Fotografie und Spektroskopie des Sternhaufens der Plejaden (M45)

Philip Kobusch
Goldlackstr. 39
42369 Wuppertal
philip.kobusch@gmail.com

Marius Janowski
Friedenshort 45
42369 Wuppertal
marius.janowski@gmail.com

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal

Jahrgangsstufe Q1

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie 2016/17

Kursleitung: Bernd Koch

Abgabedatum: 01.06.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
   - 1.1 Motivation 3
   - 1.2 Aufgabenstellung 3
2. Theoretische Grundlagen
   - 2.1 Sternentstehung 4
   - 2.2 Offene Sternhaufen 6
   - 2.3 Spektroskopie 8
3. Verwendetes Zubehör des Schülerlabors
   - 3.1 Canon EOS 450D 14
   - 3.2 SBIG STF-8300M 17
   - 3.3 TIS DMK41AU02 18
   - 3.4 DADOS Spektrograf 19
   - 3.5 Celestron 11 EdgeHD 23
   - 3.6 Experimenteller Aufbau 24
4. Durchführung des Experiments
   - 4.1 Aufnahme der Spektren 26
   - 4.2 Aufnahme der Fotos 28
5. Auswertung des Experiments
   - 5.1 Bearbeitung der Bilder mit DeepSkyStacker und Photoshop 29
   - 5.2 Bearbeitung der Spektren mit Fitswork und VisualSpec 41
   - 5.3 Visualisierung der Spektren 47
   - 5.4 Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit 49
6. Anhang
   - 6.1 Quellenverzeichnis 55
   - 6.2 Ausblick 57
   - 6.3 Danksagung 58
   - 6.4 Abschlusserklärung 59

1. Einleitung

1.1 Motivation

Das Thema Astronomie zog schon immer unser Interesse an.

Als bei den Informationsveranstaltungen zu den Wahlen der Projektkurse das Thema Astronomie fiel und wir über die hervorragende Möglichkeit eine astronomische Projektarbeit verfassen und an der Sternwarte forschen zu können informiert wurden, stand für uns fest, den Projektkurs Astronomie zu belegen.

Beim ersten Betreten des Astronomieraumes in der Schule fiel uns sofort das große Foto der Plejaden ins Auge. Nach dem Wochenendkurs zur Spektroskopie von Michael Winkhaus und Bernd Koch beschlossen wir, diese beiden Themen zu vereinen.

1.2 Aufgabenstellung

Unsere Aufgabe in dieser Projektarbeit besteht jetzt also darin, ein farbenprächtiges Foto der Plejaden aufzunehmen, auf dem die blauen Nebel und Sterne zu erkennen sind. Zudem werden die acht Sterne der Plejaden (Abbildung 47) spektroskopiert. Bei der Auswertung dieser Spektren wird zudem die Rotationsgeschwindigkeit der zirkumstellaren Scheiben um die Be-Sterne Alcyone und Pleione bestimmt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Sternentstehung

Die Voraussetzung für die Entstehung eines Sterns ist eine Gaswolke. Diese besteht im Universum fast ausschließlich aus Wasserstoff. Die Wolke wird durch die Gravitation der einzelnen Wasserstoffmoleküle zusammengehalten. Sammelt sich jedoch zu viel Wasserstoff an, werden die Masse und damit auch die Gravitation der Wolke zu groß und sie kollabiert.

Die Gasteilchen werden nun zum Zentrum der Wolke hin beschleunigt, also nimmt ihre Bewegungsenergie zu.

Nach dem Zusammenbruch nimmt also das Volumen ab, während sich die Temperatur im Inneren durch die zunehmende Bewegungsenergie erhöht.

Durch eben diese Bewegungsenergie werden die Wasserstoffmoleküle und damit auch ihre elektrischen Ladungen in Schwingung versetzt.

Diese Schwingungen werden so schnell, dass die Teilchen elektromagnetische Strahlung in Form von Wärme aussenden.

Irgendwann ist die Gaswolke jedoch so stark kontrahiert und dicht, dass die Strahlung nicht mehr entweichen kann und das Zentrum der Wolke immer weiter aufheizt.

Das geschieht nun so lange, bis der thermische Druck, also der Bewegungsdruck der Teilchen, den weiteren Zusammenfall der Wolke aufhalten kann.

Nun strömt weiteres Gas nach innen, so dass sich der Kern stetig weiter aufheizt, bis die Wasserstoffmoleküle bei einer Temperatur von etwa 2.000° Kelvin (ca. 1.727° Celsius) in einzelne Atome zerfallen. Die Wolke wird nun erneut instabil, wodurch aus der Hülle erneut Gas in das Zentrum gelangt. Dies hat zur Folge, dass die Wolke immer dünner wird, während Dichte und Temperatur immer weiter ansteigen.

Bei einer Temperatur von mehreren Millionen Grad erreichen die Wasserstoffatome eine so hohe Energie, dass sie die elektrostatische Abstoßung, die ihre Kerne aufgrund der gleichen Ladung besitzen, überwinden können.

Die Atome kommen sich jetzt so nahe, dass die Kernfusion einsetzt und die Atomkerne zu neuen, schwereren Atomkernen verschmelzen können.

Damit die Fusion überhaupt erst einsetzt, benötigt die Wolke eine Masse von 0,08 Sonnenmassen, also ca. $1{,}6 \times 10^{29}$ Kilogramm.

Der ursprünglich in der Wolke vorhandene Wasserstoff fusioniert hier zum nächstschwereren Element, Helium.

Durch die hierbei freigesetzte Strahlung bzw. den Strahlungsdruck wird die zusammenziehende Schwerkraft ausgeglichen und der Stern stabilisiert sich.

Das Einsetzen der Kernfusion markiert die „Geburt“ eines Sterns, denn nur ein Himmelskörper, der durch Kernfusion Energie erzeugt, gilt als Stern.[1]

[1] Vgl. http://www.physik.wissenstexte.de/sterne.htm

2.2 Offene Sternhaufen

Wenn aus der ursprünglichen Wasserstoffwolke, die zur Sternentstehung benötigt wird, gleich mehrere Sterne entstehen, nennt man das einen Sternhaufen.
Ein Merkmal von offenen Sternhaufen ist die geringe Sternkonzentration im Haufenzentrum. Auch ist die Anzahl der Sterne mit ca. 20 bis hin zu einigen Tausend im Vergleich zu Kugelsternhaufen mit ungefähr 100.000 Sternen sehr gering.
Zur Klassifizierung unterteilt man sie in drei Klassen:

p (poor)	Weniger als 50 Sterne [2]
m (middle)	50-100 Sterne
r (rich)	Mehr als 100 Sterne

Weiterhin gibt man über die römischen Ziffern I bis IV die Konzentration des Sternhaufens an, wobei I für eine schwache und IV für eine starke Konzentration steht. [3]
Dazu teilt man sie noch in 1, 2 und 3 ein.

„1 bedeutet, dass alle Sterne etwa dieselbe scheinbare Helligkeit aufweisen
2 weist darauf hin, dass eine ziemlich gleichmäßige Streuung der Sternhelligkeiten über einen großen Bereich vorliegt
3 bedeutet das einige hell, sowie sehr viele schwach leuchtende Sterne den Haufen bevölkern“[4]

Offene Sternhaufen lassen sich nur in aktiven Galaxien finden, in denen noch Sternbildung stattfindet, also Spiralgalaxien oder irreguläre Galaxien.
Dies erklärt auch ihr geringes Alter von selten mehr als ein paar hundert Millionen Jahren.

[2]Vgl. http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/t_sternh.htm
[3]Vgl. http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/t_sternh.htm
[4] http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/t_sternh.htm

Sie bieten eine wichtige Grundlage für das Untersuchen der Sternentstehung, da aufgrund des gleichen Alters, sowie der fast gleichen chemischen Zusammensetzung kleinere Unterschiede der Eigenschaften schnell auffallen.

So kann man beispielsweise bei den Plejaden sehr leicht die Hα-Emissionslinien der Sterne Pleione und Alcyone im Spektrum erkennen, die bei einzeln betrachteten Sternen gar nicht auffallen würden.[5]

[5] https://de.wikipedia.org/wiki/Offener_Sternhaufen

2.3 Spektroskopie

Das elektromagnetische Spektrum reicht von wenigen Nanometern bis zu mehreren Kilometern Wellenlänge. Das menschliche Auge kann hierbei den Bereich von violettem Licht bei ca. 380 bis zu rotem Licht bei ca. 750 Nanometern sehen. Um diesen Bereich des Lichtes aufzuspalten nutzt man in der Astrospektroskopie einen Gitterspektrografen.

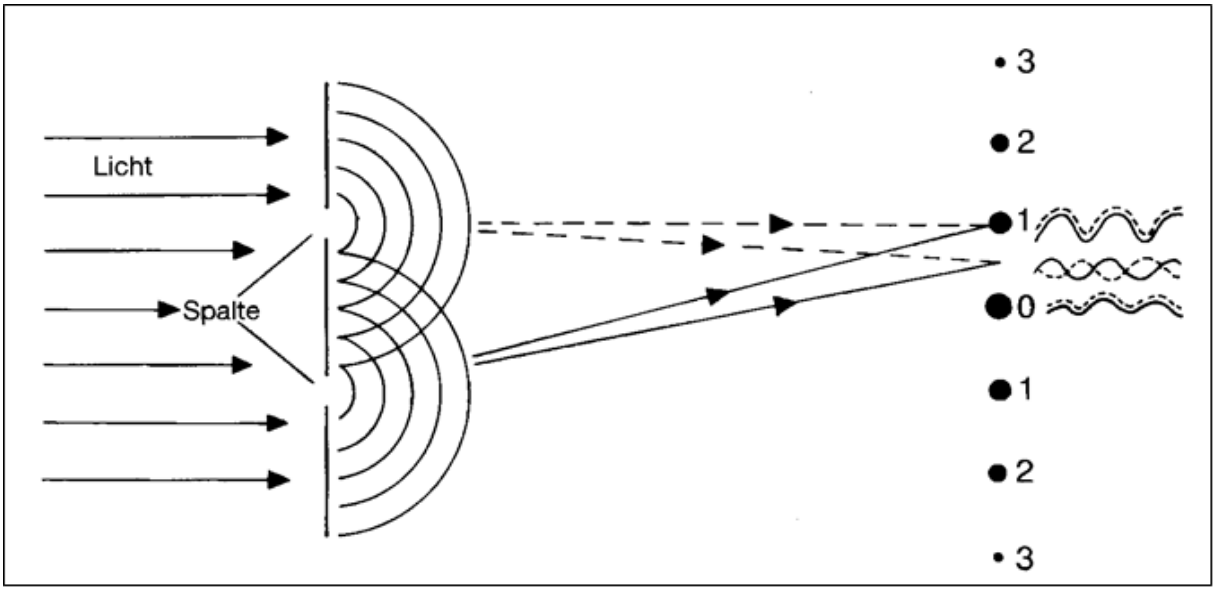


Abbildung 1: Lichtbeugung an zwei Spalten

Hier trifft das Licht auf zwei Spalte und wird dahinter gebeugt. Treffen sich nun zwei Wellen an einer Fläche hinter den Spalten, so interferieren sie miteinander. Beträgt der Wegunterschied der beiden Wellen hierbei ein Vielfaches der ursprünglichen Wellenlänge, findet man einen hellen Interferenzstreifen, man spricht auch von konstruktiver Interferenz. Zwischen den hellen befinden sich dann dunkle Streifen (destruktive Interferenz). Sendet man nun unterschiedlich farbiges Licht durch die Spalte, so stellt man fest, dass die Streifen auch unterschiedlich weit entfernt sind. So wird rotes Licht mit einer größeren Wellenlänge stärker gebeugt als blaues Licht mit einer kleineren Wellenlänge.

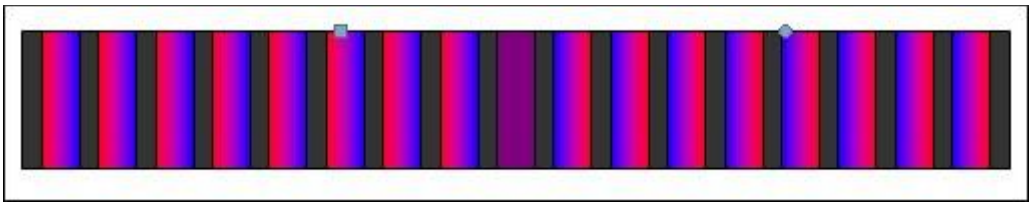


Abbildung 2: Interferenzmuster von rotem und blauem Mischlicht

Legt man nun diese beiden Spektren übereinander, so sieht man, dass sich die einzelnen Streifen überlagern. Würde man weißes Licht nehmen, das aus allen Farben besteht, so entstünde ein kontinuierliches Spektrum.

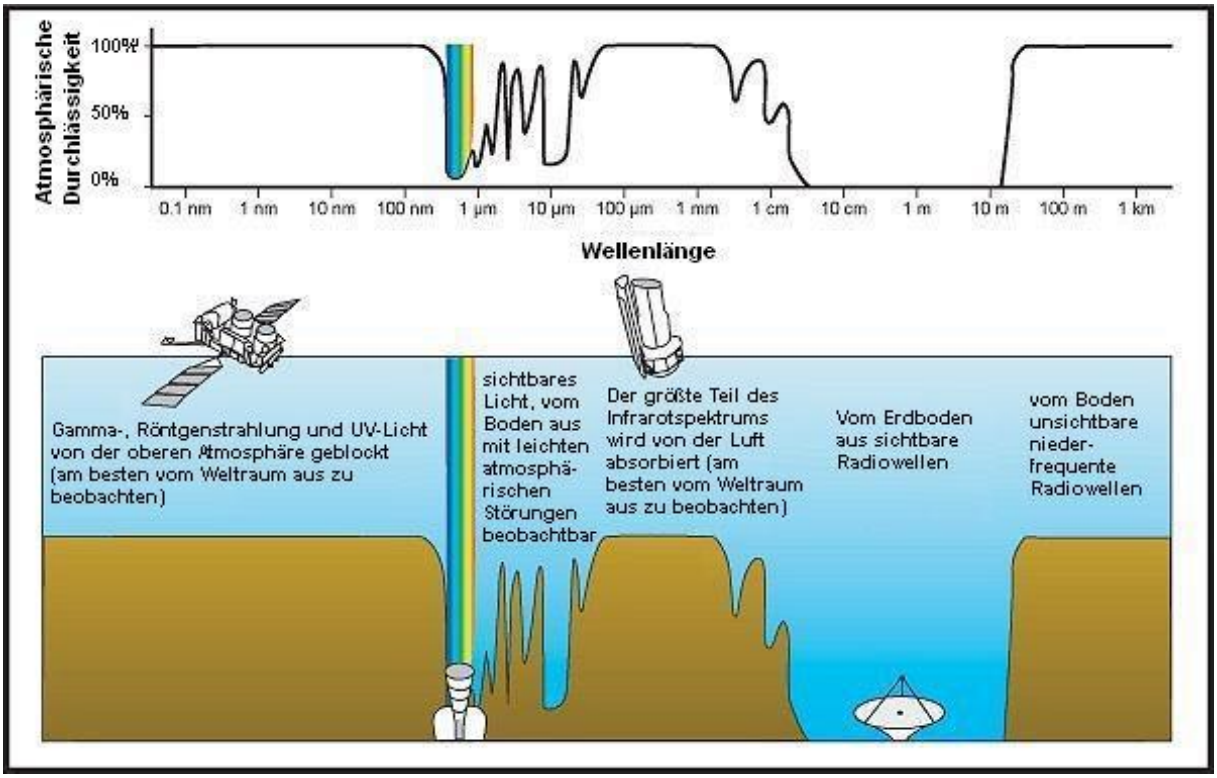


Abbildung 3: Durchlässigkeit der Atmosphäre

In dieser Grafik lässt sich erkennen, dass die Atmosphäre im Bereich der sichtbaren Wellenlänge fast das komplette Licht durchlässt, während beispielsweise die für uns gefährliche Gammastrahlung ganz geblockt wird.

