

# Funktionsbeschreibung des Programms

Der folgende Teil dieser BeLL beschäftigt sich mit der Handhabung des entstandenen Programms. Daher wird nicht auf den Programmierhintergrund eingegangen. Bei Fragen, die den Quelltext betreffen, soll der Autor persönlich kontaktiert werden.

Die Beschreibung soll dazu dienen, die Bedienung des Programms zu verstehen, weshalb hier keine alphabetische Sortierung der Bedienelemente stattfindet, sondern exemplarisch an einer Auswahl von Spektren die Vorgehensweise geschildert wird.

## Starten des Programms

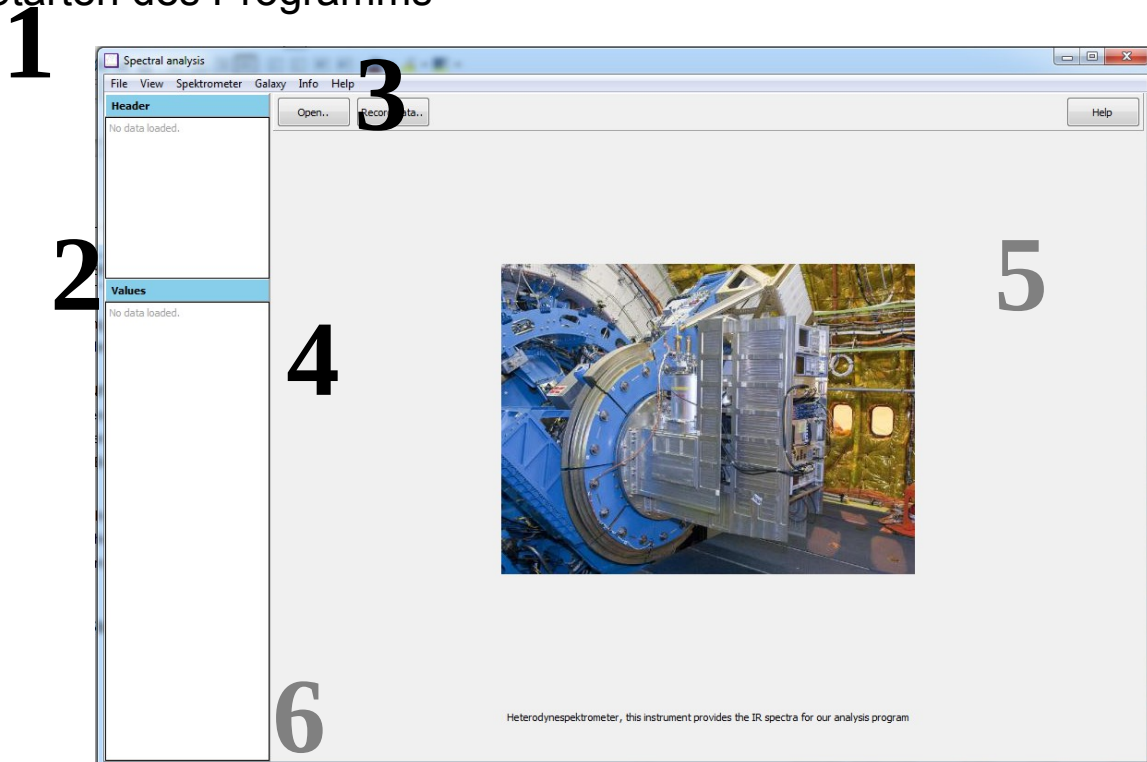
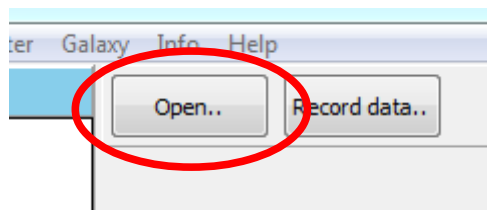


Abbildung 1: Programm nach dem ersten Start


In der folgenden Tabelle auf der nächsten Seite sind die wichtigsten Bedienelemente erklärt:

1 – Menüleiste	beinhaltet <b>alle</b> Optionen, außer die Bearbeitungstools für Spektren
2 – Dateiinformationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeigt Header und Messwerte in tabellarischer Form an</li> </ul>
3 – Schnellzugriffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor Einlesen von Spektren (links nach rechts) <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Öffnen von Spektren / Aufnahme</li> <li>◦ Öffnen dieser Hilfe</li> </ul> </li> <li>• Nach Einlesen von Spektren <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Bearbeitungstools für Spektren</li> </ul> </li> </ul>
4 – Grafikfenster	Ausgabefenster für Spektrengrafik und Informationstexte
5 – Legende <sup>1</sup> (ausgeblendet)	Gibt eine Übersicht über die angezeigten Graphen, sowie Einstellung von Linienstärke und -farbe
6 – Berechnungen <sup>5</sup> (ausgeblendet)	Zeigt elementare Berechnungen an, die anhand der Dopplerverschiebung ausgerechnet werden können (Fluchtgeschwindigkeit und für Galaxien die Entfernung in Mpc <sup>2</sup> )

## Öffnen eines Spektrums



Wenn noch kein Spektrum geöffnet ist, kann man über den Schnellzugriff 'Open' eine Datei (\*.dat oder \*.txt) öffnen. Das Programm erkennt automatisch den Typ der Datei und passt die Darstellung entsprechend an.

Nach Verschwinden der Schnellzugriffe erreicht man Gleiches über das Hauptmenü durch File → Open, die Tastenkombination Strg+O, sowie den Knopf  in der Legende (Toolleiste auf der rechten Seite).

**Hinweis:** Möchte man mehrere Spektren zur gleichen Zeit öffnen, kann man in dem Dialogfenster mehrere Dateien auswählen. Auf langsamen Rechnern kann das Laden einer Vielzahl von Dateien unter Umständen einige Sekunden dauern.

