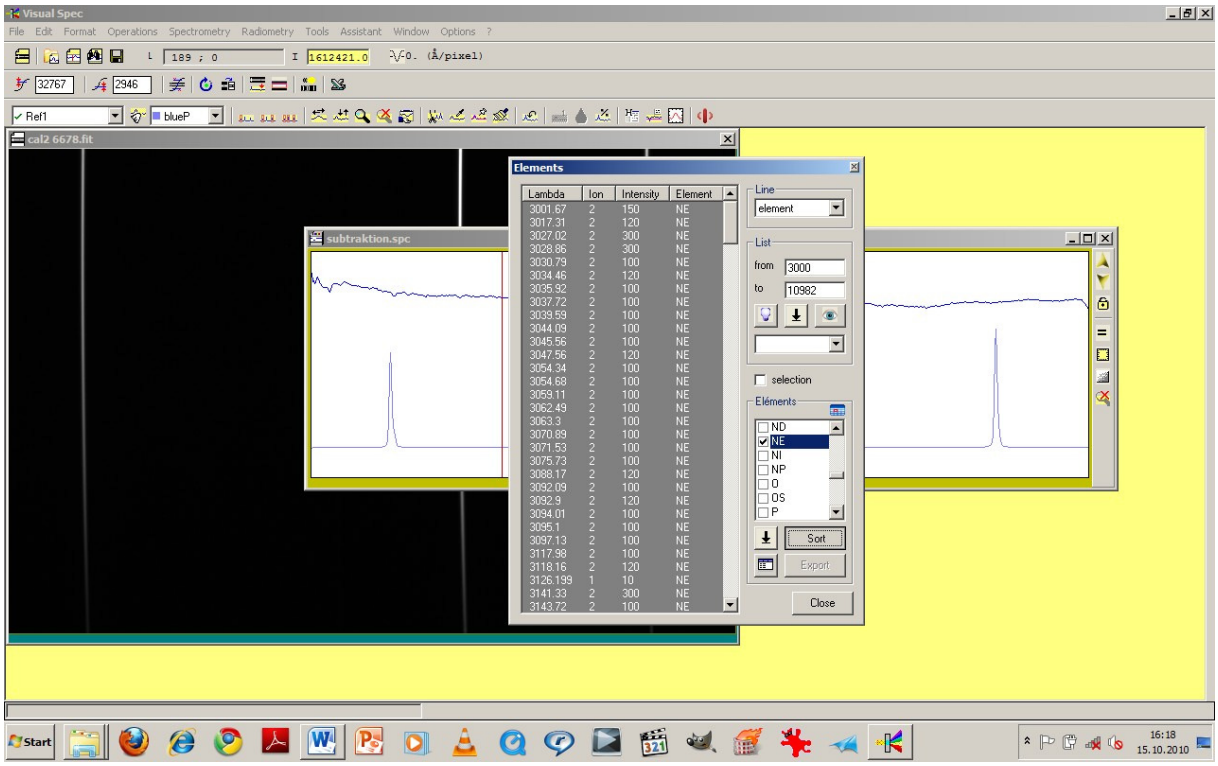


Nun müssen wir die Linien in diesem Neonreferenzspektrum identifizieren.

⇨ Drücke den Button „Display elements“ (4. Button von rechts).
Es wird ein Tool geöffnet mit allen möglichen Linien von den unterschiedlichsten Elementen und Molekülen.

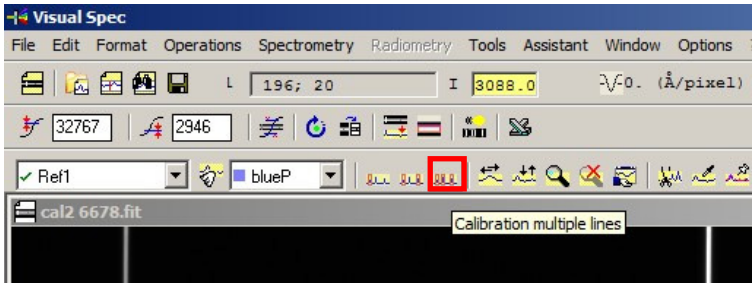


Mache ein Häkchen unter: ➔ Elements: Neon (NE) ➔ Sort

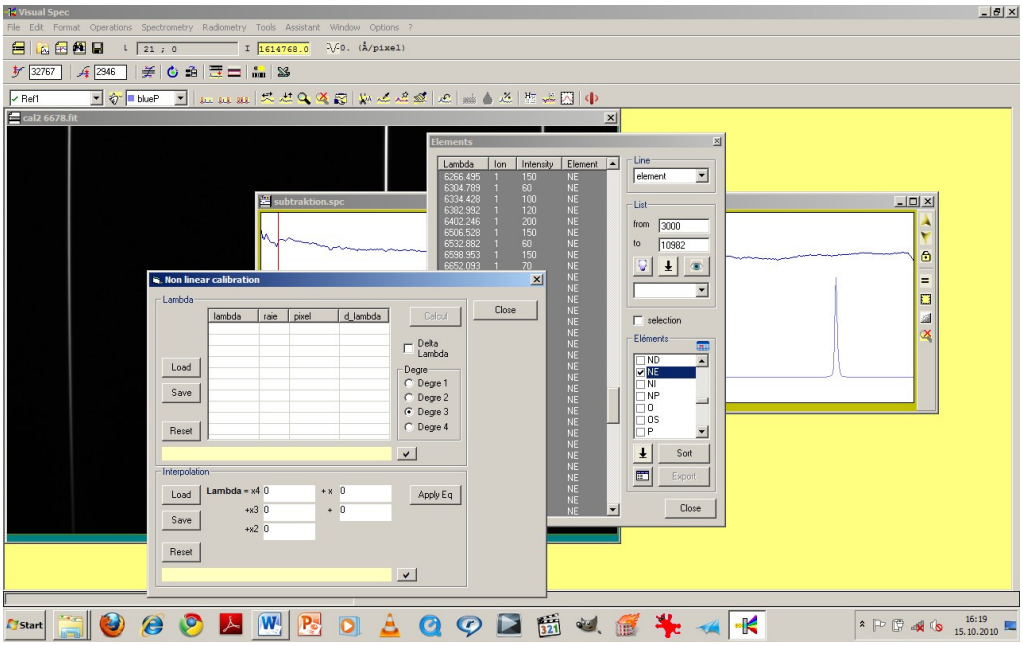


Öffne ein weiteres Fenster über:

⇨ Drücke den Button „Calibration multiple lines”