Welche Spektren gibt es?

1. Kontinuierliche Spektren

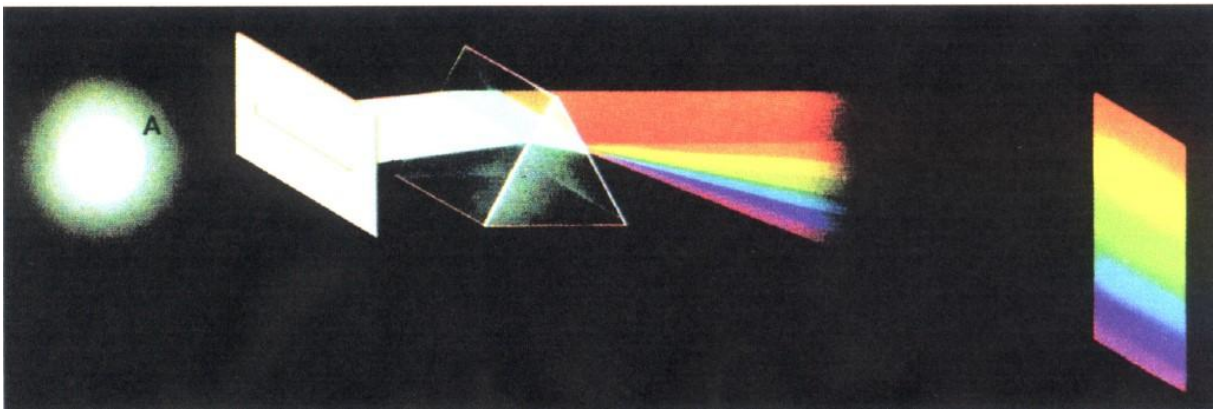


Abbildung 4: Kontinuierliches Spektrum

Ein fester Körper oder heißes Gas unter hohem Druck erzeugen ein kontinuierliches Spektrum.

2. Emissionslinien-Spektren

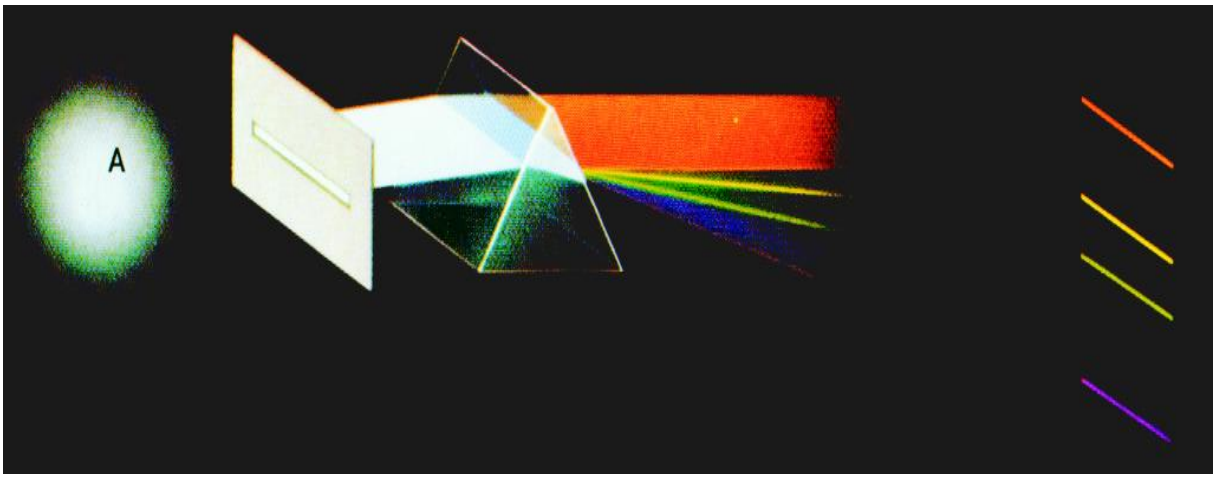


Abbildung 5: Emissionslinien-Spektrum

Durch heißes Gas entsteht ein Emissionslinien-Spektrum.

3. Absorptionslinien-Spektren

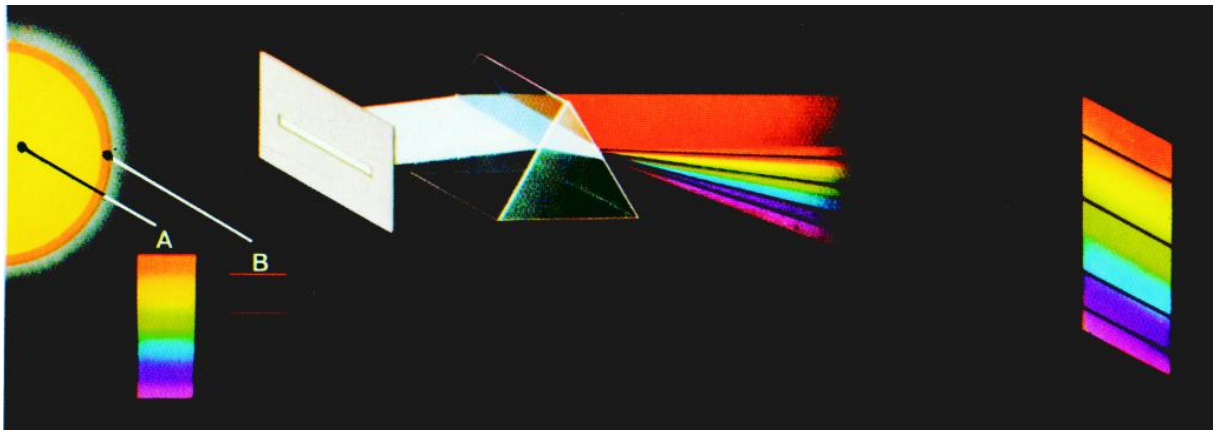


Abbildung 6: Absorptionslinien-Spektrum

Dringt eine kontinuierliche Strahlung durch ein kühles Gas, so entsteht ein Absorptionslinienspektrum.

Wie entsteht ein Spektrum?

[6]

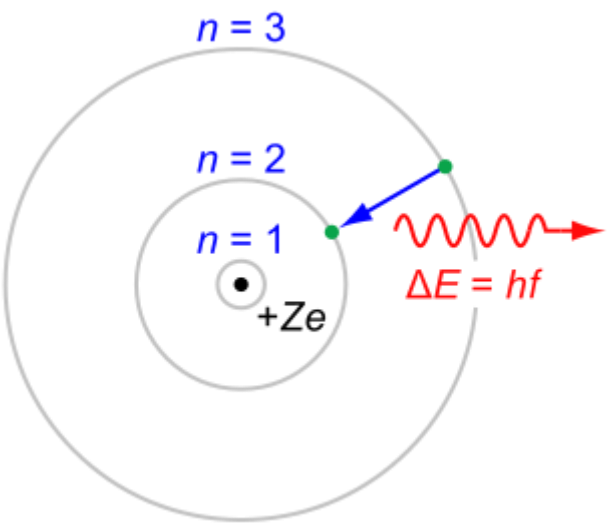


Abbildung 7: Bohrsches Atommodell

Ein Elektron kann sich in einem Atom nicht frei bewegen, sondern nach dem Bohrschen Atommodell nur auf bestimmten Energieniveaus. Ohne Krafteinwirkung von außen bleiben die Elektronen auf dem niedrigsten Energieniveau, dem Grundzustand.

[6] https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrsches_Atommodell#/media/File:Bohr-atom-PAR.svg

Um ein höheres Energieniveau zu erreichen muss einem Elektron genauso viel Energie zugeführt werden, wie es für den Sprung auf das nächste Niveau benötigt. Von diesem erhöhten Energieniveau n (mit der Energie E_n) fällt das Elektron auf ein niedrigeres Energieniveau m (mit der Energie E_m) herunter. Die daraus resultierende Energiedifferenz

$\Delta E = E_n - E_m$ wird in Form einer elektromagnetischen Welle, deren Wellenlänge λ antiproportional zu ΔE ist, ausgesendet. Also je höher der Energieverlust des Elektrons ist, desto kurzwelliger bzw. „blauer" ist die Lichtwelle.

Die Berechnungsformel hierzu lautet: $\lambda = \frac{1{,}98\times10^{-25}}{\Delta E}\ J \times m$

Führt man diese Formel nun für alle Ebenen des Wasserstoffatoms durch, erhält man:

- Hα (n = 3) bei λ = 656,3 nm
- Hβ (n = 4) bei λ = 486,1 nm
- Hγ (n = 5) bei λ = 434,0 nm
- Hδ (n = 6) bei λ = 410,2 nm
- Hε (n = 7) bei λ = 397,0 nm
- H8 (n = 8) bei λ = 388,9 nm

Diese Serie von Wellenlängen nennt man die Balmerserie. Sie ist nach dem Schweizer Mathematiker und Physiker Johann Jakob Balmer benannt, der die Formel zur Berechnung der Wellenlänge der Linien entdeckte.[7] Die so berechneten Wellenlängen werden in der Wellenlängenkalibration der Spektren benutzt.[8]

[7]Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Balmer
[8]Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Balmer-Serie

Klassifikation von Spektren

Die meisten Sternspektren weisen Absorptionslinien auf, oft treten auch Fraunhoferlinien auf. Diese Linien sind Absorptionslinien die zuerst in der Sonne entdeckt wurden. Sie erlauben heute Rückschlüsse auf chemische Zusammensetzung und Temperatur eines Sterns.[9] jedoch gibt es einige Unterschiede, wie Breite oder Anzahl der Linien. Um die Spektren dennoch vergleichen zu können, nutzt man die Harvard-Klassifikation. Um 1890 entstand die ursprüngliche Version. Sie teilte die Sternspektren nach Besonderheiten in die Klassen A bis Q ein. Durch genauere Messinstrumente wurde es bald nötig einzelne Klassen zu korrigieren oder auch ganz zu entfernen. Heute gibt es nur noch die Klassen O bis M, die jeweils Unterklassen von 0 bis 9 haben, so dass sich Spektren dazwischen einordnen lassen.

O	Intensives, kontinuierliches Spektrum mit Absorptionslinien des ionisierten Heliums; insgesamt sehr wenig Fraunhofer-Linien
B	Wasserstofflinien treten auf; auch Linien des neutralen Heliums
A	Balmerlinien des Wasserstoffs im Maximum; Linien des ionisierten Kalziums treten auf
F	Balmerlinien werden schwächer; Kalziumlinien sind sehr stark ausgeprägt; Metalllinien treten auf
G	Starke Kalziumlinien; Balmerlinien sehr schwach; intensive Linien des Eisens treten auf
K	Intensive Linien des Eisens und anderer Metalle; zahlreiche Molekülbanden
M	Viele Linien neutraler Metalle; besonders von Eisen; starke Titanoxid-Banden; auch Linien des Kalziums

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferlinie
Sofern nicht anders gekennzeichnet, sind alle Informationen und Bilder dieses Unterthemas den Kursunterlagen des Sternspektroskopiekurses von Michael Winkhaus am 10.09.2016 entnommen.

3. Verwendetes Zubehör des Schülerlabors

3.1 Canon EOS 450D

Die Aufnahmen der Plejaden wurden mit einer DSLR-Kamera des Typs EOS 450D von Canon durchgeführt.

Name	Canon EOS 450D
Auflösung	4.272 x 2.848 Pixel (3:2)
Megapixel	12,4 (physikalisch) / 12,2 (effektiv)
Pixelgröße	5,2 µm
Sensor	Active Pixel Sensor
Sensorgröße	22,2 x 14,8 mm

[10]

Abbildung 8: Canon EOS 450D[11]

[10] Vgl. http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf
[11] https://de.wikipedia.org/wiki/Canon_EOS_450D#/media/File:Canon_EOS_450D_Xsi.JPG

Active Pixel Sensor

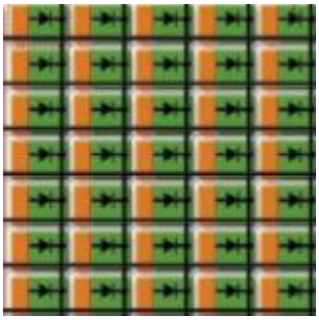


Abbildung 9: Schema des ASP[12]

Der Active Pixel Sensor (APS) ist ein Halbleiterdetektor der in Kameras eingesetzt wird. Wie Abbildung 9 zeigt, besteht jeder Pixel aus zwei Teilen. Der lichtempfindliche Teil (orange), sammelt hierbei einfallende Photonen, während der lichtunempfindliche Teil (grün), ein Auslöseverstärker, die Photonen zählt. Jeder Pixel liefert der Kamera also ein Signal über die Helligkeit, woraus die Kamera dann ein fertiges Bild zusammensetzt. Ein großes Problem dieses Sensors ist jedoch, dass ein zu großer Teil des Lichtes auf den lichtunempfindlichen Teil trifft.