<sup>1</sup> Ausgeblendete Leisten können entweder über View → Show[Legend | Calculations] ein- und ausgeblendet werden bzw. beim Bewegen des Cursors zum Bildschirmrand bis zum Erscheinen des Verschiebensymbols per Drag and Drop herausgezogen werden

<sup>2</sup>  $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc} \approx 3,086 \cdot 10^{22} \text{ m}$

# Anpassen des Diagramms

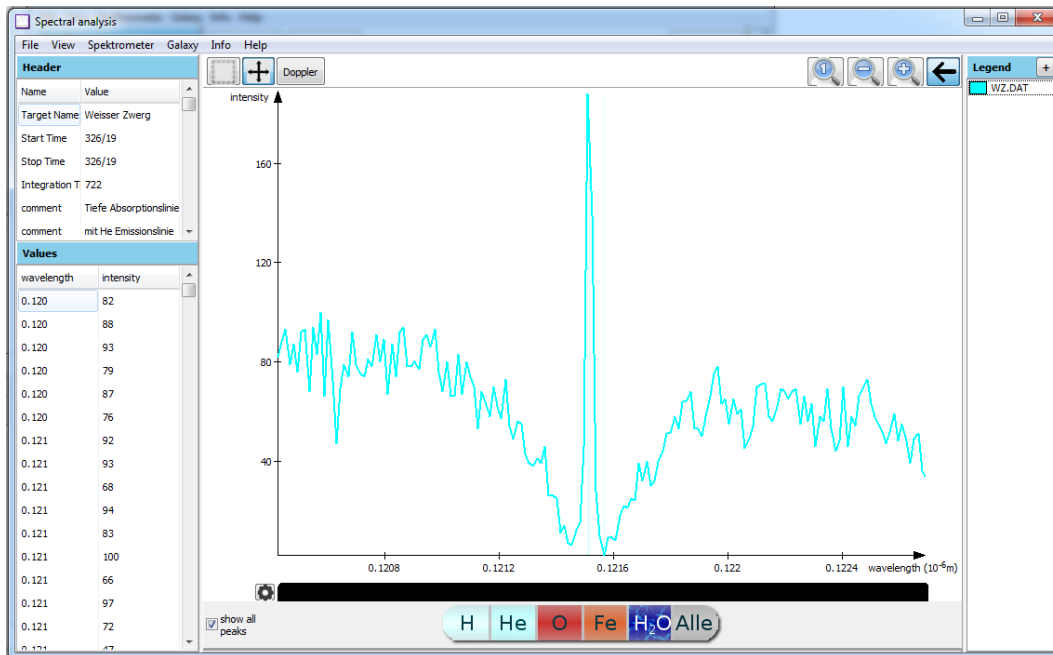


Abbildung 2: Programm nach Laden des Spektrums (hier: Spektrum eines Weißen Zwergs, Quelle: AstroSpas-Projekt)

Nach dem Öffnen ändert sich die Ansicht im Grafikfenster: Das Diagramm wird ähnlich wie oben dargestellt. Im Schnellzugriffe-Panel erscheint eine Zahl an Symbolen (siehe Tabelle) und unter dem Diagramm erscheint ein Pseudospektrum, sowie eine Auswahlbox für einige Elemente.

1 – Rechteckauswahl	Erlaubt das Selektieren einer rechteckigen Auswahl im Grafikfenster
2 – Verschieben	Drag and Drop – Verschieben nach dem Zoomen
3 – Dopplerverschiebung	Öffnet Dialog für Dopplerverschiebung
4 – Zoom	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Spektren in Fenster einpassen</li><li>2. Vergrößerung reduzieren (-10%)</li><li>3. Vergrößerung erhöhen (+10%)</li></ol>
5 – Legende	Blendet Legende ein/aus

## 1. Hintergrundfarbe

Ein typisches Problem ist eine unpassende Hintergrundfarbe für bestimmte Spektrallinien. Standardmäßig ist sie Weiß, was bei hellen Linien, wie Wasserstoff- und Heliumlinien, kaum Kontrast bietet. Ob sich schwer sichtbare Laborlinien im Spektrum befinden, findet man heraus, indem man mit den Cursor vom linken zum rechten Bildrand fährt. Eine Hand wird immer dann angezeigt, wenn eine Laborlinie vorliegt. Sind diese schwer erkennbar, kann man über View→Diagram die Farbe ändern:

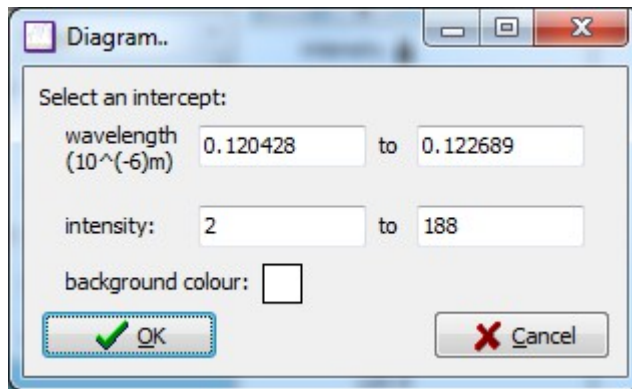


Abbildung 3: Einstellungsdialog für das Grafikfenster

Über das Viereck hinter background color gelangt man zu einem Farbauswahldialog. Ein Grau eignet sich oft gut um helle Linien sichtbar zu machen. In dem Fenster kann man auch die