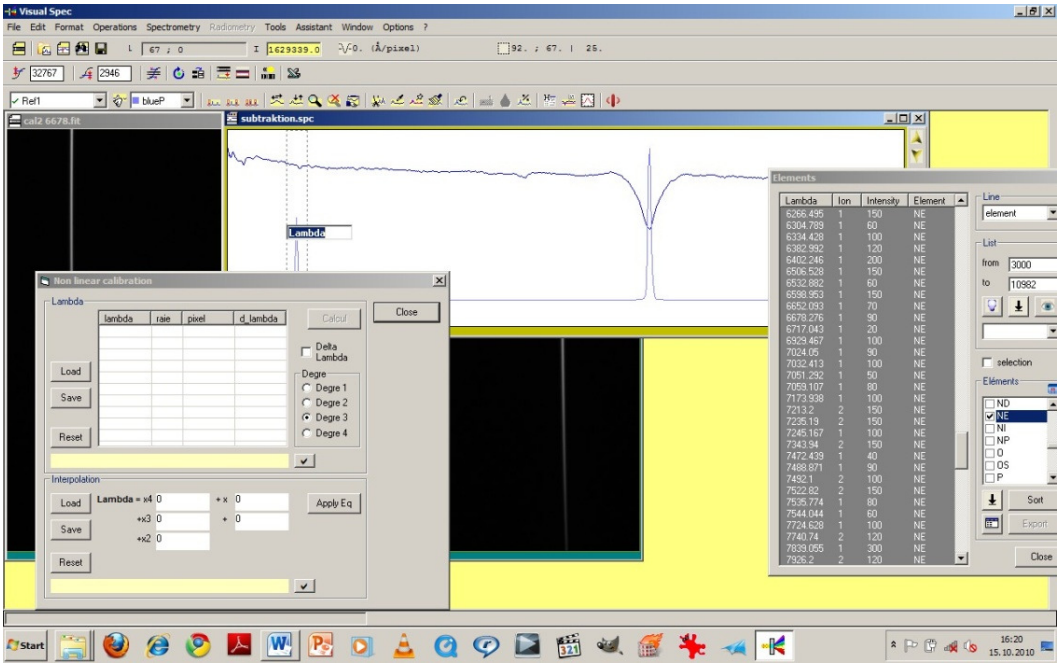


Und es öffnet sich ein Fenster mit der Bezeichnung “ non linear calibration ”.

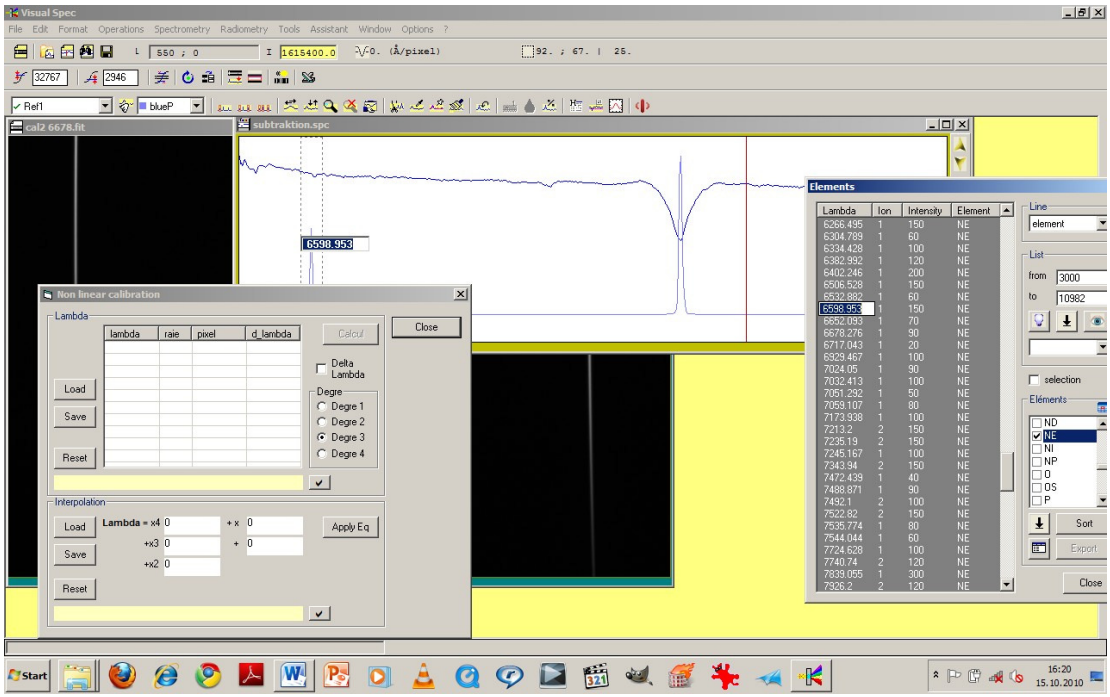


Nun führe die folgenden Schritte zur Identifizierung der Neonlinien durch:

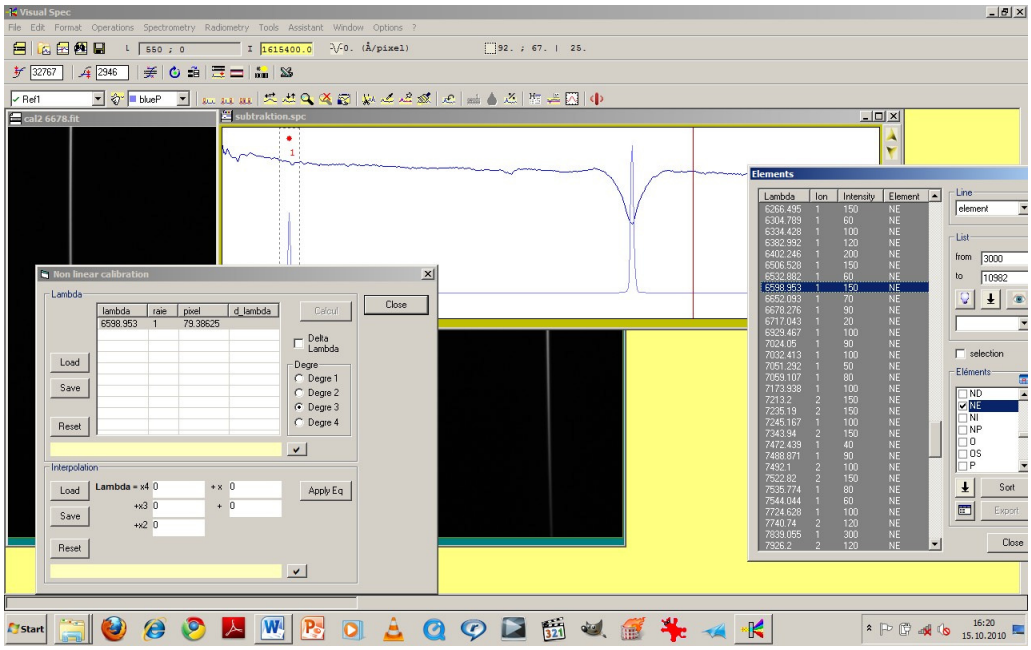
- Im Neonspektrum mit der linken Maustaste (festhalten) einen Bereich um die erste Neonlinien herum abgrenzen.



- Aus der Tabelle die zugehörige Wellenlänge auswählen (die Wellenlängen für dein Neonreferenzspektrum sollten dir bekannt sein … falls nicht, besorge sie dir von dem Hersteller der Neonlampe oder aus dem Internet) und „Enter“ drücken. Dann wird die Wellenlänge neben der abgegrenzten Linie angezeigt.