Das wird jedoch durch „Mikrolinsen“ umgangen, die das meiste Licht auf den lichtempfindlichen Teil leiten.[13]

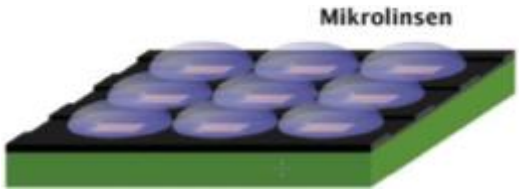


Abbildung 10: Mikrolinsen zum Umlenken des Lichtes[14]

[12] http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf
[13] Vgl. http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf
[14] http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf

Bayer-Sensor

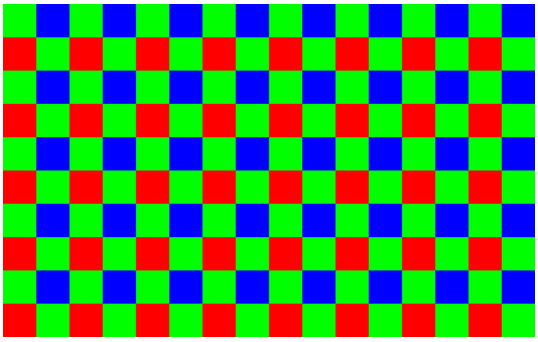


Abbildung 11: Schema einer Bayer-Matrix[15]

Der Bayer-Sensor ist ein Fotosensor, der mit einem Farbfilter überzogen ist, welcher zu 50% aus Grün und zu je 25% aus Blau und Rot besteht. Grün wird hierbei eine größere Fläche zugewiesen, da Grün den größten Anteil zur Helligkeitswahrnehmung im menschlichen Auge leistet. Zudem bieten Objektive für Grün, da es in der Mitte des Farbspektrums liegt, meistens die höchste Abbildungsleistung. Der lichtempfindliche Teil des einzelnen Pixels kann nur Helligkeitswerte erfassen, deshalb wird vor ihn nun ein Filter in einer der drei Farben gelegt. Um die Farbe zu bestimmen werden die Daten der umliegenden Pixel zur Farbinterpolation herangezogen. Hierbei geht man davon aus, dass es zwischen zwei benachbarten Pixeln nur zu geringen Unterschieden kommt und die einzelnen Farben so errechnet werden können.[16]

[15] https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor#/media/File:Bayer_matrix.svg
[16] Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor

3.2 SBIG STF-8300M

Zum Aufnehmen der Spektren wurde die CCD-Kamera STF-8300M von SBIG verwendet.

Abbildung 12: STF-8300M (Copyright SBIG und Baader Planetarium GmbH)[17]

Name	SBIG STF-8300M
Pixelanzahl	3326 x 2504 (ca. 8,3 Megapixel)
Sensorart	CCD-Sensor
Sensorgröße	1796 x 13.52 mm
Gewicht	0,8 kg
Belichtungszeit	0,09 bis 3600 Sekunden

[18]

Die Kamera fotografiert in schwarz-weiß und bietet durch die Bilddownloadzeit von unter einer Sekunde die Möglichkeit, kleinste Veränderungen am beobachteten Objekt festzustellen. Weiterhin hat die Kamera eine eingebaute Kühlung, die es ermöglicht den Sensor 40K unter Umgebungstemperatur zu kühlen und somit das Bildrauschen zu reduzieren.

[17] http://www.sbig.de/stf-8300/stf-8300.htm
[18] http://www.sbig.de/stf-8300/stf-8300.htm

3.3 TIS DMK 41AU02.AS

Um bei der Spektroskopie durchgehend den Stern und die drei Spalte des Spektrografen im Blick behalten zu können, verwendet man die DMK 41AU02.AS Schwarz/Weiß-Kamera von „The Imaging Source“. Diese Teleskop-Videokamera liefert mit 1.280×960 Pixeln ein hochauflösendes Live-Bild an den Computer, welches einem ermöglicht, jederzeit die Aufnahme zu kontrollieren.

Abbildung 13: TIS DMK 41AU02.AS[19]

Technische Daten der Kamera:[20]

Maximale Auflösung	H: 1280 px, V:960 px
Maximale Bildrate	15 fps
Sensor-Typ	CCD
Schnittstelle	USB 2.0
Abmessungen	H: 50,6 mm, B: 50,6 mm, L: 56 mm
Gewicht	265 g
Empfindlichkeit	0,05 lx
Dynamikbereich	8 bit
Belichtungszeit	$\frac{1}{10000} s$ - 30 s
Verstärkung	0dB - 36 dB

[19] http://s2.www.astronomycameras.com/img/pph/xxl/dmk41au02as.jpg
[20] https://www.theimagingsource.de/produkte/industriekameras/usb-2.0-monochrom/dmk41au02/

3.4 DADOS Spektrograf

Abbildung 14: DADOS-Spektrograf

Zum Spektroskopieren der einzelnen Sterne wurde der DADOS-Spektrograf der Firma Baader verwendet.

Abbildung 15: Licht fällt in den Spektrografen[21]

Trifft das Licht eines Sterns auf den DADOS-Spektrograf, so fällt es im ersten Würfel auf einen Spiegel und danach durch einen Spalt. Im DADOS-Spektrograf sind drei dieser Spalte mit Breiten von 25, 35 und 50 µm verbaut. Dies erlaubt eine angemessene Spaltbreite je nach Größe des Himmelsobjektes.

Danach wird das Licht durch einen Kollimator geleitet, der das Licht zu einem parallelen Strahlenbündel umwandelt, das nun auf das Blazegitter trifft.

[21] http://www.baader-planetarium.de/dados/download/tutorial-dados-d.pdf

Was ist ein Blazegitter?

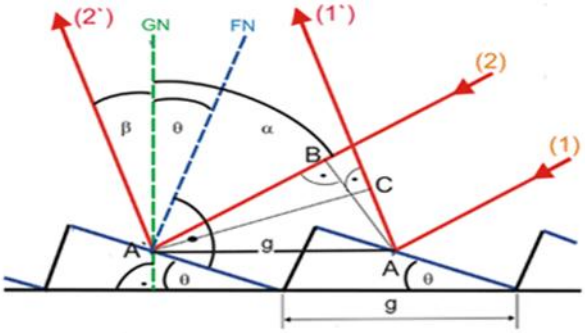


Abbildung 16: Lichtverlauf an einem Blazegitter[22]

Ein Reflexionsgitter wird durch gleichmäßiges Ritzen einer spiegelnden Fläche erzeugt. Unter dem Gangunterschied ⍰ = |CA‘ – BA| = d |sin(α) – sin(β) treten hier Beugungsmaxima auf, wenn ⍰ = k λ ist, also ⍰ ein Vielfaches der Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist.

Mit einer Veränderung der Wellenlänge, also mit der Farbe des Lichtes, ändert sich auch der Ausfallswinkel β und das Licht wird in seine einzelnen Farben aufgespalten. Trifft das Licht jedoch auf ein normales Reflexionsgitter, so geht ein Großteil des Lichtes in das Hauptmaximum, während sich der Rest auf sehr viele Nebenmaxima verteilt. Bei einem Blaze-Gitter sind die reflektierenden Flächen (blau) um den Blaze-Winkel θ gegen die Gitterebene schräg gestellt.

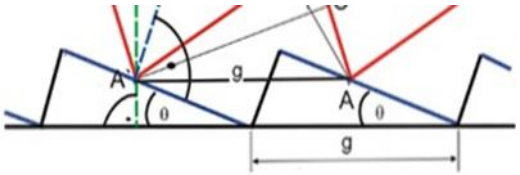


Abbildung 17: Blaze-Winkel[23]

Wählt man den Winkel θ nun so, dass die erste Beugungsordnung in die gleiche Richtung, wie die normale Reflexion liegt, so lässt sich der größte Teil des Lichtes dort konzentrieren.

[22] https://www.lehrer-online.de/artikel/seite/fa/dados-spaltspektrograph/aufbau-und-funktionsweise-des-dados/

[23] https://www.lehrer-online.de/artikel/seite/fa/dados-spaltspektrograph/aufbau-und-funktionsweise-des-dados/

Das so aufgespaltene Licht fällt nun durch das Objektiv und danach auf den Sensor der Kamera. Das so aufgenomme Spektrum kann hier nach in Visual Spec bearbeitet werden.[24]

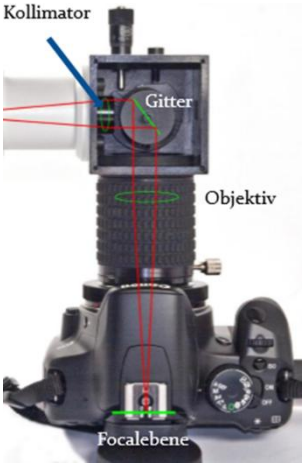


Abbildung 18: Licht trifft auf Gitter und dann auf Kamera[25]

[24] https://www.lehrer-online.de/artikel/seite/fa/dados-spaltspektrograph/aufbau-und-funktionsweise-des-dados/
[25] http://www.baader-planetarium.de/dados/download/tutorial-dados-d.pdf

3.5 Celestron 11 EdgeHD

Name	Celestron 11 EdgeHD [26]
Durchmesser der Öffnung	279,4 mm
Brennweite	2800 mm
Länge	61 cm
Gewicht	13 kg

Zur Aufnahme der Bilder und Spektren wurde das Celestron 11 EdgeHD verwendet. Das Teleskop basiert auf einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop. Hierbei wird das einfallende Licht vom sphärischen Hauptspiegel gebündelt. Das so gebündelte Licht wird nun zum Fangspiegel geleitet, der es mittig auf den Hauptspiegel reflektiert. Dort befindet sich ein Loch durch das das Licht zum Okular geführt werden kann.[27]

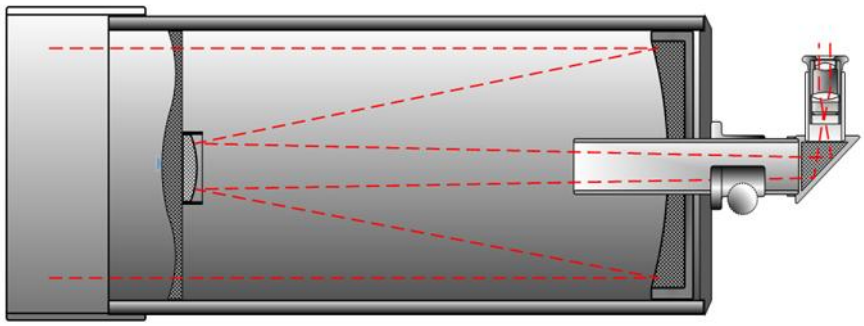


Abbildung 19: Funktionsweise eines Schmidt-Cassegrain-Teleskops[28]

[26] http://www.celestron.com/browse-shop/astronomy/optical-tubes/edgehd-11-optical-tube-assembly
[27] https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Cassegrain-Teleskop
[28] https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Cassegrain-Teleskop#/media/File:Schmidt-Cassegrain.png

3.6 Experimenteller Aufbau

Abbildung 20: Aufbau auf dem Dach des CFG

Auf dem Bild kann man den Aufbau auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums sehen. Zuerst wird das Celestron 11 EdgeHD auf der Montierung befestigt, die im Dach verankert ist. Nun wird der Zubehörwagen an die Station gebracht und das Netzteil der Montierung, sowie weiteres Zubehör entnommen. An das Teleskop wird nun noch die Steuereinheit angeschlossen um bestimmte Himmelsobjekte auszuwählen.

Abbildung 21: Spektrograf am Teleskop

Danach kann an das Teleskop das Aufnahmegerät bzw. erst der DADOS-Spektrograf angeschlossen werden. Nun wird der Laptop hochgefahren und alle erforderlichen Programme gestartet.

4. Durchführung des Experiments

4.1 Aufnahme der Spektren

Die Spektren wurden in der Nacht des 29.12.2016 aufgenommen. Die Temperatur lag unter null Grad Celsius und zudem herrschte starker Wind, der die Aufnahmen erschwerte.

Zuerst wird das Teleskop (Celestron 11 EdgeHD) auf der Montierung befestigt. Nun wird der DADOS-Spektrograf an das Teleskop angeschlossen und an diesen noch die CCD-Kamera (SBIG STF-8300M), sowie die Nachführkamera (TIS DMK AU4102).

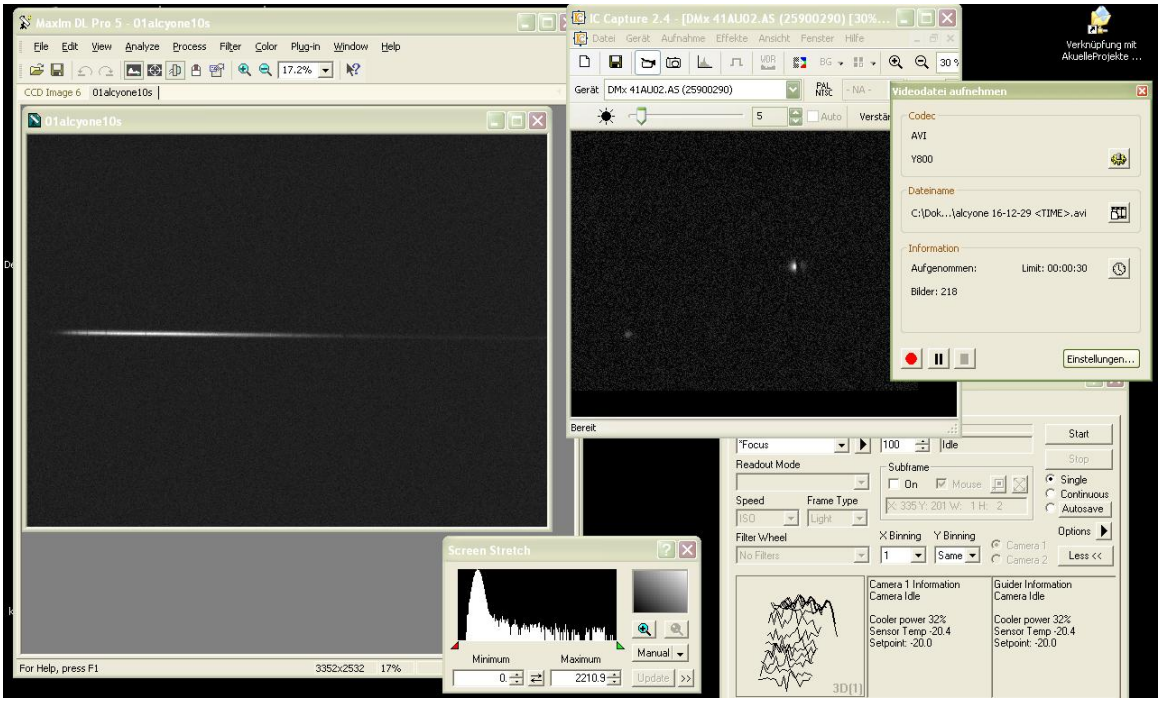


Abbildung 22: Aufnahme eines Spektrums

Über die Software IC Capture wird nun die Nachführkamera gesteuert, um immer auf dem Spalt des Spektrografen zu bleiben. Über die Software MaximDL Pro 5 wird die CCD-Kamera gesteuert, also Bilder gemacht und ihr Kühler kontrolliert.