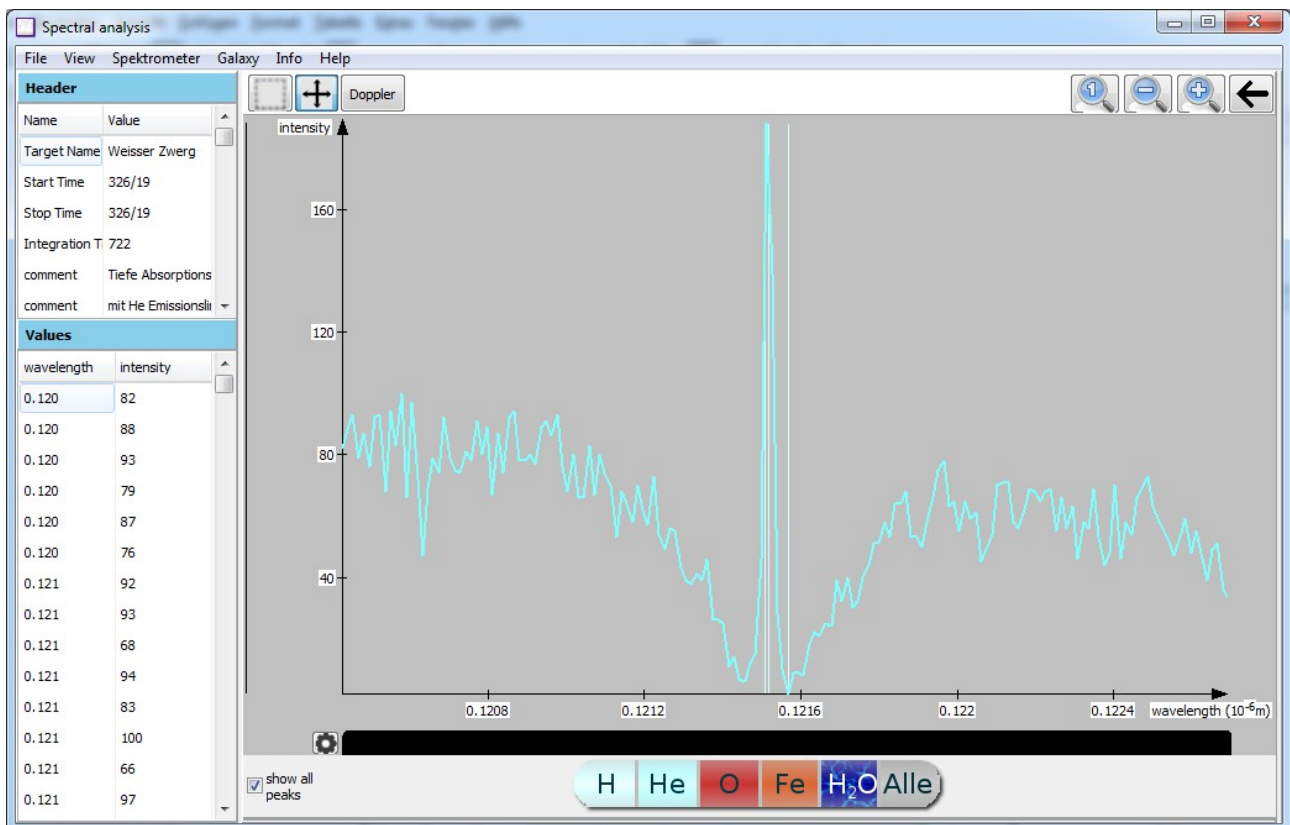


Abbildung 4: Nach Ändern der Hintergrundfarbe sind drei Wasserstofflinien erkennbar<sup>3</sup>  
Achsenabschnitte auswählen.

3 Durch Überfahren einer Laborlinie mit dem Cursor werden die wichtigsten Informationen zu der Linie in der Mitte der Schnellzugriffleiste angezeigt. Beim Anklicken öffnet sich ein Informationsfenster mit weiteren Details über das vorliegende Element.

## 2. Linie

Da die Linienfarbe des Spektrums zufällig gewählt wird, um eine Unterscheidung der Spektren zu erleichtern, kann die Linie unter Umständen schwer erkennbar sein. Um sie gezielt hervorzuheben, lässt sich die Farbe und Linienstärke ändern. Das entsprechende Menü befindet sich in der Legende<sup>4</sup>: Beim Klicken auf die Datei öffnet sich ein Dialogfenster zur Auswahl einer Farbe. Mit der linken Maustaste gelangt man in ein Kontextmenü, über das alle anderen Einstellungen vorgenommen werden können (siehe Abbildung 5).

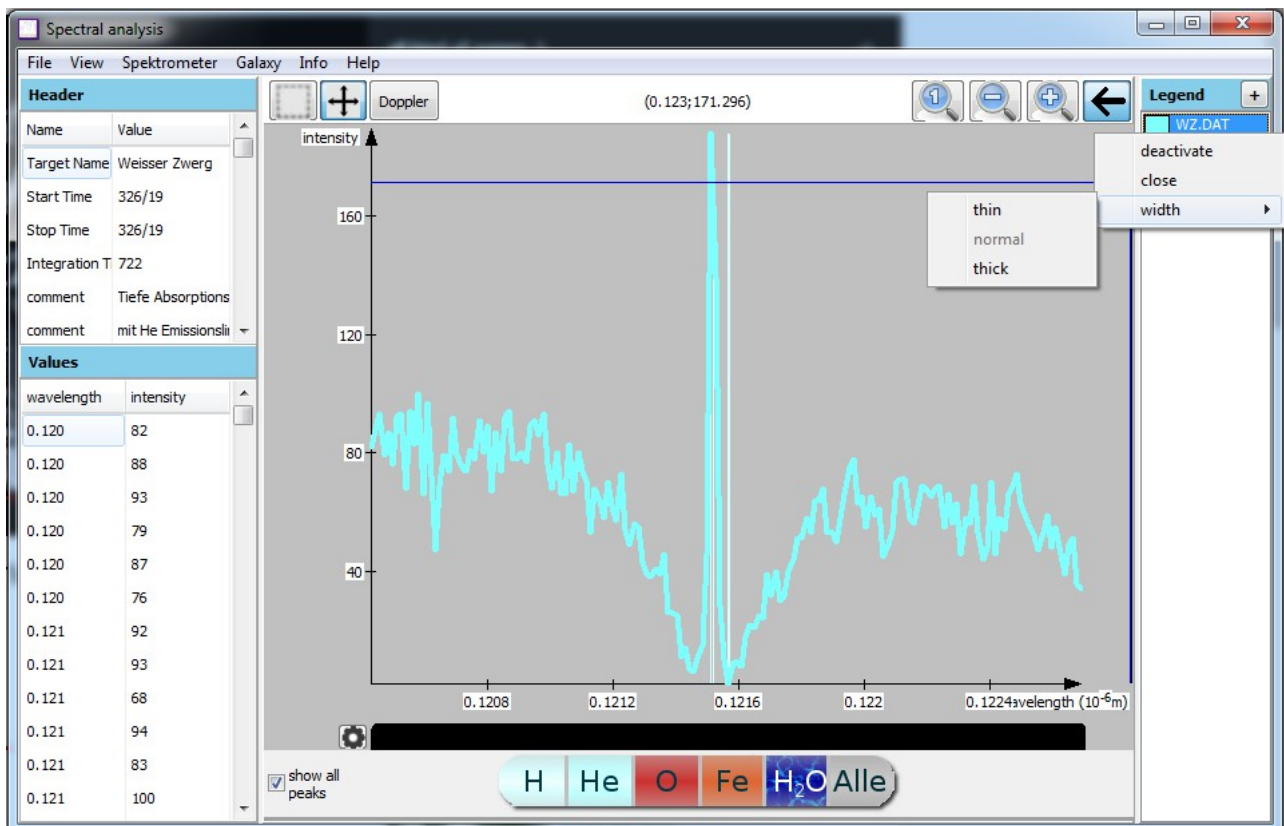


Abbildung 5: Kontextmenü

- *deactivate / activate* – blendet Spektrum aus / ein
- *close* – schließt Spektrum (Achtung: Speichern nicht vergessen!)
- *width* – ändert Linienstärke (thin-dünn, normal-normal, thick-dick)

<sup>4</sup> Erreichbar über: Button auf der rechten Seite des Schnellzugriffe-Panel oder View → Show legend

# Analyse

Ziel der Analyse ist es, möglichst viel über die physikalische Natur eines Untersuchungsobjekts herauszufinden. Handelt es sich um ein Sternspektrum, so lässt sich anhand der Emissions- und Absorptionslinien auf die Spektralklasse schließen, was den Stern grob nach Masse und Zusammensetzung einordnet. Bei Aufnahmen von künstlichen Licht (LEDs, Leuchtstoffröhren, ...) lässt sich aus dem Spektrum erkennen, was für Leuchtstoffe verwendet werden.