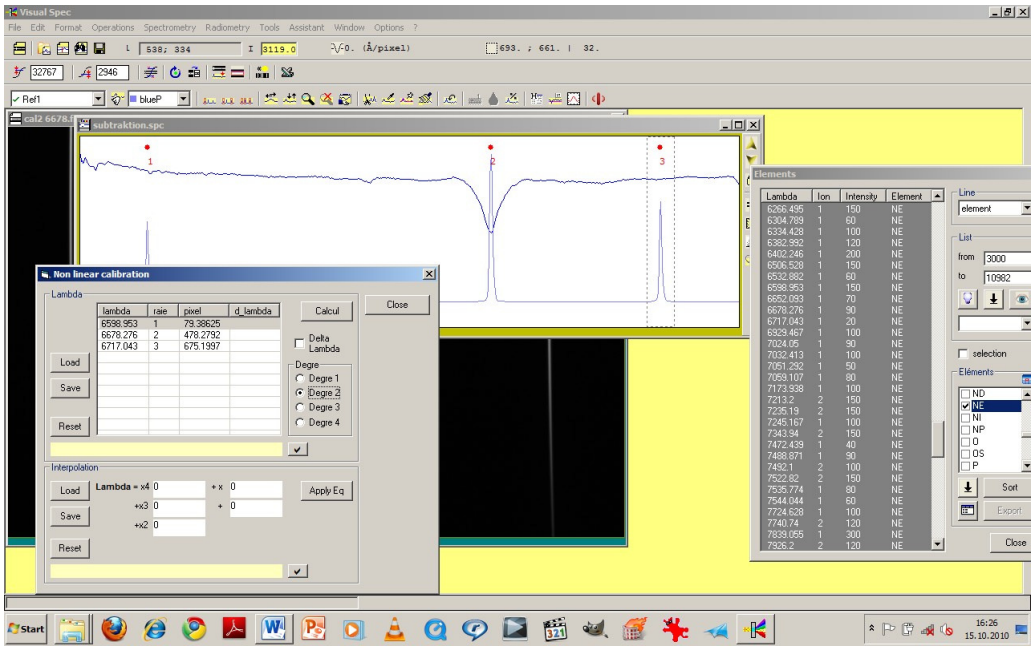
- Gehe mit der Maus in das Feld neben der abgegrenzten Linie, drücke erneut „Enter“, dann wird die Wellenlänge auch in die Tabelle des Fensters „Non linear calibration“ eingetragen.



Diese drei Schritte führe nun für alle Neonlinien deines Neonreferenzspektrums durch. Wähle dann die Anpassung:

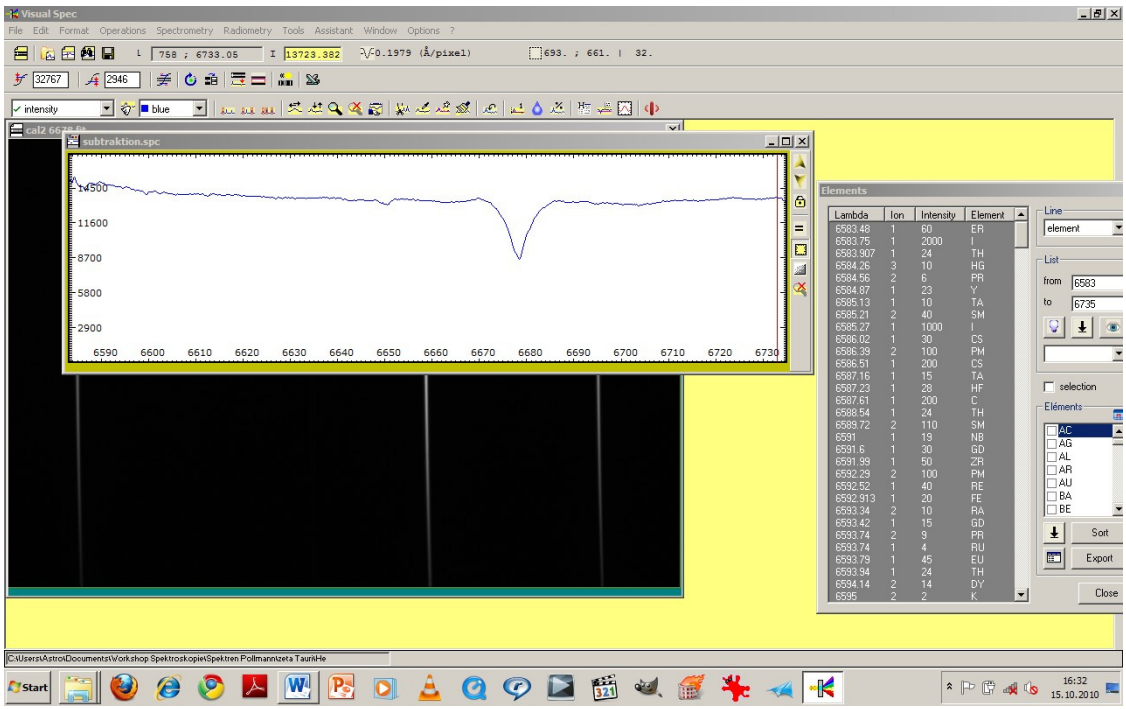
Bei drei Linien: Polynom 2. Grades

Bei mehr als drei Linien: Polynom 3. Grades (nicht höher)



⇨ Drücke dann „Calc“!

Jetzt ist dein Sternspektrum wellenlängenkalibriert und du siehst nun die x-Achse nun in Wellenlängeneinheiten skaliert.



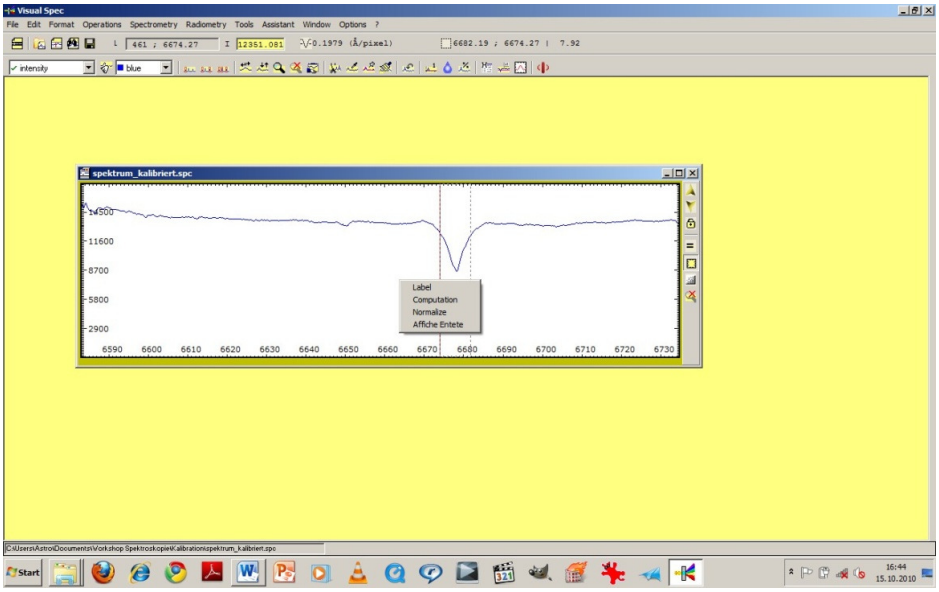
Speichere wie üblich auf die umständliche Art dein nun wellenlängenkalibriertes Sternspektrum ab (Wischer-Button, links daneben „Intensite“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok, ➔ File ➔ save as …).