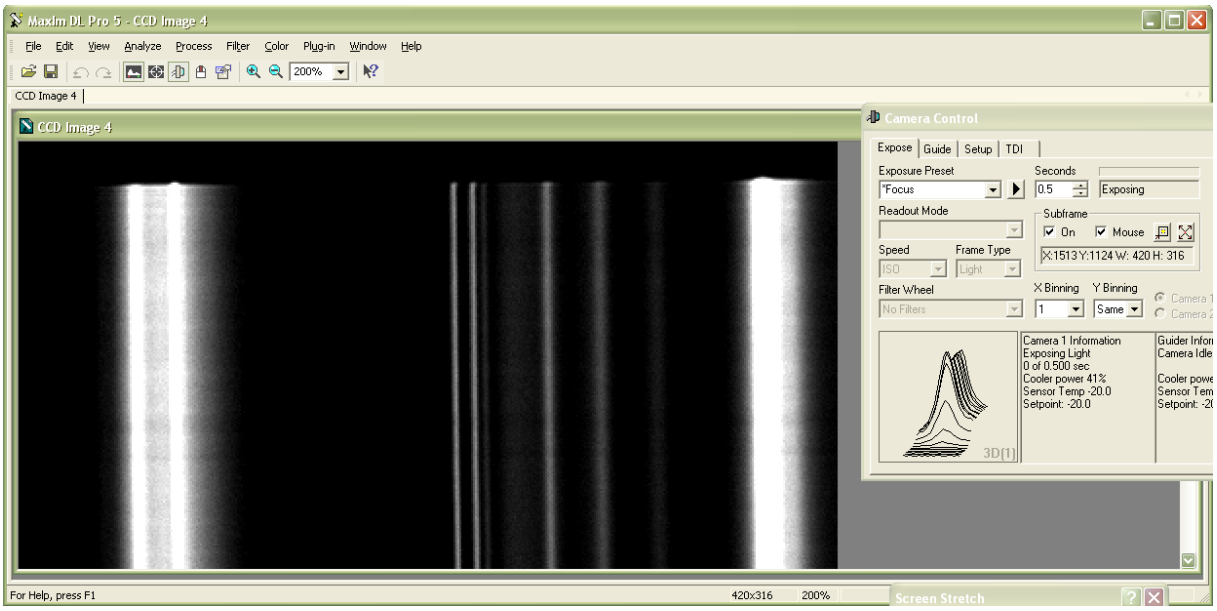


Abbildung 23: Ordnung finden mit Energiesparlampe

Zuerst wird eine Energiesparlampe vor das Teleskop gehalten, um die 1. Ordnung zu bestimmen, von der letztendlich die Spektren aufgenommen werden sollen. Danach wird das Teleskop auf das Licht des Fernmeldeturms Küllenhahn gerichtet, der sich neben der Schule befindet. Anhand dieses Lichtes kann man den Spektrografen dann scharf stellen.

Jetzt ist es möglich über die Steuerungseinheit der Montierung den gewünschten Stern anzupeilen. Das Teleskop wird so ausgerichtet, dass der Stern genau über dem Spalt des Teleskops liegt.

Nun kann man die Aufnahme des Spektrums über MaximDL Pro 5 starten. Während der Aufnahme sollte sich in der Nähe der Montierung niemand bewegen, da die Spektren sonst nicht ausreichend belichtet werden. Gleichzeitig muss das Teleskop die ganze Zeit nachgeführt werden, so dass der Stern auf dem Spalt bleibt. Man nimmt pro Stern mehrere Spektren auf, da sie durch Unter-/Überbelichtung oder Wind nicht gut genug zur Auswertung sein können.

4.2 Aufnahme der Fotos

Die Fotos wurden in der Nacht des 05.01.2017 aufgenommen. Die Temperatur lag auch hier deutlich unter dem Nullpunkt. Es war jedoch relativ windstill und somit ideal zum Fotografieren.

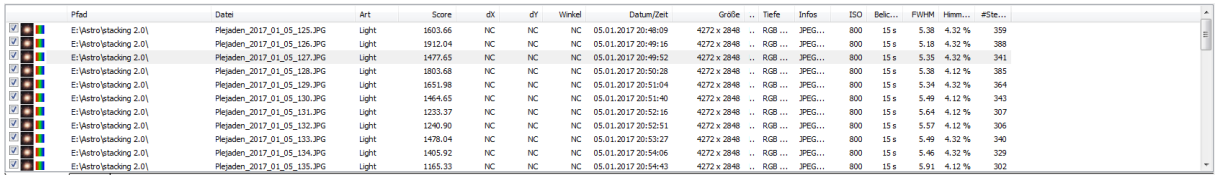
Auch hier wird zuerst das Teleskop (Celestron 11 EdgeHD) aufgebaut und dann die Kamera (Canon EOS 450D) daran befestigt. Die Kamera wird nun mit dem Laptop verbunden und kann danach über die „EOS Utility“-Software gesteuert werden. Um einen Stern zu finden nutzt man die Steuerungseinheit der Montierung des Teleskops, die voreingestellt viele Sterne anfahren kann. Ist der Stern danach nicht ganz korrekt zu sehen, muss manuell korrigiert werden. Nun können in der „EOS Utility“-Software der ISO-Wert, sowie die Belichtungszeit eingestellt und dann das Foto gemacht werden. Auch hier ist zu beachten, dass sich in der Nähe der Montierung möglichst niemand bewegt, da das Bild sonst verwackeln könnte. Man nimmt möglichst viele Bilder auf, um durch das Stacking danach das Bild aufzuhellen, sowie Fehler korrigieren zu können.

5. Auswertung des Experiments

5.1 Bearbeitung der Bilder mit DeepSkyStacker und Photoshop

Stacken der Bilder mit DeepSkyStacker

Die aufgenommenen 43 Bilder vom Abend des 05.01.2017 werden mit der Freeware DeepSkyStacker übereinandergelegt und anhand markanter Merkmale, wie zum Beispiel Sternen ausgerichtet. Dieses Verfahren nennt sich Stacking und wird verwendet, um eine größere Lichtausbeute der Sterne zu bekommen und das Rauschen zu reduzieren. Mit dem Button Lightframes öffnen... öffnet sich der Windows-Explorer und man kann alle gelungenen Aufnahmen der Sternkonstellation importieren. Am Abend des 05.01.2017 entstanden die 43 Aufnahmen der Plejaden mit je 15 Sekunden Belichtungszeit, das heißt 10 Minuten und 45 Sekunden Gesamtbelichtungszeit und einem ISO Wert von 800. Mit der Funktion Alle auswählen werden nun alle importierten Fotos ausgewählt.



Pfad	Datei	Art	Score	dX	dY	Winkel	Datum/Zeit	Größe	..	Tiefe	Infos	ISO	Belic...	FWHM	Himm...	#Ste...
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_125.JPG	Light	1603.66	NC	NC	NC	05.01.2017 20:48:09	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.38	4.32 %	359
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_126.JPG	Light	1912.04	NC	NC	NC	05.01.2017 20:49:16	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.18	4.32 %	388
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_127.JPG	Light	1477.65	NC	NC	NC	05.01.2017 20:49:52	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.35	4.32 %	341
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_128.JPG	Light	1803.68	NC	NC	NC	05.01.2017 20:50:28	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.38	4.12 %	385
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_129.JPG	Light	1651.98	NC	NC	NC	05.01.2017 20:51:04	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.34	4.32 %	364
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_130.JPG	Light	1464.65	NC	NC	NC	05.01.2017 20:51:40	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.49	4.12 %	343
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_131.JPG	Light	1233.37	NC	NC	NC	05.01.2017 20:52:16	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.64	4.12 %	307
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_132.JPG	Light	1240.90	NC	NC	NC	05.01.2017 20:52:51	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.57	4.12 %	306
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_133.JPG	Light	1478.04	NC	NC	NC	05.01.2017 20:53:27	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.49	4.32 %	340
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_134.JPG	Light	1405.92	NC	NC	NC	05.01.2017 20:54:06	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.46	4.32 %	329
E:\Astro\stacking 2.0\	Plejaden_2017_01_05_135.JPG	Light	1165.33	NC	NC	NC	05.01.2017 20:54:43	4272 x 2848	..	RGB ...	JPEG...	800	15 s	5.91	4.12 %	302

Abbildung 24: Die Auswahl der Bilder im DeepSkyStacker

Als nächstes wird mit dem Button Ausgewählte Bilder stacken... das Stacking gestartet. Dies erledigt das Programm von selbst und gibt als Ergebnis des Stackings dieses Bild aus:

Abbildung 25: Das Bild der Plejaden nach dem Stacken

Es ist zu erkennen, dass der rechte und untere Bildrand sich vom Rest des Bildes unterscheiden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Teleskop die Plejaden während der Zeit der einzelnen Aufnahmen nicht perfekt verfolgt hat. Zudem ist beim ersten Hinsehen bereits ein Rotstich festzustellen. Beim näheren Betrachten fällt außerdem auf, dass die Sterne keine Punkte sind, sondern etwas Strichartiges an sich haben. Dies weist wieder auf einen Fehler der Rotationsgeschwindigkeit des Teleskops hin.

Bearbeitung des Bildes mit Photoshop

Das Ziel der weiteren Bearbeitung des gestackten Bildes der Plejaden ist nun, alle oben genannten Fehler auszubessern. Zudem wird das Bild mit kleinstmöglichem Rauschen aufgehellt, um noch mehr Sterne und die Nebel besser sichtbar zu machen.

Die Bearbeitung findet mit dem Programm "Adobe Photoshop CS3" Version 10.0 statt. Das gestackte Bild wird nun als .tiff-Datei in Photoshop geöffnet. Der GradientXTerminator von

Russell Croman ist ein essenzielles Plug-In für die Bearbeitung des Fotos der Plejaden in Photoshop CS3 gewesen. Mit diesem ist es möglich, ein Bild mit einheitlicher Farbe und Helligkeit zu erstellen.

Dieses Plug-In wird verwendet, um die Vignette des Bildes zu eliminieren. Vor der Bearbeitung mit dem GradientXTerminator sieht das Bild der Plejaden wie folgt aus:

Abbildung 26: Das Bild vor und nach der Bearbeitung mit GradientXTerminator

Vor dem Beginn der Arbeit mit dem GradientXTerminator wird jedoch eine Farbton-Korrektur durchgeführt. Dafür zoomt man mit dem Lupe-Tool sehr nah an eine Stelle an der weder Stern, noch Plejadennebel, oder Vignette sind. Nun drückt man in Photoshop "Strg+L" und wählt die mittlere Pipette aus. Nun klickt man auf eine Stelle, die lediglich Dunkelheit aufweist. Photoshop gleicht nun den Farbton des Bildes an. Im Farbe-Menü sollte nun, wenn man mit dem Pipette-Instrument von Photoshop auf den Hintergrund klickt, ein gleichmäßiger Wert bei den R-G-B-Werten angezeigt werden. Nun beginnt die Bearbeitung mit dem GradientXTerminator.

Mit dem "Lasso-Tool" in Photoshop CS3 werden nun alle Sterne umrahmt, sowie auch die relevanten Sterne der Plejaden, um sowohl die Helligkeit aller Sterne, als auch die Gasnebel der Plejaden vor der Bearbeitung zu schützen. Mit der aktuellen Auswahl würde der GradientXTerminator nur auf die ausgewählten Bereiche des Bildes wirken. Daher muss man als nächstes die Auswahl umkehren. Dafür geht man so vor: Alt+A → Auswahl umkehren. Nun drückt man auf Enter und der GradientXTerminator beginnt seine Arbeit. Nach diesem Vorgang, in dem das Plug-In oben genannte Verbesserungen am Bild vornimmt, sieht das Bild schon sehr anders aus. Der rote Farbstich wurde, wie schon erläutert, beseitigt. Zudem ist sehr schön zu erkennen, wie der GradientXTerminator die Vignette an der rechten Seite bestmöglichst beseitigt hat. Da es jedoch nicht gänzlich möglich war, die Vignette zu beseitigen, wird nun der Bildausschnitt auf die hellsten Sterne, die Nebel und einen kleinen weiteren Ausschnitt reduziert, da der Fokus des Bildes sowieso nur auf den acht ausgewählten Sternen des Sternhaufen Plejaden (M45) und den sie umgebenden Gasnebeln liegen soll. Dafür verwendet man das "Freistellungswerkzeug" in Photoshop CS3 und grenzt nun das Bild so ein, dass es dem Zweck der Veranschaulichung der Plejadensterne und Nebel gut dient.

Abbildung 27: Das Bild nach der Verwendung des GradientXTerminator und der Ausschneidung

Zu sehen ist auf diesem Bild, dass nun nirgendwo mehr Farbunterschiede im Hintergrund, Vignettierung oder sonstige Störfaktoren bleiben. Die letzten Ziele sind nun die Korrektur von leicht länglichen Sternen aufgrund von Nachführfehlern, die Reduzierung der Hintergrundhelligkeit und die Erhöhung der Helligkeit der Sterne und Nebel. Im nächsten Schritt werden daher die Erhöhung der Helligkeit der Sterne und die Abrundung mit dem StarRouder folgen.

Die Bearbeitung der Bildhelligkeit wird in Photoshop mit dem "Tonwertkorrekturfenster" erledigt. Dieses öffnet sich, wenn man in Photoshop den Shortcut Strg+L ausführt.