## 1. Auswahl von Laborlinien

Bei Sternspektren wird meist nach wenigen bestimmten Elementen und Molekülen (wie Wasserstoff, Helium, Sauerstoff und Eisen) gesucht. Handelt es sich um Aufnahmen mit einer großen Bandbreite, können zu viele Laborlinien schnell unübersichtlich werden. Deshalb bietet sich an mit dem rechten Schnellbutton „Alle“ alle Laborlinien auszuwählen. Durch anschließendes Anwählen der gewünschten Verbindungen wird der Graph etwas übersichtlicher. Durch Überfahren einer Laborlinie mit dem Cursor werden die wichtigsten Informationen zu der Linie in der Mitte der Schnellzugriffleiste angezeigt. Beim Anklicken öffnet sich ein Dialogfenster (siehe Abbildung 6), das alle Anregungswellenlängen der Verbindung anzeigt. Über die Auswahl „shown in diagram“ kann die Verbindung ein- bzw. ausgeblendet werden.

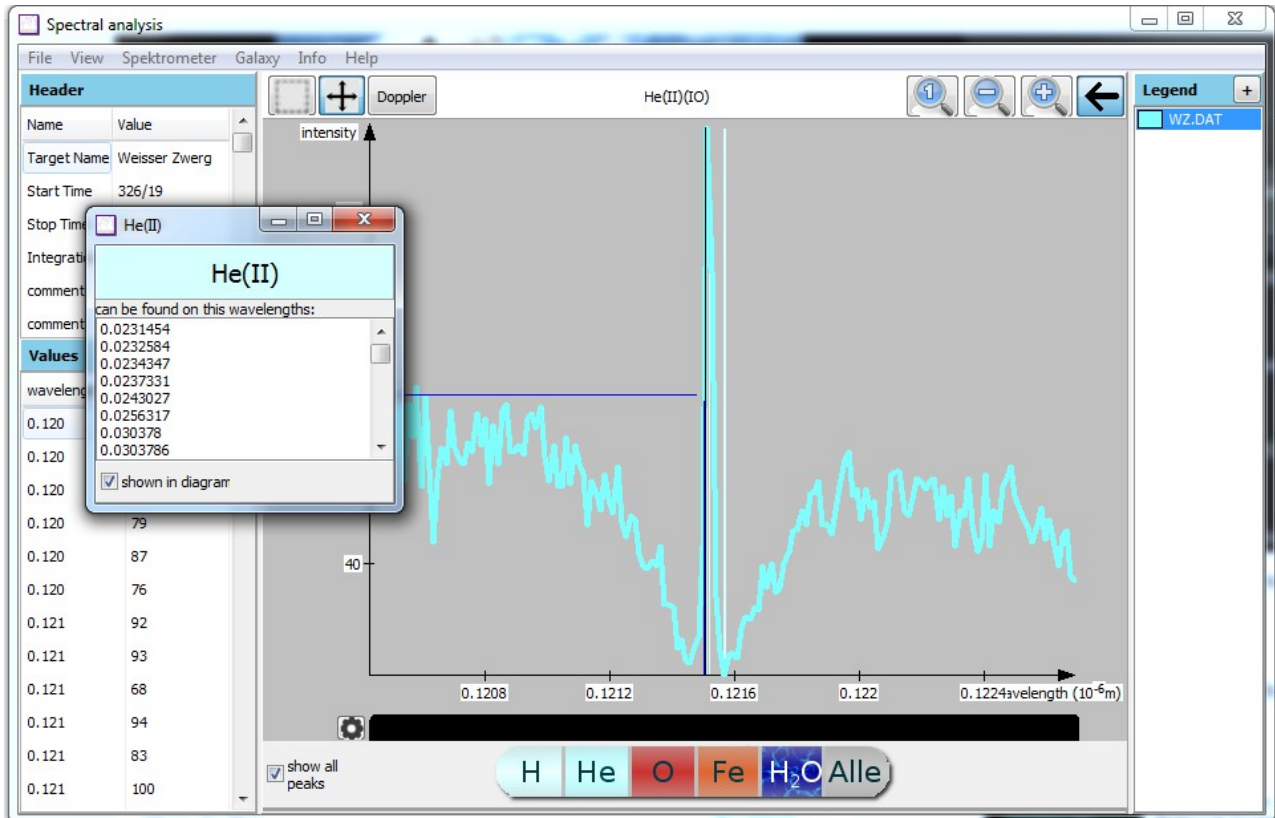


Abbildung 6: Bei dem Spektrum handelt es sich um eine Aufnahme eines Weißen Zwergs aus dem AstroSpas-Projekt. Ein Weißer Zwerg ist das Endstadium von Sternen mit verhältnismäßig kleiner Masse, wobei sich dessen Radius stark verkleinert und seine Leuchtkraft extrem zurückgeht. Das Spektrum besitzt einen hohen Wiedererkennungswert durch die große Heliumemissionslinie und Absorptionen des Restwasserstoffs zu beiden anderen Seiten.

Der Grund der großen Absorptionsbreite liegt darin, dass es von dem sehr dichten und heißen Kerninneren stammt, während die Helium-Emission sehr dünn ist aufgrund des wesentlich weniger dichten und heißeren Koronas.

(vgl. [DLK])

Eine Übersicht aller vorhandenen Laborwerte ist über Info → Peak database verfügbar.

**Hinweis:** Je nach Anwendungszweck kann es sein, dass man nur Spektrallinien anzeigen lassen möchte, die direkt auf einem Wert liegen oder dass man prinzipiell alle Spektrallinien sehen möchte, die im Bildbereich liegen. Dazu kann man über die Option „show all peaks“ festlegen, welches von beiden gewünscht ist.