Bestimmung der Wellenlänge der Absorptionslinie im Sternspektrum:

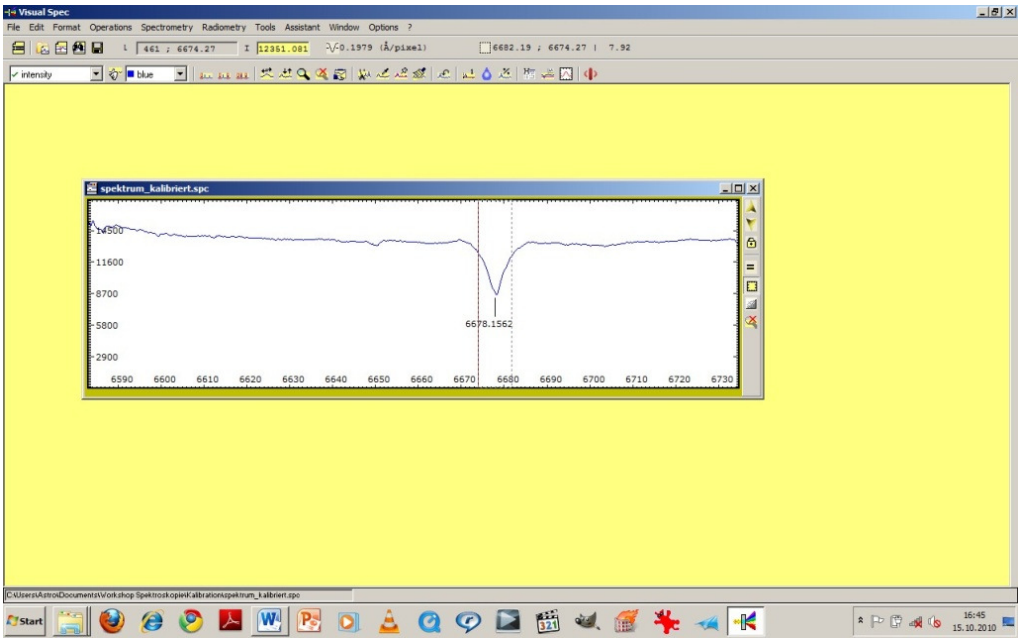
Als erste Anwendung nach der Wellenlängenkalibrierung des Sternspektrums kann man nun z.B. die Wellenlänge der Absorptionslinie im Sternspektrum bestimmen.

Dies geht wie folgt:

- ⇨ Grenze mit der linken Maustaste (festhalten) einen Bereich links und rechts um die Absorptionslinie im Sternspektrum ein, gehe dann in diesen Bereich und drücke auf die rechte Maustaste.
- ⇨ Label



⇨ Drücke auf „Label“ und es wird dann die Schwerpunktswellenlänge eines über diese Absorptionslinie drübergelegten Gaußprofils angezeigt.



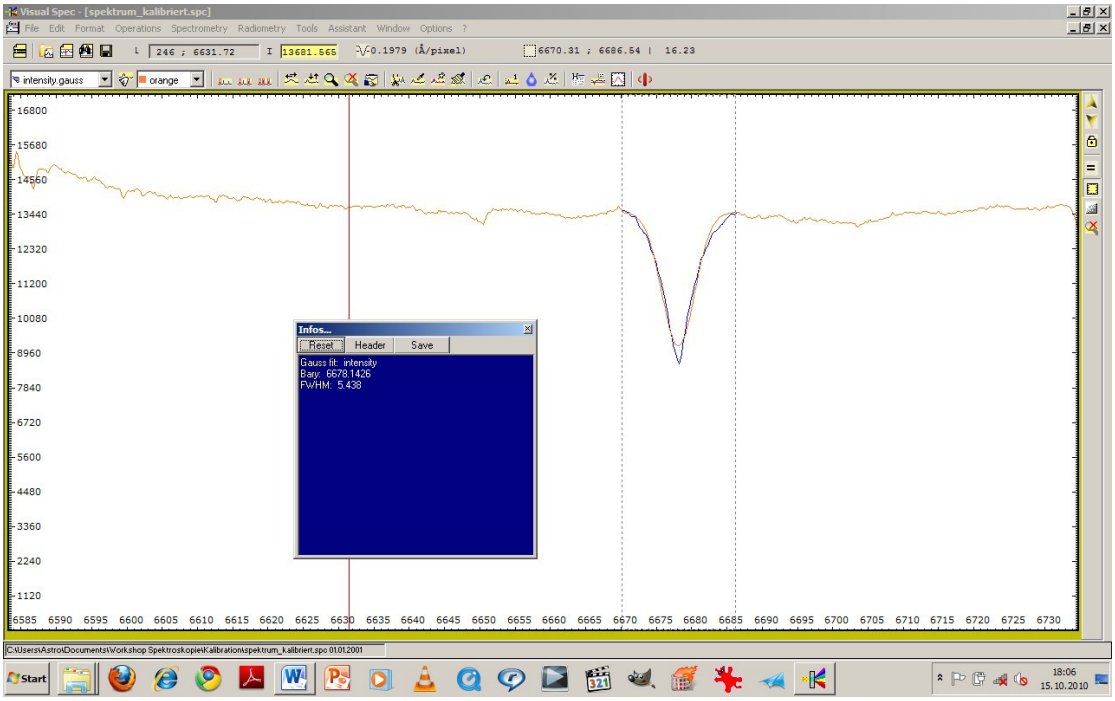
Wenn man diese Wellenlänge noch genauer haben möchte, kann man die Bereiche um die Absorptionslinie sinnvoll variieren und danach den Mittelwert aus allen ermittelten Schwerpunktswellenlängen bestimmen.

Man kann sich das angepasste Gaußprofil auch anschauen:

⇨ Bereich um die Absorptionslinie eingrenzen (wie eben)

⇨ Spectrometry ➔ Gaussian fit

In dem neu geöffneten Fenster wird dann die Schwerpunktswellenlänge (Bary) und auch die Halbwertsbreite (FWHM) angegeben.



Genauer kann man sich auch alles in einer ZOOMansicht ansehen:

- ⇨ ZOOM in x-Richtung: Bereich eingrenzen und auf den Lupen-Button drücken.
- ⇨ ZOOM in y-Richtung: Button „Scale y“ drücken und die obere und untere Grenze einstellen. ➔ Apply ➔ ok

D. **Spektren-Normierung:** ➔ Vspec

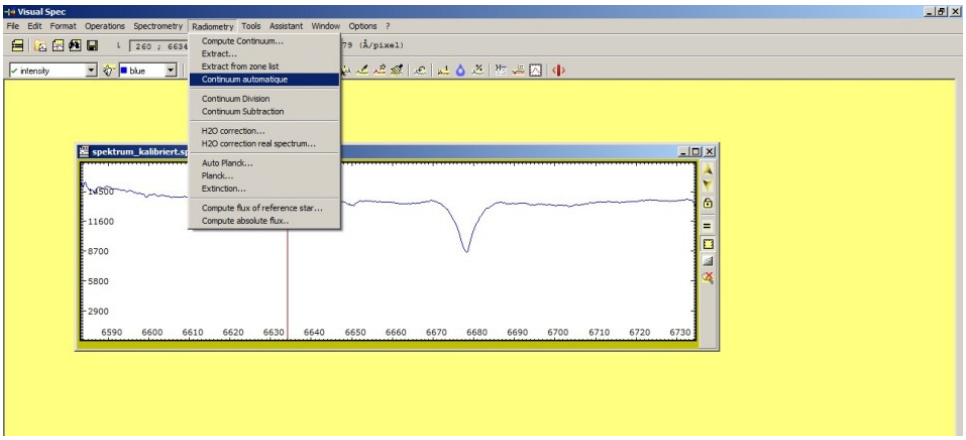
Um das Sternkontinuum auf den Wert „1“ zu normieren, muss man das Sternkontinuum im Sternspektrum zunächst wenigstens so einigermaßen wahrnehmen können. Diese Wahrnehmung kann man dem Programm überlassen (automatische Kontinuumserkennung mit „continuum automatique“) oder auch selber manuell übernehmen (manuelle Kontinuumserkennung mit „compute continuum“). Die automatische Kontinuumserkennung funktioniert akzeptabel, wenn man das Sternkontinuum ohne Probleme sicher und gut erkennen kann. Ist das nicht der Fall, sollte man unbedingt die manuelle Kontinuumserkennung durchführen.