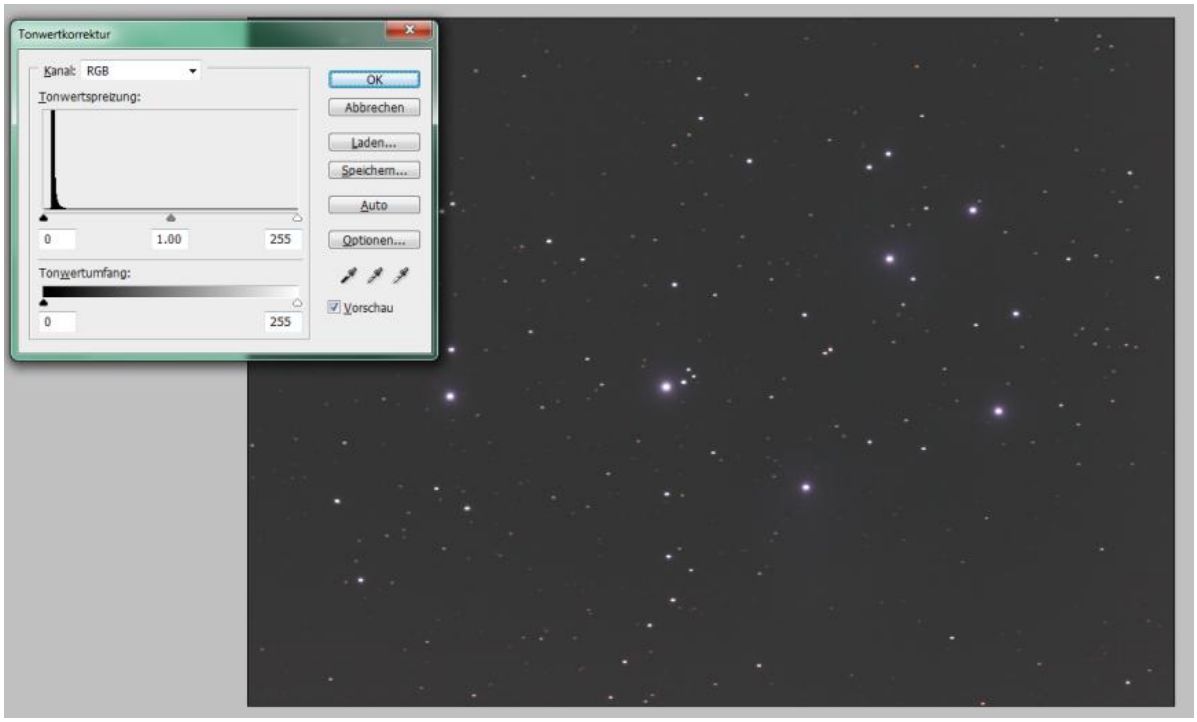


Abbildung 28: Das Tonwertkorrekturfenster I

Auf dem Histogramm ist der Tonwertumfang des Bildes zu erkennen. Das Histogramm stellt auf der y-Achse den Anteil an Nutzung der zugehörigen, auf der x-Achse angeordneten Helligkeitsbereiche dar. Der Großteil des Bildes liegt, wie man erkennen kann, im dunklen Bildbereich. Dies gilt es nun zu ändern, indem man den rechten Regler nach links verschiebt. Dadurch werden die dunkeln Teile des Bildes noch heller. Das beste Helligkeitsergebnis ergab sich, wenn der rechte Regler bis auf einen Wert von 45 verschoben wurde.

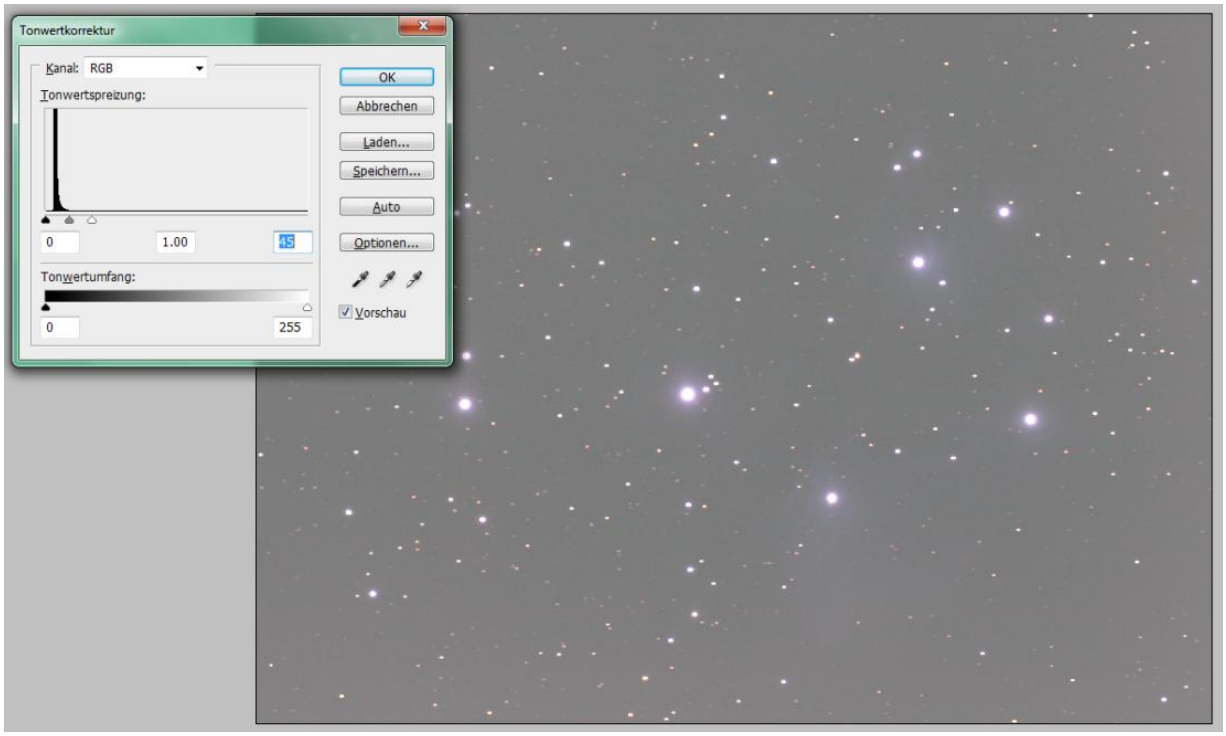


Abbildung 29: Das Tonwertkorrekturfenster II

Nach dieser Bearbeitung sind die Nebel schlussendlich wirklich gut zu erkennen. Das Bild muss nun noch einmal abgedunkelt werden, indem man den linken Regler nach rechts verschiebt, da der Helligkeitsgrad des Bildes nun wirklich hoch ist. Dadurch werden die eher dunkleren Teile des Bildes noch dunkler.

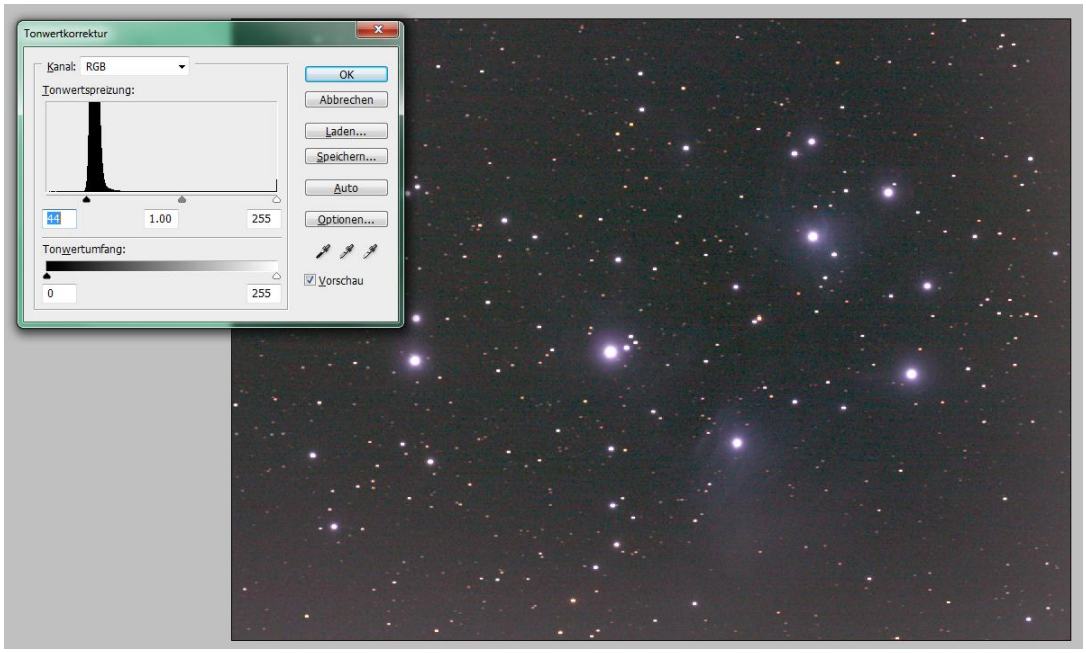


Abbildung 30: Das Tonwertkorrekturfenster III

Als nächstes gilt es, die Sterne zu runden, wofür das Plug-In Star Rounder verwendet wird. Um dieses Tool verwenden zu können, gilt es zu beachten, dass das Plug-In nicht im 32-Bit-Kanal-Modus funktioniert. Um dies zu vermeiden wird über Bild Modus der 16-Bit-Kanal für die weitere Bearbeitung des Bildes gewählt. Nun wird über Filter → AstroPlugins der StarRounder ausgewählt. Man zoomt bis auf 100% in das Bild im StarRounder-Plug-In hinein, indem man das + Feld unter dem Foto mehrfach drückt.

Abbildung 31: Bearbeitung mit Star Rounder I

In der Nahansicht ist zu erkennen, dass die Sterne auf dem Foto eine Verschiebung in Richtung der x-Achse haben. Dies ist dadurch zu begründen, dass das Teleskop durch technische Fehleinstellungen eine falsche Rotationsgeschwindigkeit hatte, da die Sterne sich während der Belichtungszeit von 15 Sekunden in dem Bildfeld bewegt haben müssen. Dieser Fehler wird nun durch Verstellen des X offset Reglers im Plug-In Star Rounder beseitigt.

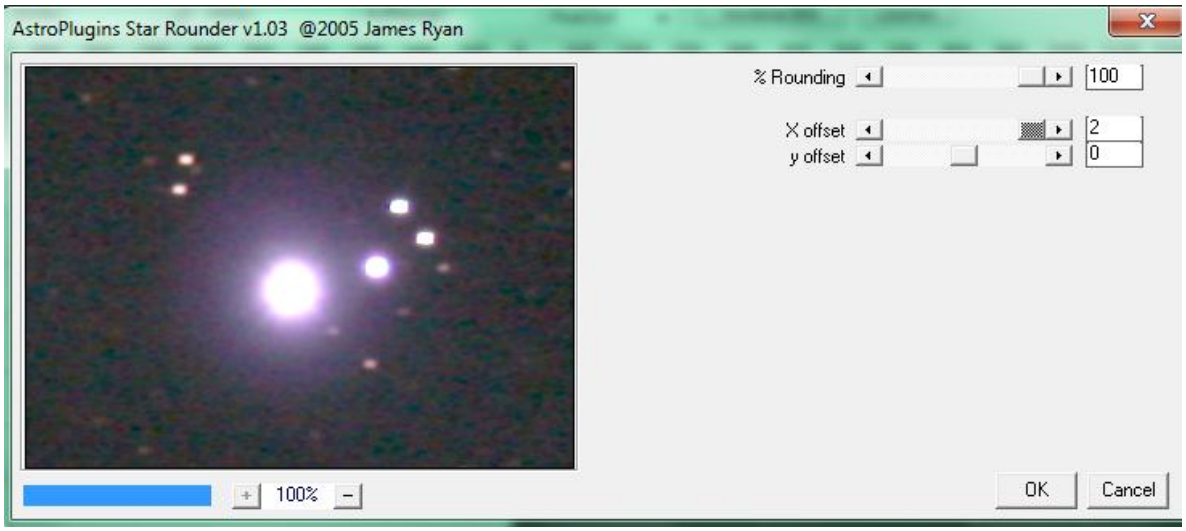


Abbildung 32: Bearbeitung mit Star Rounder II

Der maximal mögliche Ausgleich in x-Richtung im Star Rounder beträgt den Faktor 2. Dies ist allerdings noch nicht ausreichend, da die Sterne immer noch keine Punktform aufweisen. Um diese Punktform letztendlich zu erreichen, wird der StarRounder noch ein zweites Mal verwendet.

Abbildung 33: Bearbeitung mit Star Rounder III

Abbildung 34:Nach Bearbeitung mit StarRounder und Tonwertkorrektur

Nun ist nach erneuter Verwendung des StarRounders mit einem X offset Wert von 1 im linken Fenster endgültig eine runde Form der Sterne zu erkennen. Ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis, denn nach der Verbesserung des Tonwertumfangs und einer Bearbeitung mit StarRounder sieht das Bild nun schon sehr viel ansehlicher aus. Die Sterne und Nebel sind nach dieser Vielzahl an Bearbeitungsschritten viel deutlicher zu erkennen. Der letzte Schritt ist eine weitere Aufhellung, sowie eine Reduzierung des in Abbildung 10 deutlich sichtbaren Rauschens. Um das Rauschen zu reduzieren, wählt man in

Photoshop die Funktion "Rauschen reduzieren" aus. Diese ist zu finden unter Filter → Rauschfilter → Rauschen reduzieren.