## 2. Dopplerverschiebung

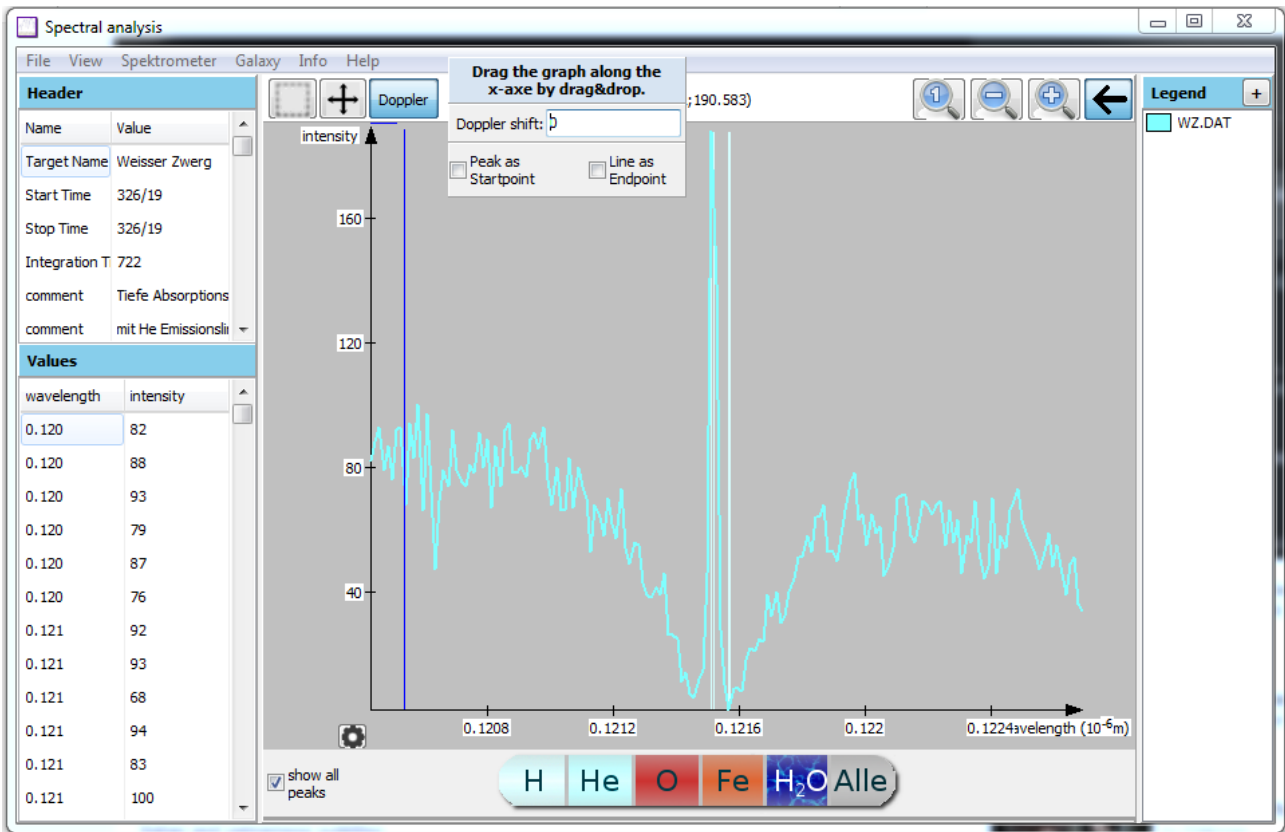


Abbildung 7: Fenster zur Dopplerverschiebung

Dopplerverschiebung wird dann interessant wenn man den Dopplereffekt (→ Fehler: Referenz nicht gefunden) untersuchen möchte. Findet man in dem Spektrum eine markante Emission oder Absorption in der Nähe einer Spektrallinie, so kann man diese mithilfe des Buttons „Doppler“ auf die Spektrallinie verschieben. Dazu gibt es drei Möglichkeiten:

1. Freihandverschieben: Nachdem sich das Fenster aus Abbildung 7 öffnet verschieben des Graphes per Drag and Drop
2. Geführtes Verschieben: Durch die Auswahl „Peak as Startpoint“ wird ein Messwert als Verschiebungsbeginn gewählt, durch „Line as Endpoint“ eine Laborlinie als Ende. Dadurch wird gewährleistet, dass danach der Wert genau auf der Linie liegt. Bei der Auswahl von „Peak as Startpoint“ erscheint eine schwarze Hilfslinie im Graphen.
3. Werteingabe: Manuell kann man einen eigenen Wert in das Eingabefeld des Dopplerfensters eintragen. Bestätigen mit [Enter]. Der Wert ist in  $10^{-6}m$  (Wellenlänge) und nicht in  $\frac{km}{s}$  (Dopplergeschwindigkeit) anzugeben.

**Hinweis:** Wenn mehrere Spektren geöffnet sind, wird nur das aktuell Ausgewählte verschoben (Datei, die in der Legende markiert ist).

Nach der Dopplerverschiebung ist es möglich mithilfe View → Show calculations zu dem Berechnungsfenster zu wechseln, wo die errechnete Fluchtgeschwindigkeit zu finden ist.

### 3. Pseudospektrum

Bei Aufnahmen im sichtbaren Bereich ist es besonders für Schüler oft schwierig einer Wellenlänge eine Farbe zuordnen zu können. Daher gibt es für solche Aufnahmen die Möglichkeit ein sogenanntes Pseudospektrum anzuzeigen, ein kontinuierliches Spektrum, in dem die Emissionen als hellere und die Absorptionen als dunklere Linien markiert sind.