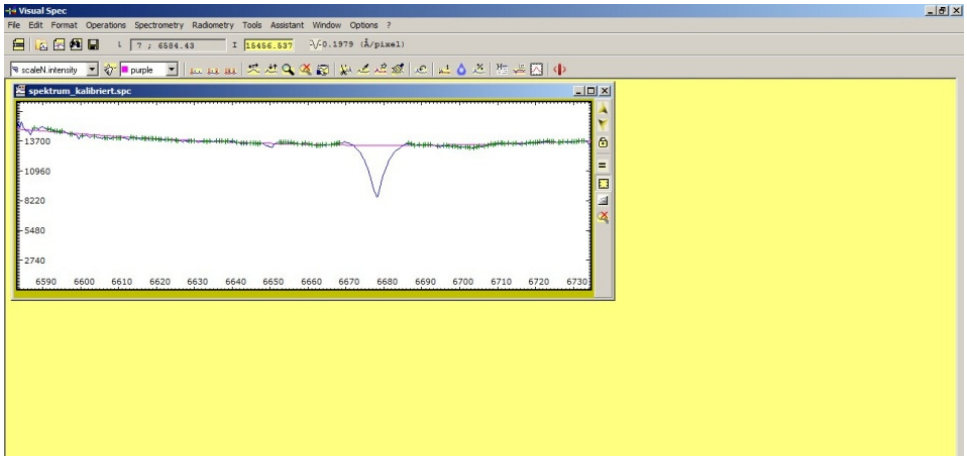
Automatische Kontinuumserkennung:

Öffne das Sternspektrum: ➔ File ➔ open Profile …

Aktiviere das Fenster mit dem Sternspektrum (mit der Maus draufklicken).

- ⇨ Radiometry ➔ continuum automatique





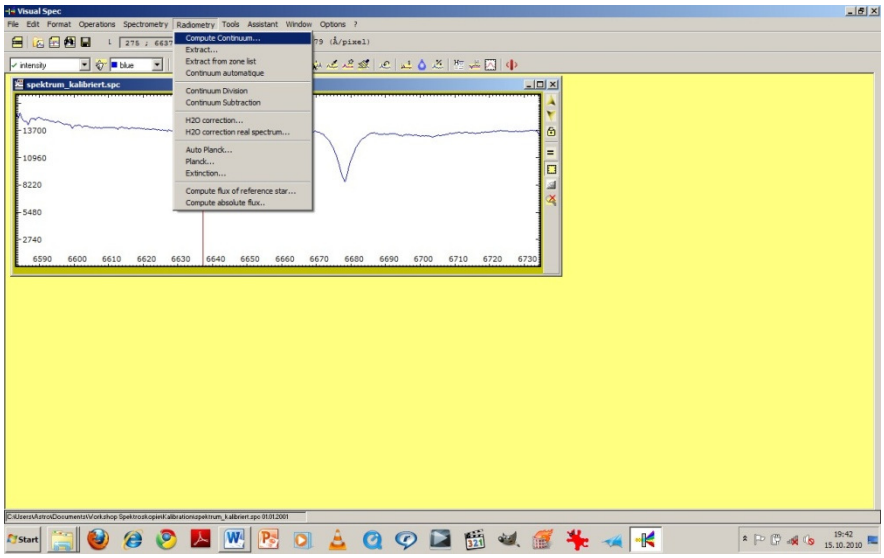
Das so ermittelte „Quasikontinuum“ des Sterns muss man jetzt wie üblich etwas umständlich abspeichern:
Wischer-Button, links daneben „scale intensity“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok, ➔ File ➔ save as … z.B. unter „continuum.spec“

Manuelle Kontinuumsfestlegung:

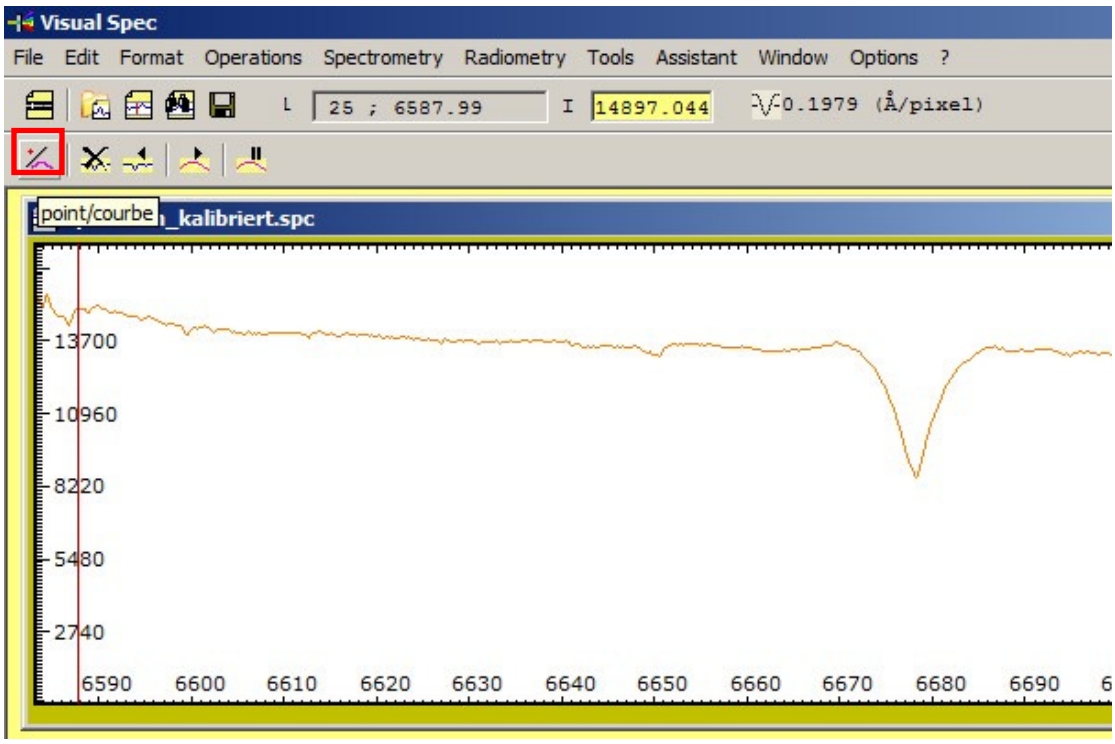
Öffne das Sternspektrum: ➔ File ➔ open Profile …

Aktiviere das Fenster mit dem Sternspektrum (mit der Maus draufklicken).