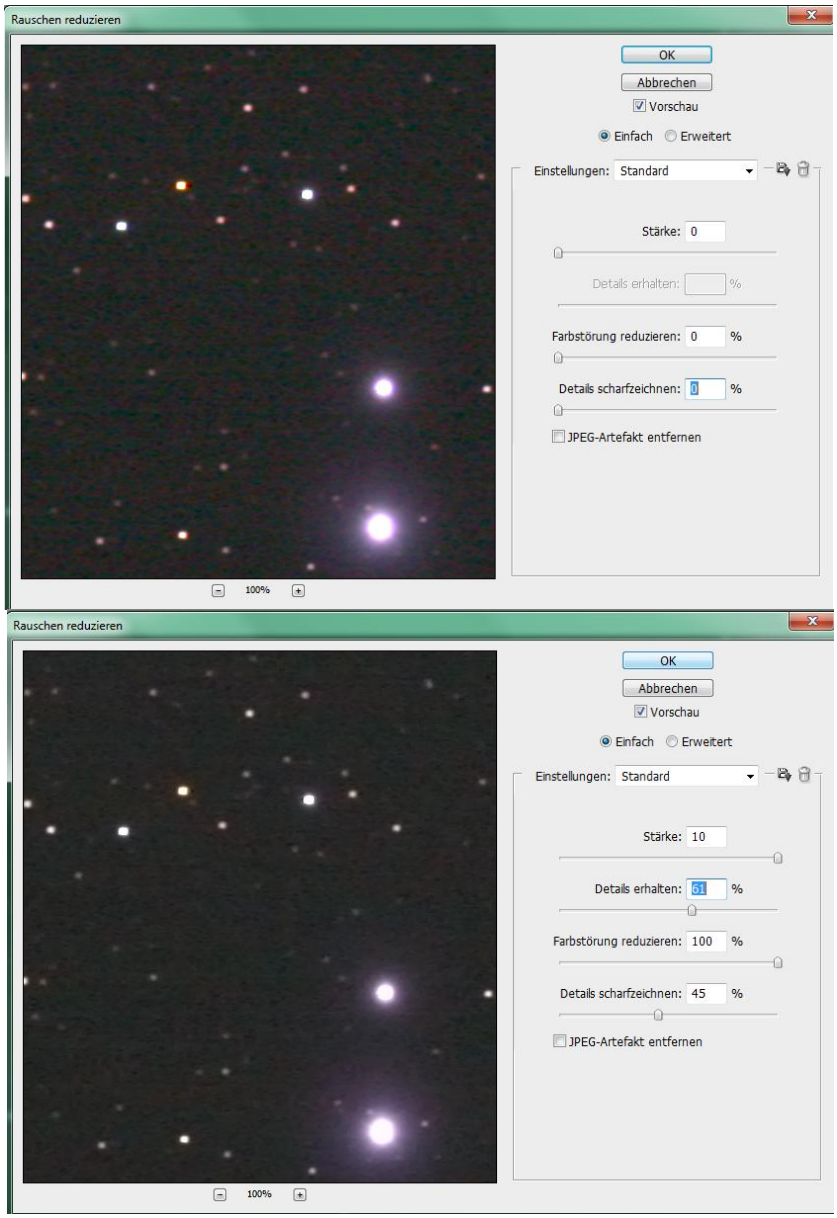


Abbildung 35: Die Rauschreduzierung

Beim Reduzieren des Rauschens gibt es verschiedene Regler, an denen man die Optimierung des Rauschverhältnisses festlegen kann: Die Stärke des Rauschfilters, den Grad der Detailerhaltung bei der Reduzierung des Rauschens, den Grad der Reduzierung der für ein Bildrauschen üblichen Farbstörung und einen Detailscharfzeichner. In Abbildung 13 ist das Bild ohne einen Rauschfilter zu sehen. Man erkennt klar, dass die roten Farbflecken, die klassisch für Bildrauschen sind zu beseitigen sind.

Die optimalen Einstellungen für den Rauschreduzierungsfilter sind in Abbildung 14 zu sehen. Die Sterne haben zwar ein wenig an Farbe verloren, allerdings ist das vorher vorhandene Rauschen fast vollständig eliminiert.

Zu guter Letzt wird das Bild noch ein Mal aufgehellt. Dies wird mit der Aktion "Aufhellen

ohne Ausbrennen" erledigt. Diese Aktion ist Teil des Aktionen-Pakets Astronomy Tools für Photoshop CS3. Einmal installiert, kann die Aktion über Fenster → Aktionen und dann auf der rechten Bildschirmseite im Akionsmenü gefunden werden.

Das Endergebnis der Bildbearbeitung ist, den Umständen der technischen Schwierigkeiten bezüglich der Teleskopgeschwindigkeit entsprechend, sehr zufriedenstellend geworden.

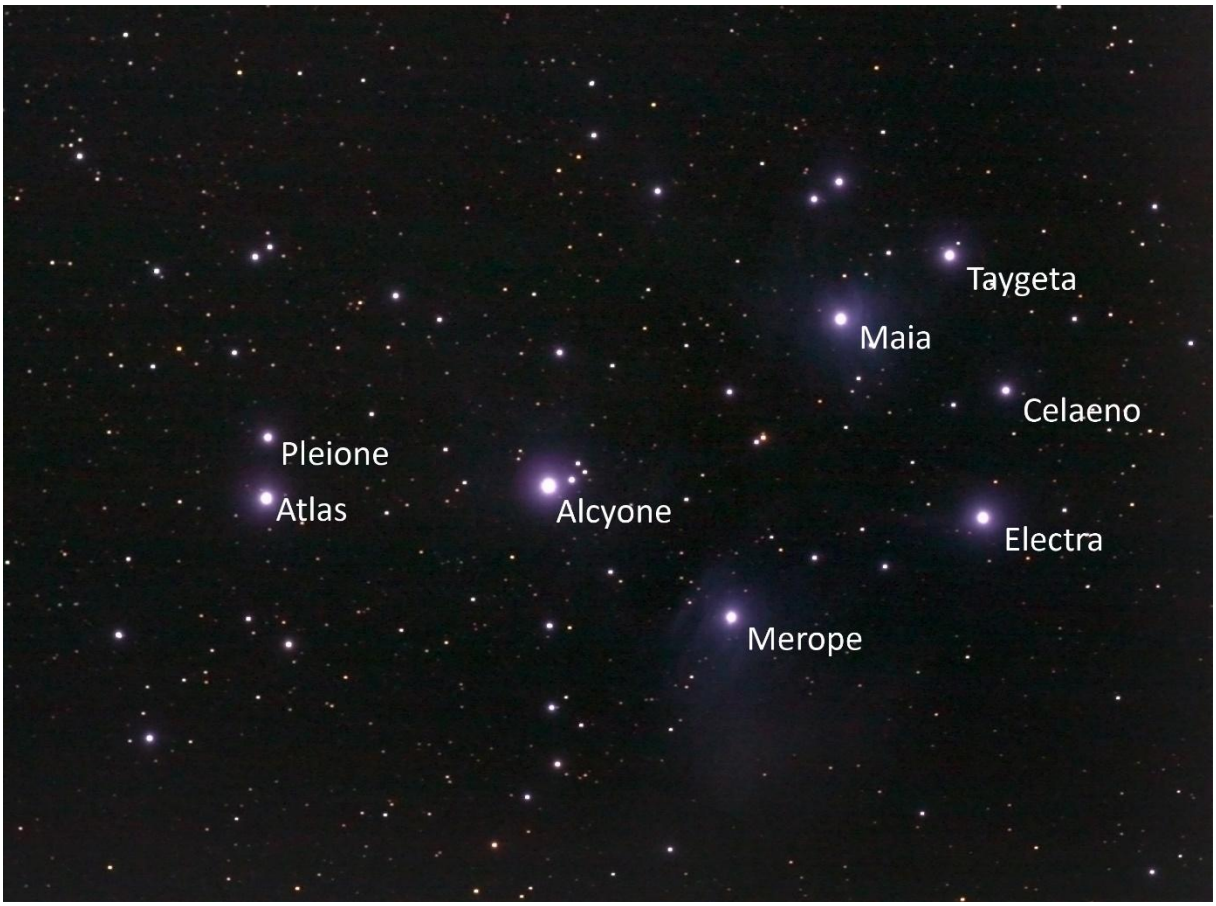


Abbildung 36: Das fertig bearbeitete Bild der Plejaden

Die gesetzten Erwartungen und Ziele, die wir uns am Anfang für die Bildbearbeitung gesetzt haben wurden allumfänglich erfüllt.

5.2 Bearbeitung der Spektren mit Fitswork und VisualSpec

Die mit dem DADOS-Spektrografen und der SBIG STF-8300M aufgenommenen Spektren der Sterne Alcyone, Atlas, Celaeno, Electra, Maia, Merope, Pleione und Taygeta gilt es nun zu bearbeiten und in eine wellenlängen- und normierte Form zu bringen. Mit der Freeware Fitswork werden die Spektren zuerst horizontal ausgerichtet. Das Bild in Fitswork zu begradigen ist sehr wichtig, um das Spektrum im Nachhinein mit der Funktion "Object binning" in Visual Spec fehlerfrei auszuwerten zu können.

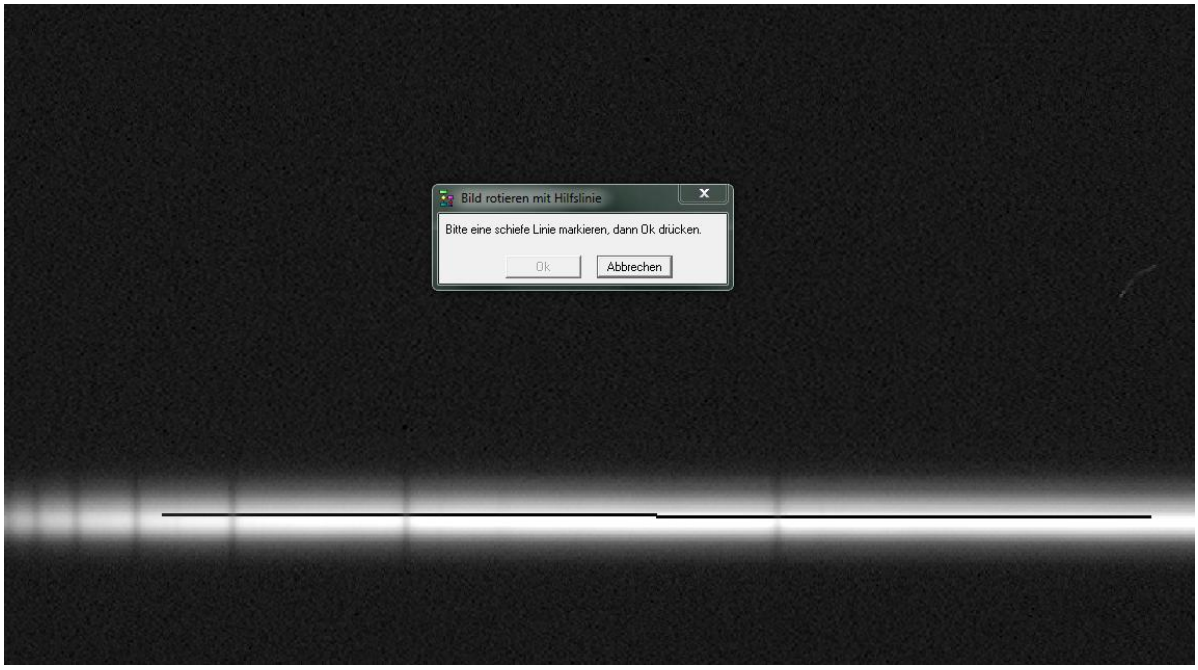


Abbildung 37: Bild rotieren mit Hilfslinie

In Fitswork ist es möglich mit der Funktion "Bild rotieren mit Hilfslinie" entlang des Spektrums eine schiefe Linie einzuzeichnen. Anhand dieser Linie wird danach die Horizontale neu ausgerichtet. Die folgende Bearbeitung der Spektren findet in Visual Spec statt. Dazu wird Visual Spec geöffnet. Zuerst legt man den Ort, am dem auf der Festplatte gearbeitet werden soll fest. Um dieses Fenster aufzurufen geht man wie folgt vor: Options → Preferences → Working Directory. Hier wird der Ort der zu ladenden und zu speichernden Bilder und Spektren eingestellt.

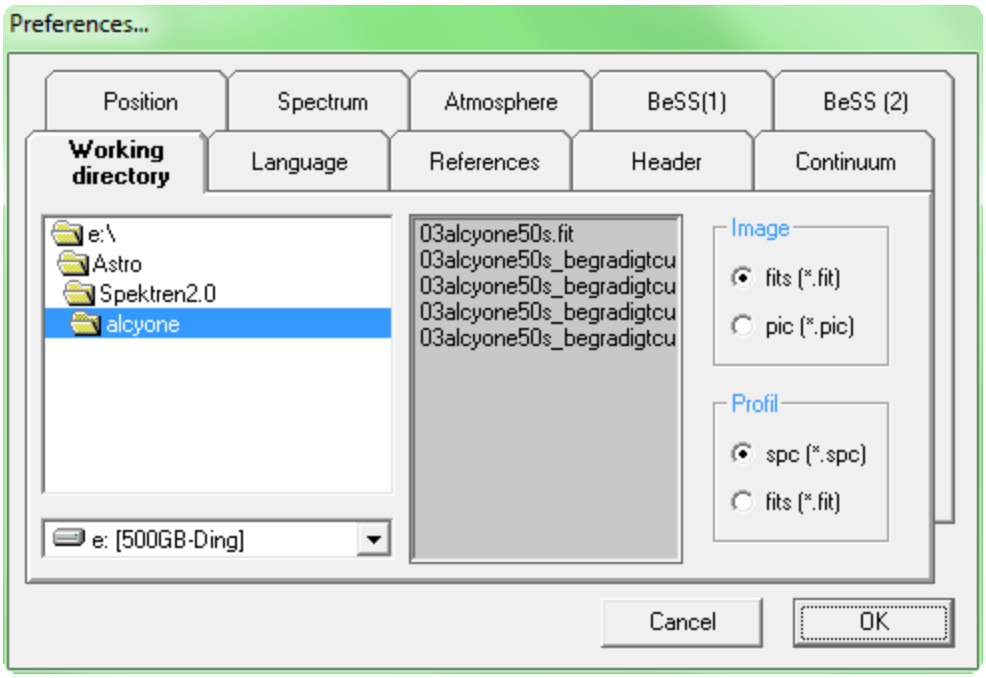


Abbildung 38: Auswahl des Arbeitsordners

Um mit der Bearbeitung zu beginnen, wird ein zurechtgeschnittenes begradigtes Spektrum geöffnet. Zu sehen ist jetzt das fotografierte Spektrum, wie es in Visual Spec geöffnet ist. Der "display reference binning zone"-Button blendet zwei rote Linien ein. Mit diesen wird das Spektrum von oben und unten eingeschränkt, um beim "object binning" nur das Spektrum und keine Störbeleuchtungen im Hintergrund in das grafisch dargestellte Spektrum zu übertragen. Mit dem "object binning"-Button werden nun die Helligkeitswerte des Spektrums zwischen den roten Linien in einen Graphen übertragen, der die Intensität der Helligkeit an der jeweligen Stelle auf die x-Achse einträgt.