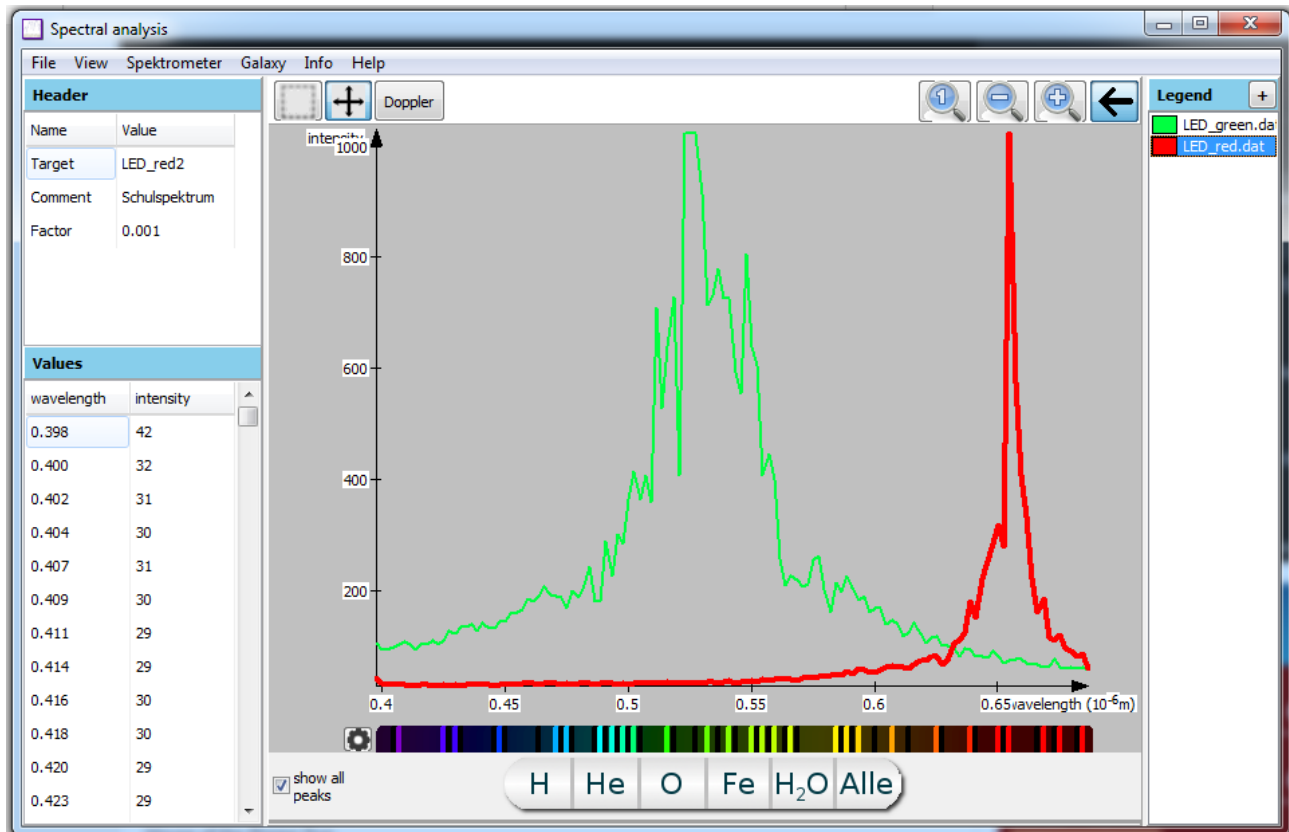


Abbildung 8: Aufnahme einer grünen LED (grün) und einer roten LED(rot)

Je größer das Rauschen, umso wahrscheinlicher ist es, dass das Programm viele Peaks fälschlicherweise erkennt (siehe Abbildung 8). Dazu lässt sich mit dem Einstellungssymbol auf der linken Seite der Schwellenwert anpassen (siehe Abbildung 9). Für das hier vorliegende Spektrum bieten sich die Werte 3 für die Anzahl der gemittelten Werte und 100 als Minstdifferenz an.

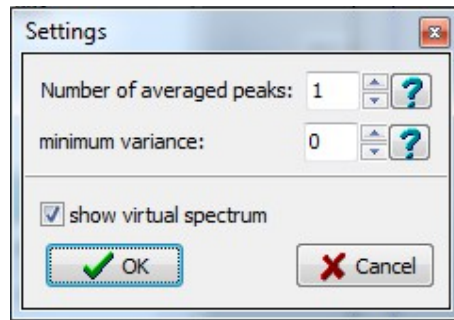


Abbildung 9 Einstellung für das Pseudospektrum:

erreichbar über das Menü an der unteren linken Seite des Grafikfensters, neben dem Pseudospektrum, wenn aktiviert

- *Number of averaged peaks*: Gibt die Anzahl der Werte an, von denen zu beiden Seiten das arithmetische Mittel gebildet wird um danach nach Emissionen und Absorptionen zu suchen
- *minimum variance*: minimale Differenz, die ein Wert mindestens größer/kleiner sein muss als die Nachbarwerte, um als Emission/Absorption erkannt zu werden
- *show virtual spectrum*: zeigt Pseudospektrum an bzw. versteckt es