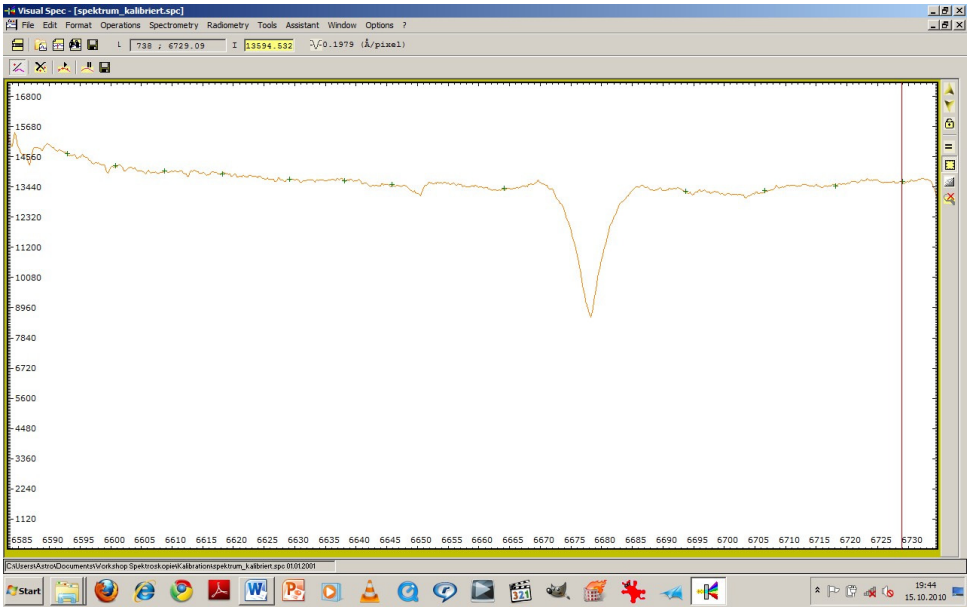
Radiometry ➔ compute continuum



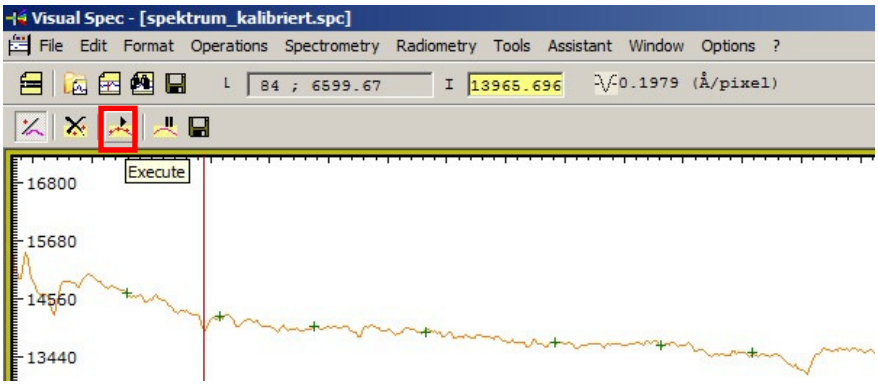
⇨ Linken Button „Point/courbe“ drücken.



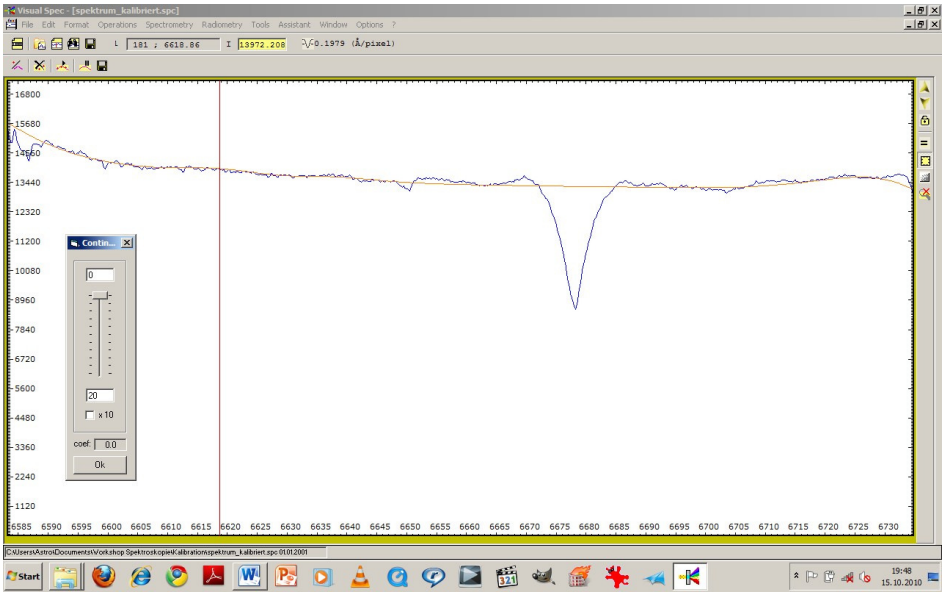
⇨ Nun setze mit der Maus an denjenigen Stellen im Sternspektrum Kreutzchen, an denen du das Sternkontinuum einigermaßen sicher vermutest. Dafür braucht man u.U. etwas Erfahrung bzw. eine gute Kenntnis von Spektren derselben Spektralklasse.



⇨ Button „Execute“ (3. Button von links) drücken!



⇨ Dann kann man noch mit der Skala probieren, eine noch „bessere“ Anpassung des manuell festgelegten „Quasikontinuums“ an das Sternkontinuum zu schaffen.



Auch dieses manuell festgelegte „Quasikontinuum“ unseres Sternspektrums müssen wir natürlich nun zunächst abspeichern, wie üblich auf die umständliche Weise:

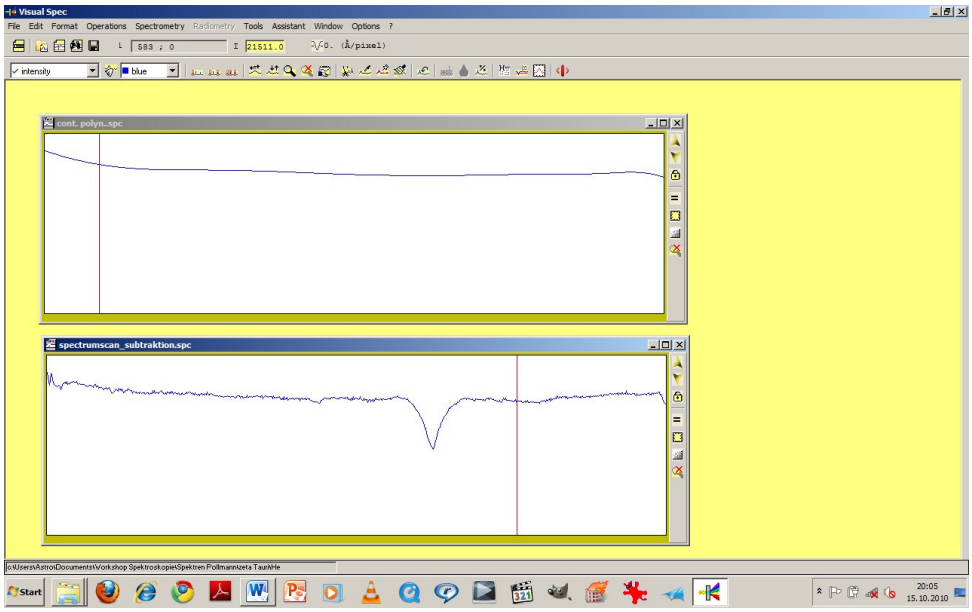
Wischer-Button, links daneben „Fit.intensity“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok, ➔ File ➔ save as … z.B. unter „continuum.spec“

Normierung mit Hilfe des festgelegten Quasikontinuums “continuum.spec”:

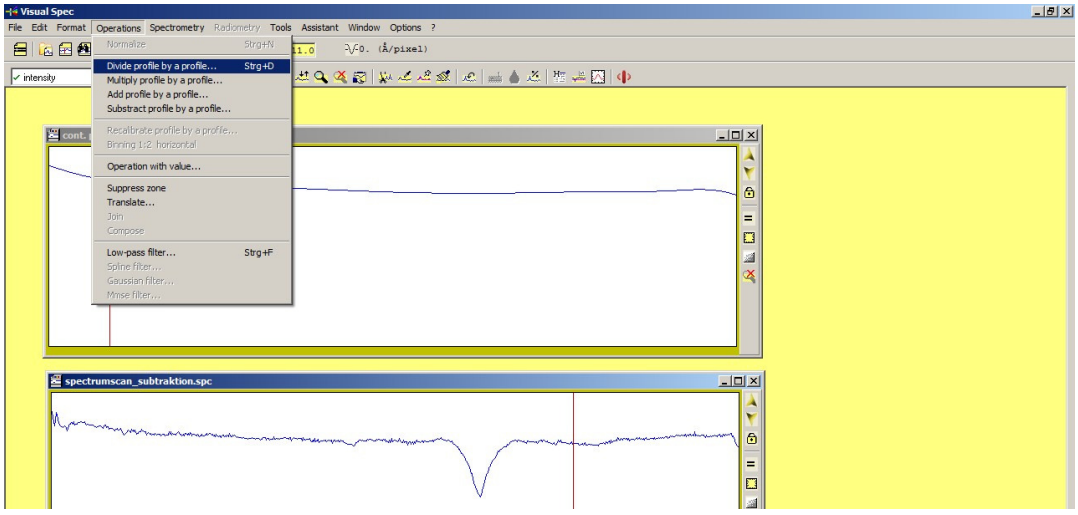
Das bisher reduzierte und wellenlängenkalibrierte Sternspektrum wird nun durch dieses von uns festgelegte Quasikontinuum („continuum.spec“) dividiert, so dass der Quasikontinuumsverlauf im Sternspektrum auf einer Waagerechten beim y-Wert „1“ liegt.