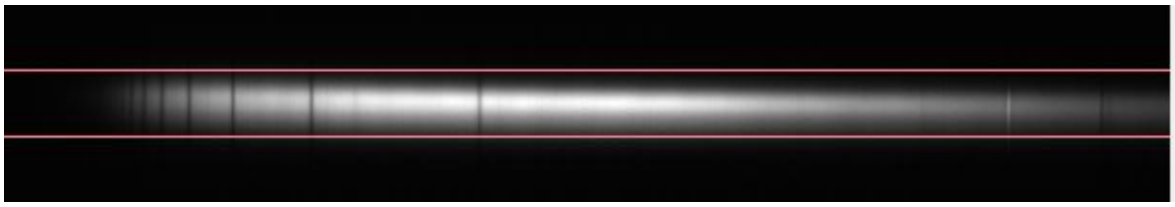


Abbildung 39: Festlegen der binning zone

Nach dem object binning sieht der schon erwähnte Graph wie folgt aus:

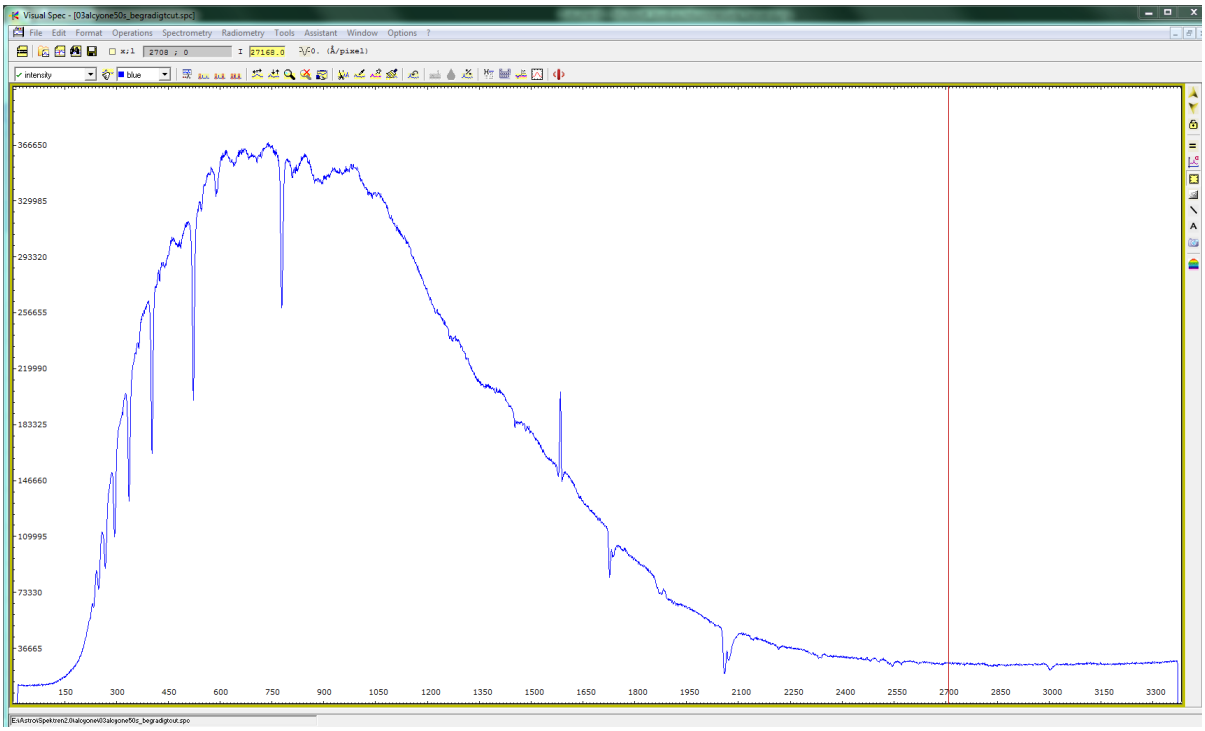


Abbildung 40: Das Spektrum nach dem object binning

Die Helligkeitsunterschiede und vor allem die Wasserstoffemissionslinien sind klar zu erkennen. Beim Rohspektrum in Abbildung 40 ist auffällig, dass die Hα-Linie eine Emissionslinie ist. Zu erklären ist das damit, dass dies das Spektrum von Alcyone ist und dieser ein Be-Stern ist. Um diese kreist eine zirkumstellare Gasscheibe, welche die Hα-Emissionslinie nach oben ausschlagen lässt.

Das erste Ziel ist nun, eine Wellenkalibrierung des Rohspektrums durchzuführen. Das heißt, dass den sichtbaren Wasserstoffemissionslinien des Spektrums die zugehörigen Ångström-Werte an der x-Achse zugeordnet werden. Mit dem Button "calibration multiple lines" wird ein Fenster geöffnet, in welchem nun die bekannten und zuordenbaren Werte der Wasserstoffemissionslinien mit den Wasserstoffemissionslinien verbunden werden können.

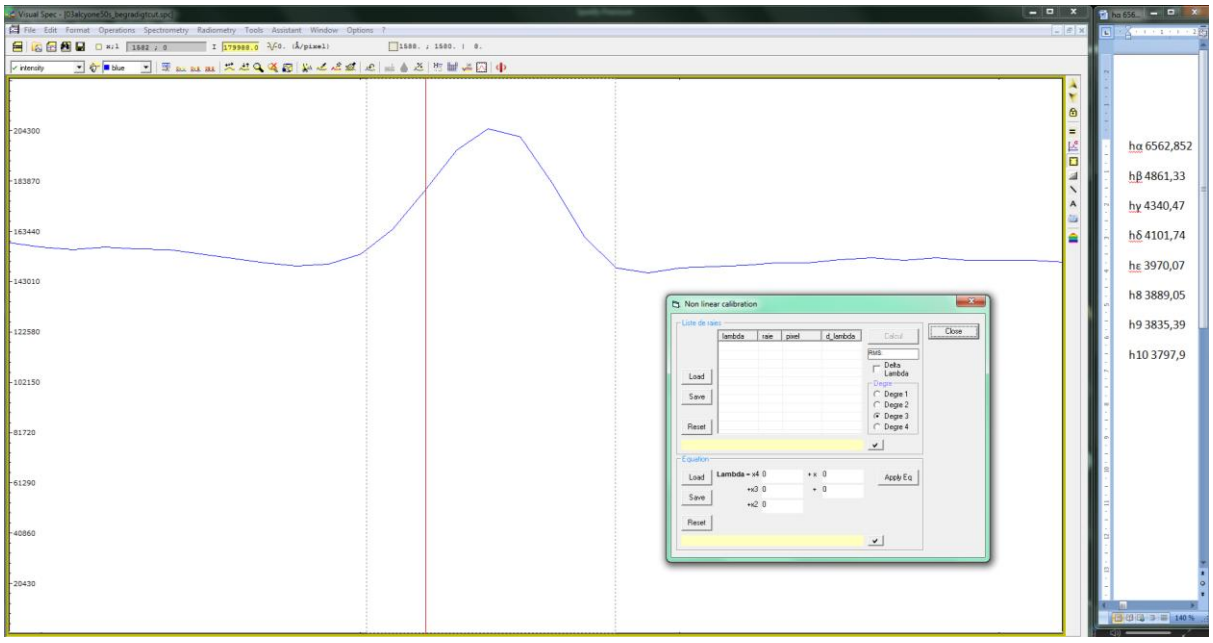


Abbildung 41: Markieren des Peaks

In Abbildung 40 ist bereits auf die Hα-Linie gezoomt worden. Mit der Maus wird der Peak links und rechts des Punktes, an welchem er beginnt, markiert. Ist die Markierung abgeschlossen, öffnet sich ein Feld, in welches die Wellenlänge der zugehörigen Emissionslinie in Ångström eingetragen wird. Mit der Enter-Taste wird die Eingabe bestätigt und in die Tabelle im "Non linear calibration" Fenster übernommen. Dies wird für möglichst viele weitere Linien wiederholt. Im Optimalfall können alle im Word-Dokument in Abbildung 40 angegebenen Wellenlängen den Emissionslinien zugeordnet werden. Vollständig ausgefüllt sieht diese Tabelle dann wie in Abbildung 41 aus. Daraufhin wird durch Betätigen der Calcul-Taste im Fenster das Spektrum wellenlägenkalibriert. Der RMS-Wert gibt dann eine Information über die Wertigkeit von Aufnahme und Eingabe. Umso niedriger der RMS-Wert, umso geringer sind die Abweichungen der markierten Stellen und der zugeordneten Ångström-Werte. Der RMS-Wert dieser Messung ist hervorragend.

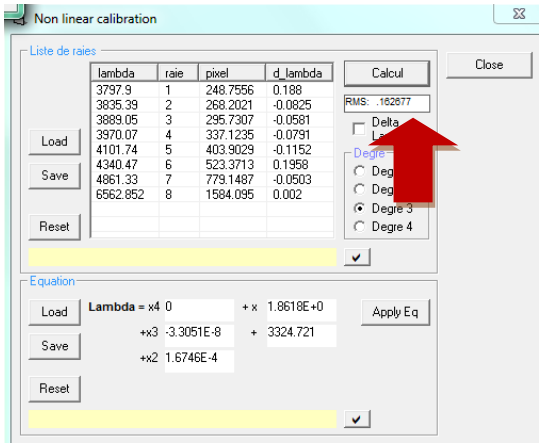


Abbildung 42: Die ausgefüllte Kalibrierungstabelle (Rot markiert= RMS-Wert)

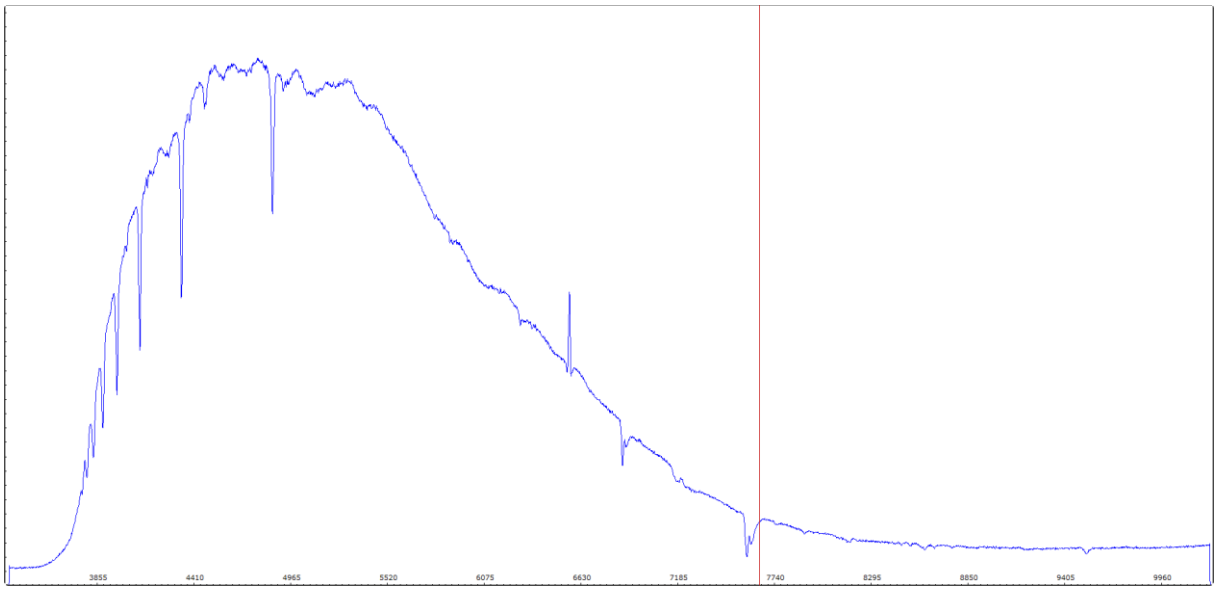


Abbildung 43: Das wellenlängenkalibrierte Spektrum

Beim wellenlängenkalibrierten Spektrum sind auf der x-Achse bereits die Ångström-Werte zu erkennen. Allerdings ist das Spektrum noch nicht in der Form, in der es gewünscht wird.

Deshalb folgt nach kurzem Abspeichern als wellenlängenkalibrierte Funktion der nächste Schritt zum Erreichen der gewünschten Form des Sternspektrums. Jetzt gilt es, ein Pseudokontinuum zu erstellen und das wellenlängenkalibrierte Spektrum durch dieses zu teilen, um das normierte Spektrum zu erhalten. An das wellenlängenkalibrierte Spektrum wird der Spline Filter so angelegt, dass er die Form der Kurve beschreibt, er jedoch ohne die Emissionslinien verläuft.

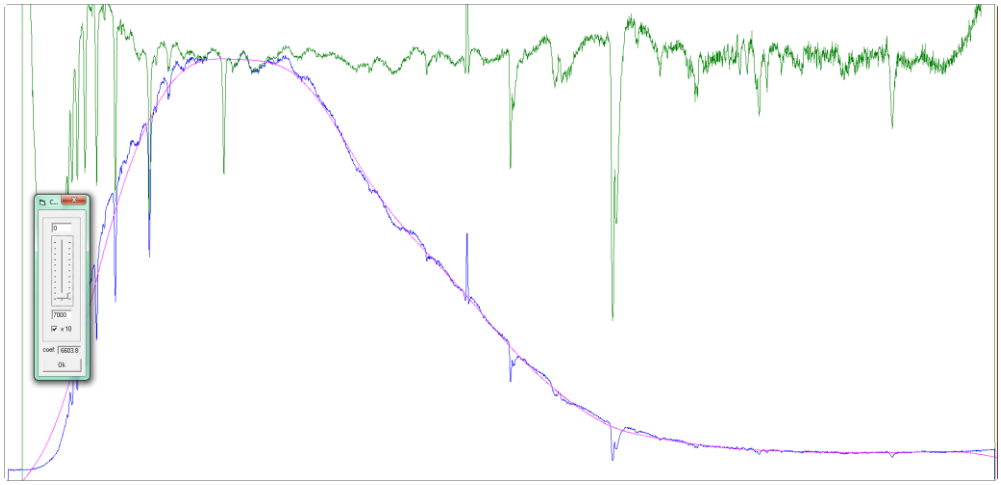


Abbildung 44: Verwendung des Spline Filters am Rohprofil

Die Grafik wird jetzt gelöscht über den Button . Daraufhin wird über das Feld links von diesem Button die Sp. Intensity Kurve aufgerufen und über Edit → Replace → Intensity als neuer Graph festgelegt. Sie wird nun als das Pseudokontinuum gespeichert.

Jetzt wird die wellenlängenkalibrierte Funktion durch das Pseudokontinuum dividiert. Zuerst wird die wellenlängenkalibrierte Funktion geöffnet. Danach geht man über Operations → Divide profile by a profile und wählt das Pseudokontinuum als Divisor aus. Das ergebnis ist das normierte Spektrum. Jetzt wird zuletzt noch ein Ausschnitt des Spektrums ohne Ausschläge ausgewählt und mit dem Button auf 1 normiert, um die Ausschläge miteinander vergleichbar machen zu können.