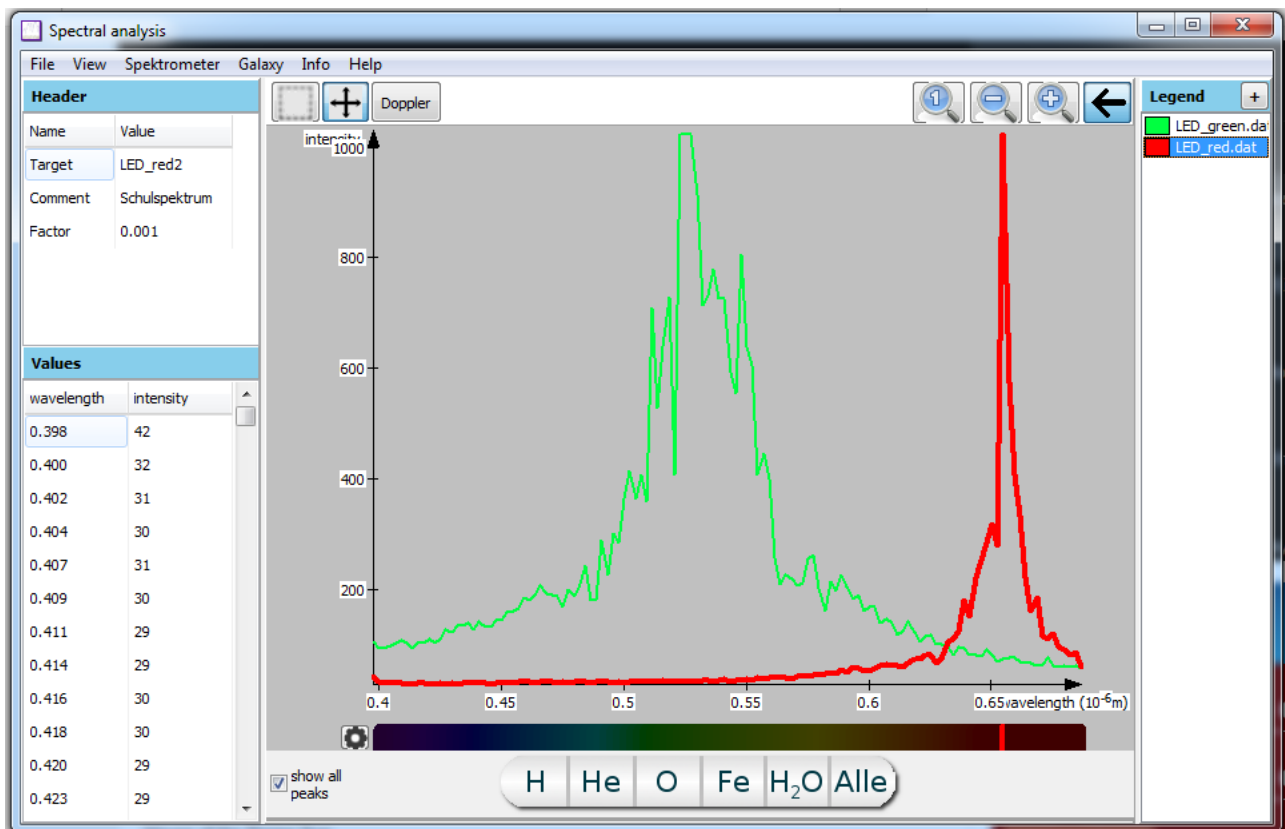


Abbildung 10 Darstellung nach Ändern der Einstellungen

Nach Verändern der Einstellungen ist nur noch eine Emissionslinie sichtbar, die ungefähr der Farbe der Diode entspricht.

Beim Betrachten der zwei Spektren fällt zuerst der Abstand der beiden Peaks auf, was aufgrund der auch unterschiedlichen Farben trivial ist. Außerdem unterscheiden sich beide dadurch, dass die grüne LED mehrere Peaks besitzt und prinzipiell eine größere Bandbreite als die rote LED mit nur einem starken Ausschlag aufweist. Daher ist anzunehmen, dass in der roten LED nur ein Leuchtstoff verwendet wird (655nm Aluminiumgalliumindiumphosphid<sup>16</sup>), während der grünen LED zusätzlich zu Helium-Neon andere Stoffe hinzugefügt wurden, um die Leuchtkraft zu erhöhen.

## Bearbeiten des Headers

Um Analyseüberlegungen später nachvollziehen zu können, kann es nützlich sein sich Notizen anzulegen. Durch Doppelklicken eines Eintrags der Headerliste in der linken Toolbar kann er bearbeitet und durch [Enter] bestätigt werden.

Mit [einfg] wird eine neue Zeile nach der aktuell ausgewählten eingefügt. Eine Zeile kann durch die Rücklösch taste oder [entf] wieder gelöscht werden.

## Speichern / Exportieren

Nach der Analyse kann man das Spektrum über File → Save speichern. Dabei wird es automatisch in dem Ursprungsformat gespeichert. Gespeichert werden Veränderungen am Header, sowie Dopplerverschiebung, nicht jedoch Veränderung der Grafikeinstellungen(Hintergrundfarbe, Linie, ausgewählte Laborwerte, Achsenauswahl,...).

Möchte man auch die grafischen Einstellungen festhalten, kann man über File → Export → Image das Spektrum als Bild exportieren.

Außerdem kann man das Spektrum über File → Export → CSV table als CSV exportieren, was zur weiteren Verarbeitung in Tabellenkalkulationsprogrammen genutzt werden kann. In der exportierten Datei werden alle Headerinformationen, sowie alle Werte unformatiert in Tabellenform gespeichert.

## Aufnahme von Spektren

### 1. Aufnahme

Die Aufnahme von Spektren wird von einem separaten Programm gesteuert, welches aus dem Analyseprogramm über den Schnellzugriff „Record data“ oder über das Menü Spectrometer → Record data aufgerufen werden kann.

Nach Starten des Programms wählt man in der Combobox die Schnittstelle aus an der das Spektrometer mit dem Computer verbunden ist(in der Regel COM1). Falls das Feld leer ist, ist sicherzustellen ob das Spektrometer mit dem Computer richtig verbunden ist.

Ist das Programm mit dem Spektrometer verbunden, wird auf der rechten Seite eine Temperatur in Celsius und Fahrenheit angezeigt. Ist das der Fall, können über „Aufnahme“ Daten eingelesen werden. Sind die Werte zufriedenstellend, speichert man die Datei über Datei → Speichern und öffnet es anschließend im Hauptprogramm.

Nimmt man mehrere Spektren von einem Objekt auf, kann man die Aufnahmen mitteln und somit ein genaueres Spektrum erzielen als mit nur einer Aufnahme. Die entsprechende Option ist unter File → Average files zu finden. Es öffnet sich zuerst ein Öffnen-Dialogfenster, in dem man die zu mittelnden Dateien auswählt. Anschließend gibt man in dem sich öffnenden Speichern-Dialog den neuen Dateinamen ein und öffnet die Datei im Hauptprogramm.

### 2. Eichung

Aufgrund des Spektrometeraufbaus( → Kapitel Fehler: Referenz nicht gefunden) kann sich die Stellschraube verstellen bzw. bewusst verstellt werden, im Falle man möchte den Messbereich ändern. Danach ist es nötig das Spektrometer zu eichen, was über den Menüpunkt Datei → Eichung realisiert wird.

Zur Eichung benötigt man zwei Referenzlaser oder Dioden mit einem pregnanten Maximum und bekannter Wellenlänge. In dem Fenster gibt man die zwei Wellenlängen ein und nimmt pro Laser

eine Aufnahme mithilfe der Button „Scan1“ und „Scan2“ auf.

Das Programm füllt automatisch die unteren beiden Felder. Sie geben die Stelle am Spektrometer an, an der die Intensität maximal ist. Das bedeutet, dass sich an der Stelle die angegebene Wellenlänge befinden sollte. Ändern sich die Indize bei mehrfacher Messung nur minimal kann der Wert als hinreichend genau angesehen werden und man kann die Eichung über „Eichung speichern“ speichern.