Dazu:

- ⇨ Öffne das reduzierte und wellenlängenkalibrierte Sternspektrum und auch das Quasikontinuumspolynom „continuum.spec“ und aktiviere das Fenster mit dem Sternspektrum (Mausklick darauf).

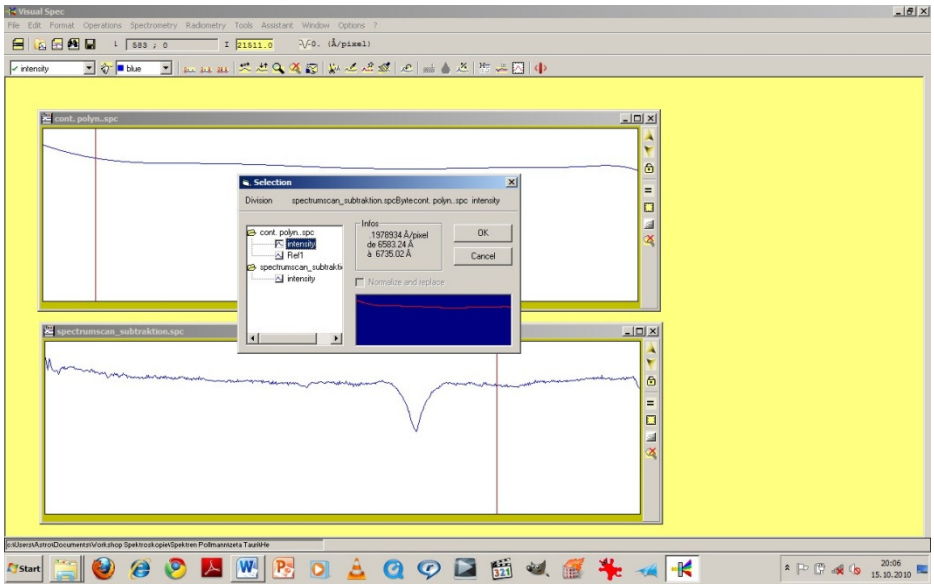


- ⇨ Operations ➔ Divide profile by profile



➔ wähle aus: „continuum.spec -- intensity“

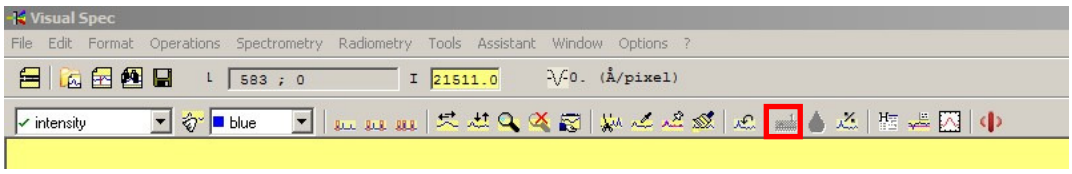
➔ ok



Wenn man sich nun den Bereich auf der y-Achse anschaut, stellt man fest, dass das Sternkontinuum aber immer noch nicht auf dem Wert „1“ liegt. Dies ist eine Schwäche bei der Programmierung dieser Software Vspec und kann wie folgt behoben werden:

⇨ Grenze mit der linken Maustaste (festhalten) einen Bereich ab, in dem sich nur das Quasikontinuum des Sternspektrums befindet.

⇨ Drücke den Button „Normalize“ (mit dem Symbol „1“ über einem Spektrum)



Nun ist die y-Achse so skaliert, wie wir es erwarten und man findet unser vorher festgelegtes „Sternquasikontinuum“ waagerecht auf dem y-Wert „1“.

Jetzt müssen wir dieses „fertig“ reduzierte Spektrum noch einmal auf die umständliche Weise abspeichern:

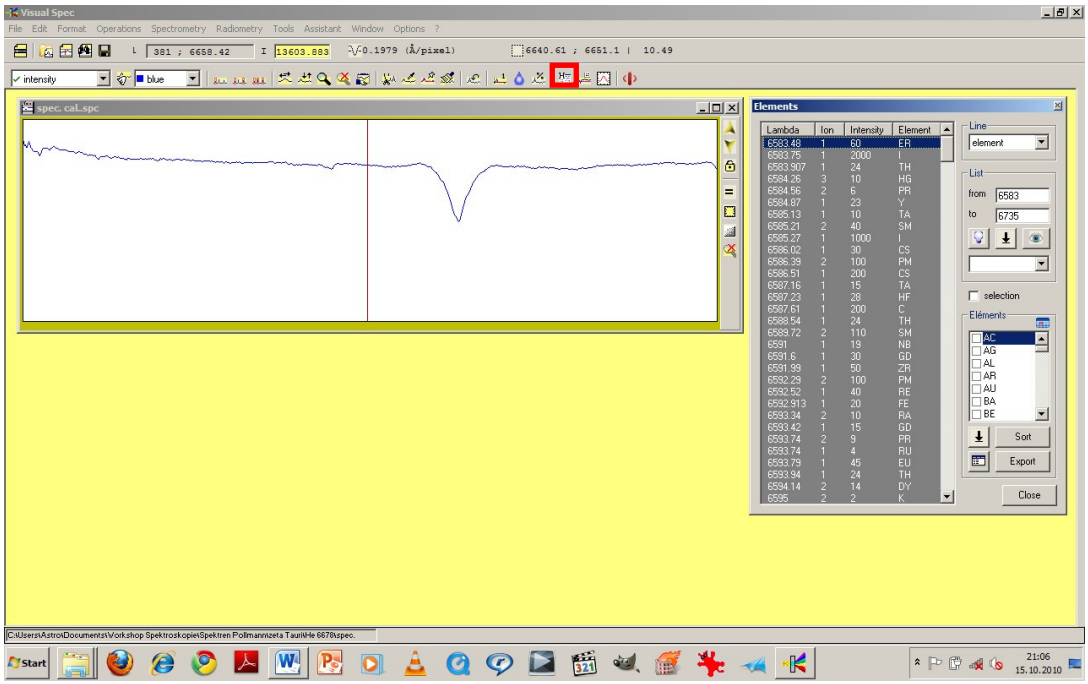
Wischer-Button, links daneben „Division“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok,
➔ File ➔ save as …

E. **Spektren-Feinkalibration der Wellenlängenskala mit tellurischen Wasserdampflinien (besonders um die Hα-Linie herum gut zu sehen) und anschließende „Säuberung“ des Sternspektrums um die Wasserdampflinien in der Erdatmosphäre:** ➔ Vspec