### 3. Beispielaufnahmen

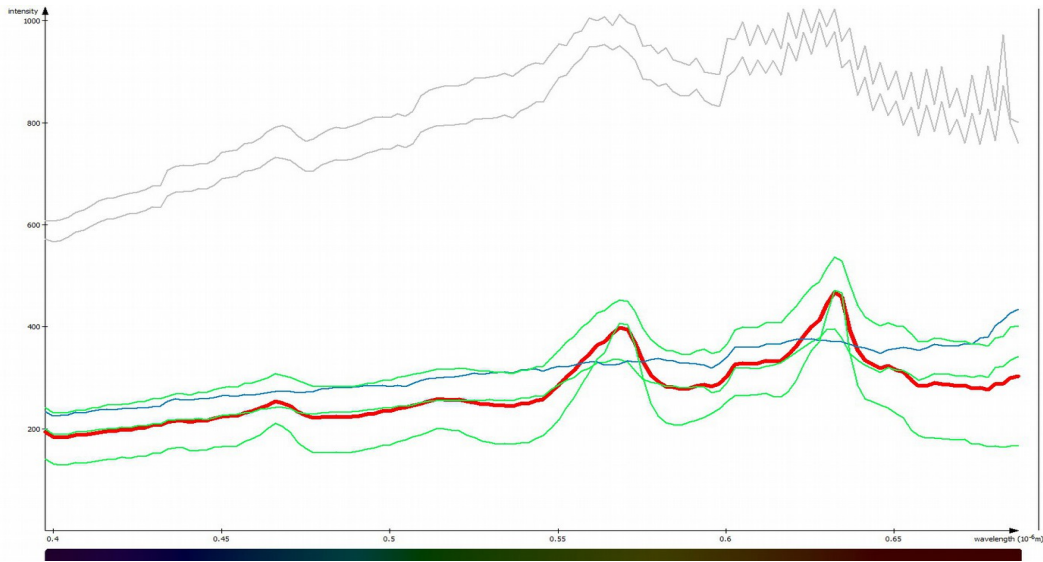


Abbildung 11: Mehrfachaufnahme einer warmen Sparlampe(Typ warm-weiß, 230V, 20W, Paulmann)

In Abbildung 11 sind mehrere Aufnahmen der gleichen Sparlampe, nachdem diese ihre volle Helligkeit erreicht hat, dargestellt. Die rote Linie ist das Mittelspektrum der drei besten Spektren(grün dargestellt). In dem blau dargestellten Spektrum sind kaum Peaks zu erkennen, da das Messgerät in einem ungünstigen Winkel an das Objekt gehalten wurde, wodurch die Messwerte zu streichen sind. In den zwei schwarz dargestellten Spektren wurde eine zu hohe Belichtungszeit gewählt bzw. das Messgerät zu nah an das Objekt gehalten, was zu dem starken Rauschen im roten Bereich führte. Deshalb sind auch diese Messwerte zu streichen.

Was bleibt, sind drei sehr ähnliche Kurven, sodass nach dem Mitteln die rote Linie das Spektrum der Sparlampe recht genau beschreibt. Zu erkennen ist, dass nahezu alle Wellenlängen gleich vertreten sind, was zu weißem Licht führt. Die gut erkennbaren Peaks sind mit der unterschiedlichen Funktionsweise von Glühlampe und Sparlampe zu erklären. Während der heiße Draht bei einer Glühlampe ein Kontinuum erzeugt, werden bei der Sparlampe Gaselektronen angeregt, sodass ein Emissionsspektrum entsteht.

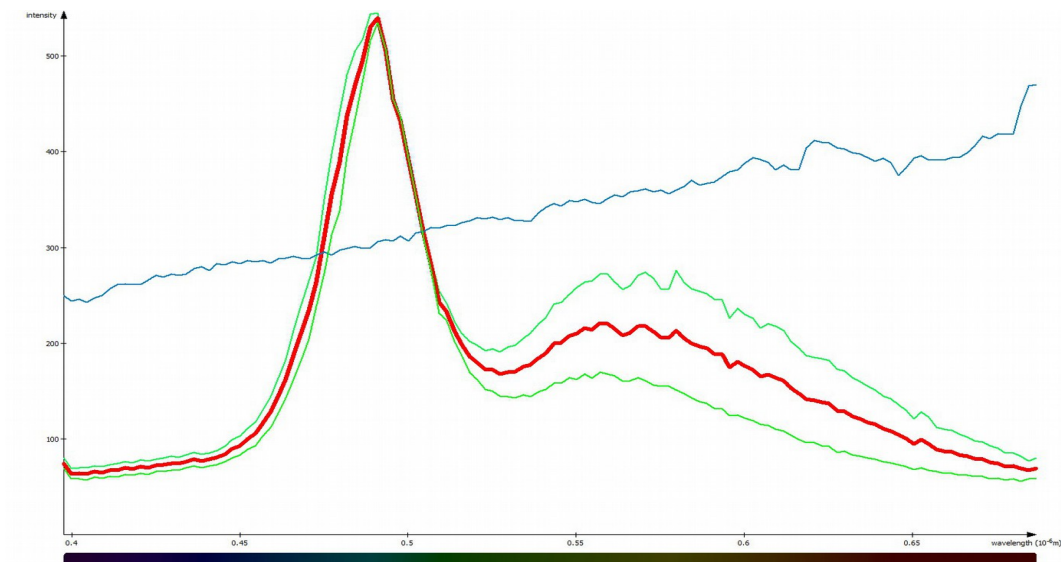


Abbildung 12: Mehrfachaufnahme eines batteriebetriebenen Halogen-Fahrradlights

Auch hier ist zu erkennen, dass nahezu alle Wellenlängen des sichtbaren vertreten sind, sodass wieder weißes Licht entsteht. Im Vergleich zu einer modernen Sparlampe fällt jedoch auf, dass das Spektrum zum blauen und zum roten Ende schneller abflacht. Ein markanter Peak im Blauen, sorgt dafür, dass das Licht viel kälter wirkt als das der Sparlampe.

Bei der blauen Aufnahme handelt es sich wieder um eine Probeaufnahme, bei der das Messgerät in einem ungünstigen Winkel zur Quelle stand.

## Weitere Optionen

Tastenkombination/ Menüzugang	Funktion
[F11] / View → Fullscreen	Zeigt das Grafikenster als Vollbild an, alle Toolleisten(außer der Schnellzugriffe) werden versteckt
Spectrometer → Design	Öffnet ein beschriftetes Bild des Spektrometers mit geöffneten Gehäuse
Galaxy → Activate Galaxy calculations	Zeigt in der unteren Leiste die errechnete Entfernung nach der Hubble-Beziehung an(Voraussetzung: Es handelt sich bei dem Spektrum um die Aufnahme einer Galaxie).