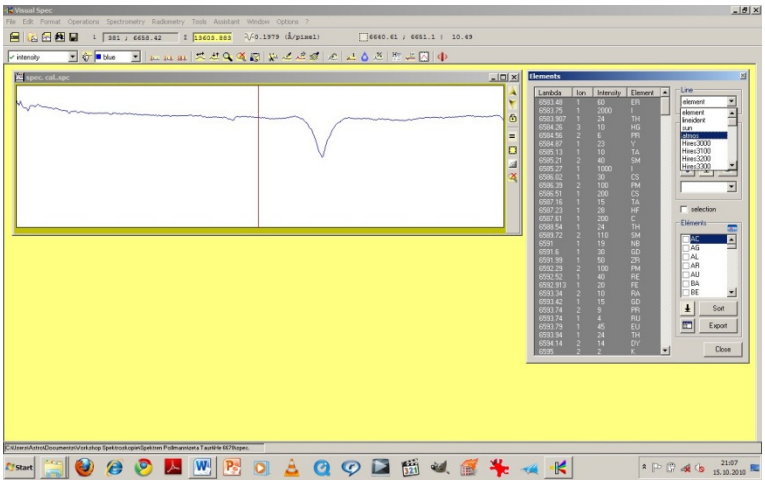
Die Wellenlängenkalibration mit Hilfe des aufgenommenen Neonspektrums ist nicht exakt genau, da die Neonlampe von der Seite in den Strahlengang zugeschaltet wurde und es evtl. Nullpunktsverschiebungen in der Wellenlängenskala geben kann. Zumindest sollte man die Wellenlängenkalibration testen.

Dazu: Starte die Software „Vspec“

- ⇨ Öffne das wellenlängenkalibrierte Sternspektrum (File ➔ open Profile ➔ …).
- ⇨ Drücke den Button „Display element lines“.



- ⇨ Gehe oben unter “Line” statt auf „element“ auf „atmos“ und dann werden in der Tabelle die Wasserdampflinien in der Erdatmosphäre (genau in dem Spektralbereich des geöffneten Spektrums) aufgelistet.

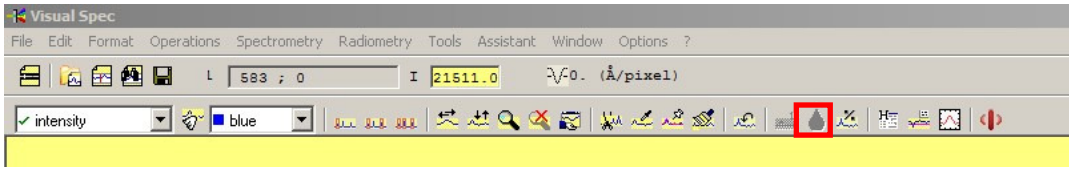


Gehe nun im Sternspektrum auf eine vermutliche Wasserdampflinie, lies die Wellenlänge ab und kontrolliere in der Tabelle, ob es eine solche Wasserdampflinie der vergleichsweise passenden Intensität dort gibt. Man stellt dann nach einigen Versuchen schnell fest, ob die Wellenlängenkalibration ausreichend gut ist oder ob man anhand dieser Wasserdampflinien besser fein nachkalibrieren sollte. Der Sinn einer solchen Feinkalibration hängt sicherlich vor allem mit dem Ziel zusammen, das man mit der Aufnahme des Sternspektrums verfolgt: Möchte man genaue Radialgeschwindigkeiten messen (dazu braucht man sehr genaue Wellenlängenbestimmungen), ist man daran sicher mehr interessiert, als wenn man z.B. „nur“ Linien identifizieren möchte.

Ist eine Feinkalibration über die tellurischen Wasserdampflinien notwendig, macht man das genauso wie bereits erklärt (siehe: C).

Säuberung des feinkalibrierten Spektrums um die tellurischen Wasserdampflinien:

- ⇨ Öffne das feinkalibrierte Sternspektrum (File ➔ open Profile ➔ …).
- ⇨ Drücke auf den Button mit dem Wassertropfen. Damit wird das reine Wasserdampfspektrum als Maske über das Sternspektrum gelegt und man sieht in Form einer grünen Kurve auch bereits ein Profil, das durch die Division des Sternspektrums durch die Wasserdampf“maske“ entstanden ist.



- ⇨ Regel mit „Sigma“ und „Intensity“ so lange, bis die grüne Kurve (das ist das dividierte Profil) möglichst glatt ist.
- ⇨ Ok

Wie üblich müssen wir dieses „gesäuberte“ Spektrum wieder umständlich abspeichern:

Wischer-Button, links daneben „Division“, ➔ Edit ➔ Replace: Intensite ➔ ok, ➔ File ➔ save as …

Einige sinnvolle Auswertungen reduzierter Sternspektren mit Vspec

1. Bestimmung der Äquivalentbreite:

Die Bestimmung der Äquivalentbreite ist nichts anderes als die Bestimmung der Fläche unter einer gegebenen Absorptionslinie (>0) oder Emissionslinie (<0). Dazu muss man die Linie aber genau vom Kontinuumsverlauf des Sternspektrums unterscheiden können.

Und so geht es:

Öffne das komplett reduzierte, wellenkalibrierte und normierte Sternspektrum.

- ⇨ Grenze die Linie links und rechts ein (z.B. bei der Hα-Linie: 6540 Å bis 6600 Å).
- ⇨ Spectrometry ➔ computation preferences: EW (LEQ) (Äquivalentbreite)

Im blauen Feld wird dann die Äquivalentbreite (engl. EW; frz. LEQ) angegeben.

Mit der Messung der Äquivalenzbreite einer Spektrallinie in einem Stern sind Langzeitanalysen über die Dichte des betreffenden Elementes in dem absorbierenden oder emittierenden Gas (Sternatmosphäre, Gasscheibe) möglich.

2. Bestimmung der V/R-Variation einer mittig eingesenkten Emissionslinie:

V/R-Variationen sind z.B. ein wichtiges Thema in der Be-Stern-Forschung. Sie werden dann interessant, wenn wir eine Emissionslinie haben, die zentral eingesenkt ist, so dass wir in etwa symmetrisch um die Mitte der Emissionslinie zwei Spitzen haben:

- V-Peak (V = visuell, weil dieser Peak in Richtung „visueller“, also kleinerer (blauerer) Wellenlängen liegt)
- R-Peak (R = rot, weil sich dieser Peak in Richtung „roter“, also größerer Wellenlängen befindet)

Die Höhe des V-Peaks ist ein Maß für die Menge an Atomen des jeweiligen Elementes, die sich gerade auf mich zu bewegt (blauverschoben); die Höhe des R-Peaks ist ein Maß für die Menge an Atomen des betreffenden Elementes, die sich gerade von mir weg bewegt (rotverschoben). Bestimmt man nun das Verhältnis dieser beiden Spitzenwerte (V/R), so erhält man eine Zahl, die Auskunft über die Asymmetrie der Materieverteilung des betreffenden Elementes in dem betrachteten rotierenden Gas gibt.

Die Intensitäten der beiden Spitzen bestimmt man am besten durch Ablesen, nachdem man die rote Messlinie genau auf die Spitzen geschoben hat.

Z.B.: Intensität vom V-Peak: 2,301 Intensität vom R-Peak: 2,373

V/R = 2,301/2,373 = 0,9697 ➔ leichte Asymmetrie zugunsten „R“

➔ etwas mehr Materie dieses Elementes bewegt sich von mir weg als auf mich zu.

Auch hierzu sind sehr interessante Langzeituntersuchungen an einem Stern möglich.

(verfasst von Michael Winkhaus auf dem Workshop der ASPA zur Astrospektroskopie an der Starkenburg-Sternwarte in Heppenheim vom 14.-17.10.2010)