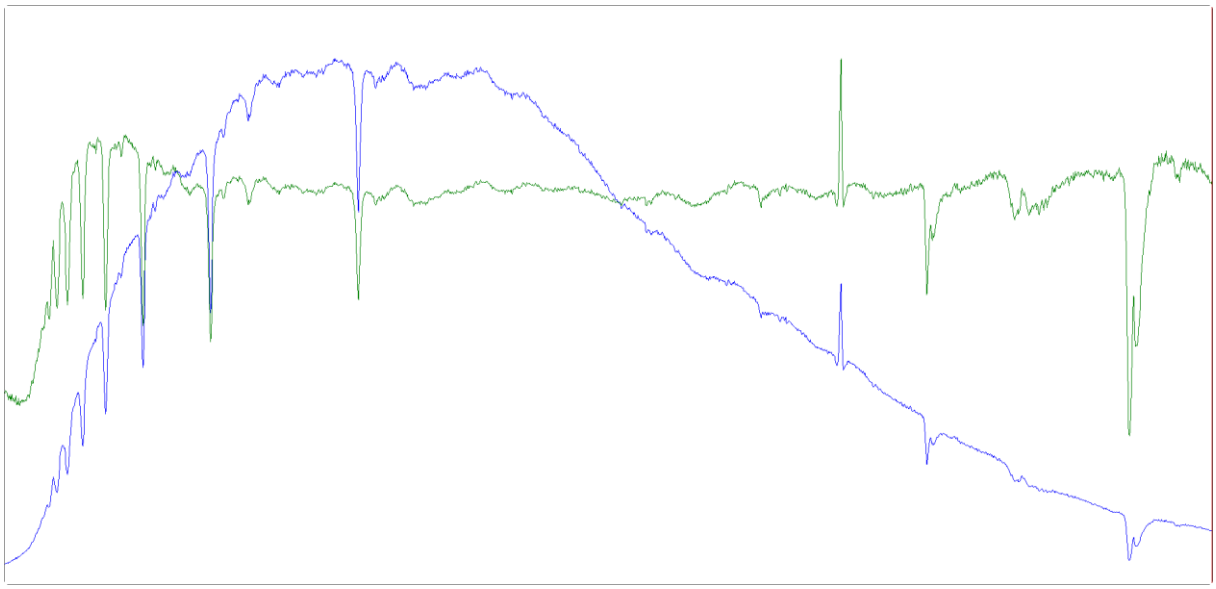


Abbildung 45: Nach der Division durch das Pseudokontinuum wird das wellenlängenkalibrierte (blau) zum normierten Spektrum (grün)

5.3 Visualisierung der Spektren

Ein Spektrum kann verständlicher dargestellt werden, indem die Wellenlängen aus dem Graphen in die zugehörigen Farbwerte umgeformt und die an der y-Achse ablesbare Intensität in einen Helligkeitswert des Farbtons übersetzt wird.

Dies findet in Visual Spec über Tools → Synthesis → Rechtsklick auf das eingeblendete Farbspektrum → Colorer statt.

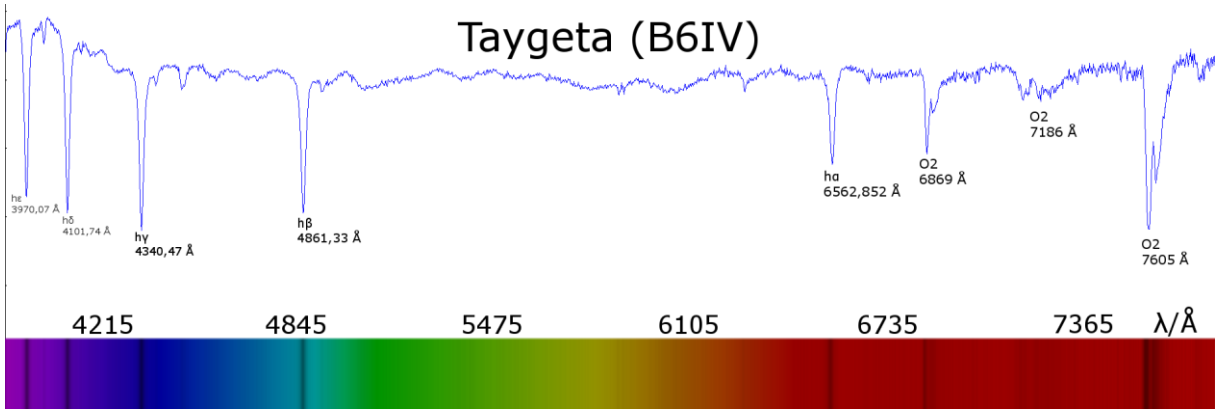


Abbildung 46: Das visualisierte Spektrum von Taygeta

Weiterhin gab es noch 7 weitere Sterne, die zu spektroskopieren waren. Auf deren Spektren sind die gleichen Emissionslinien erkennbar, wie auch bei Alcyone - Die Wasserstoffemissionslinien.

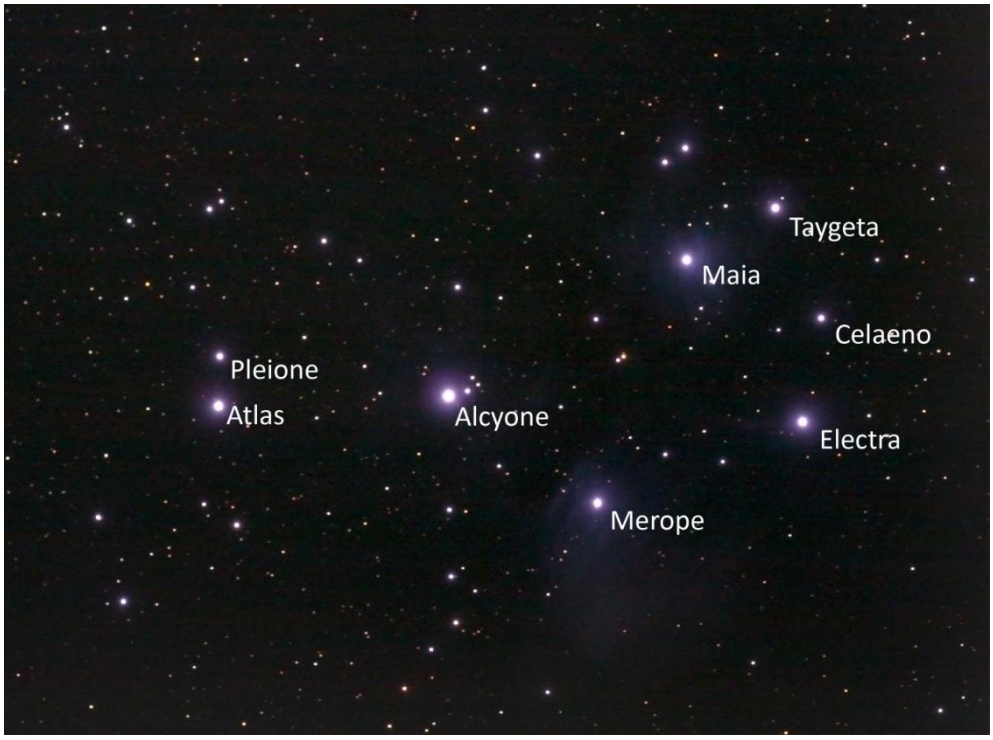


Abbildung 47: Alle zu spektroskopierenden Sterne

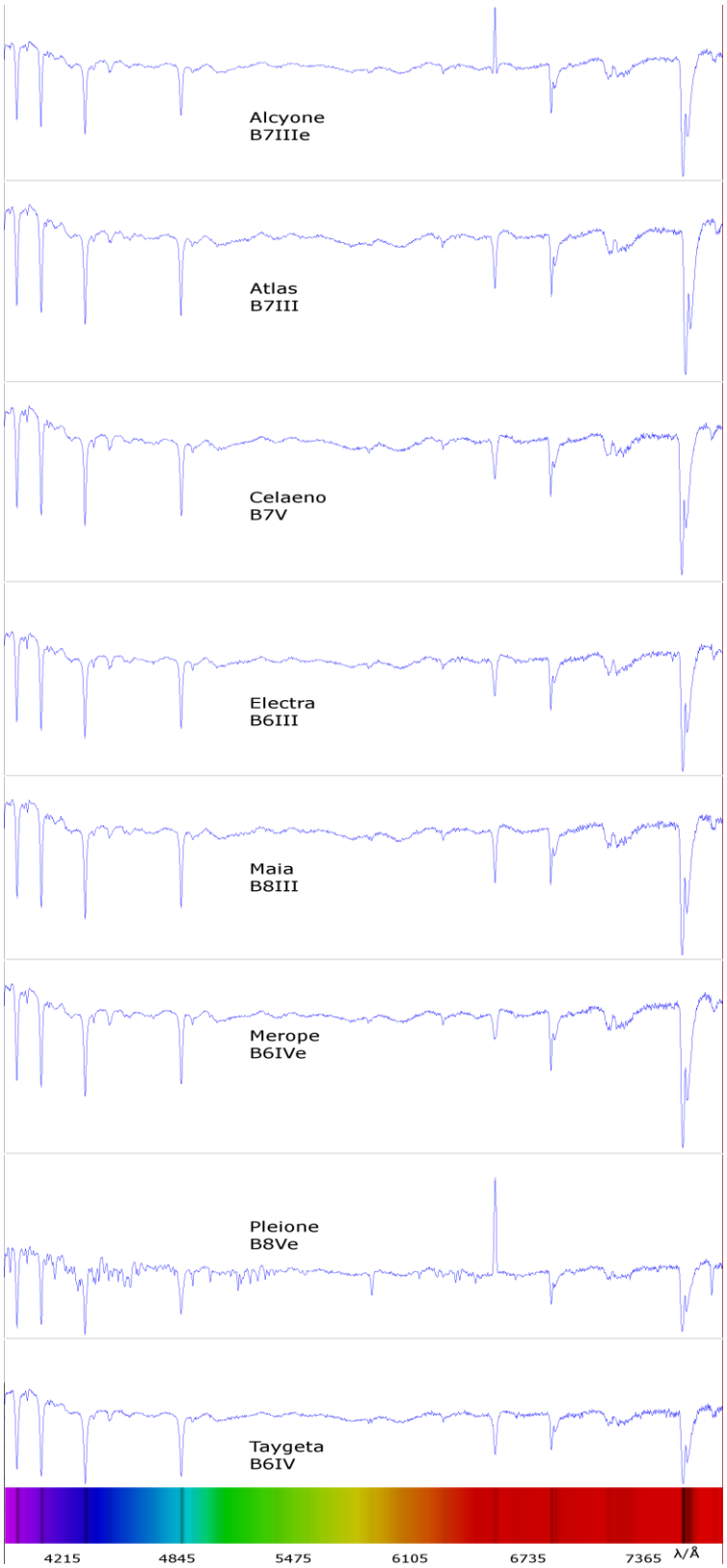


Abbildung 48: Alle 8 nach der Anleitung aus 5.2 bearbeiteten Spektren

5.4 Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit der zirkumstellaren Scheibe um die Be-Sterne Alcyone und Pleione

Be-Sterne sind der Spektralklasse B zuzuordnen. Das Suffix *e* gibt Auskunft darüber, dass das Spektrum Emissionslinien enthält. Beim Betrachten des Spektrums des Sterns Alcyone findet man die Emissionslinie bei der Hα-Linie auf. Diese Emissionslinie wird durch ein Phänomen verursacht, welches zirkumstellare Scheibe genannt wird. Diese Scheibe aus Gas rotiert in der Äquatoreben um den Stern. Das Ziel ist nun also die Rotationsgeschwindigkeit der Wasserstoffscheibe um Alcyone zu berechnen.

Hierzu wird eine Formel von Reinhard W. Hanuschik benutzt, die der Rotationsgeschwindigkeit der Gasscheibe eine lineare Abhängigkeit vom FWMH-Wert zuschreibt. $v \sin i = \frac{FWMHkorr - 50\frac{km}{s}}{1{,}4}$ [29]

Der FWMH-Wert beschreibt die Linienbreite auf halber Höhe der Maximalintensität der Emissionslinie. Das Spektrum wird dazu in Visual Spec geöffnet und die Emissionslinie markiert.

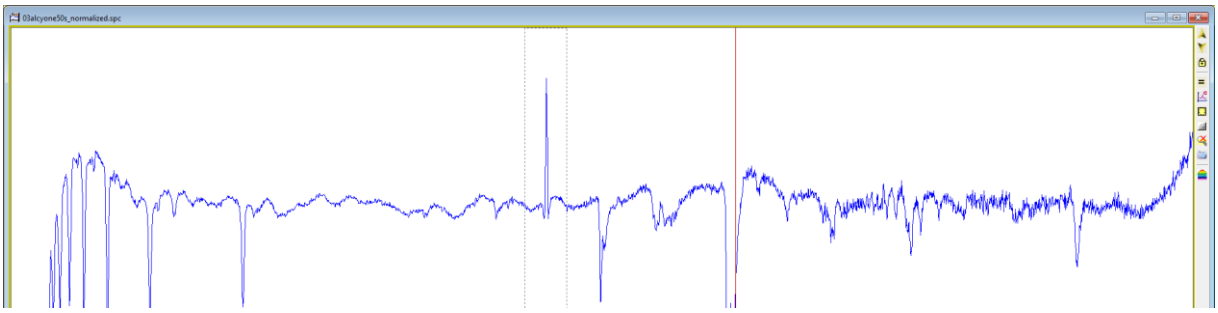


Abbildung 49: Markieren der Emissionslinie

[29] Beitrag zur Spektroskopie S.78 (Richard Walker)

Nun wird dieser Bereich vergrößert

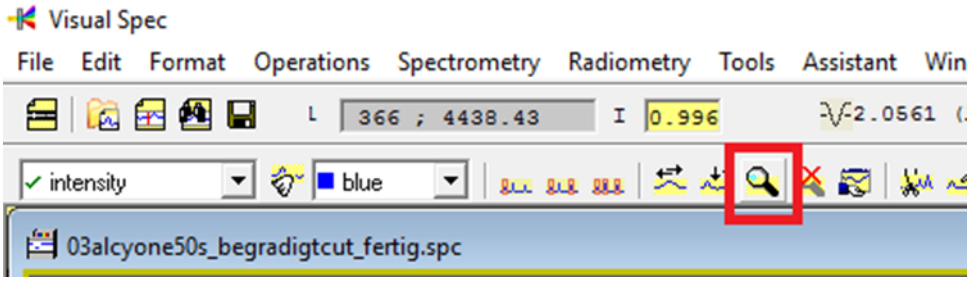


Abbildung 50: Vergrößern des Spektrums

und der FWMH-Wert über „Rechtsklick“ -> „computation“ ausgelesen.

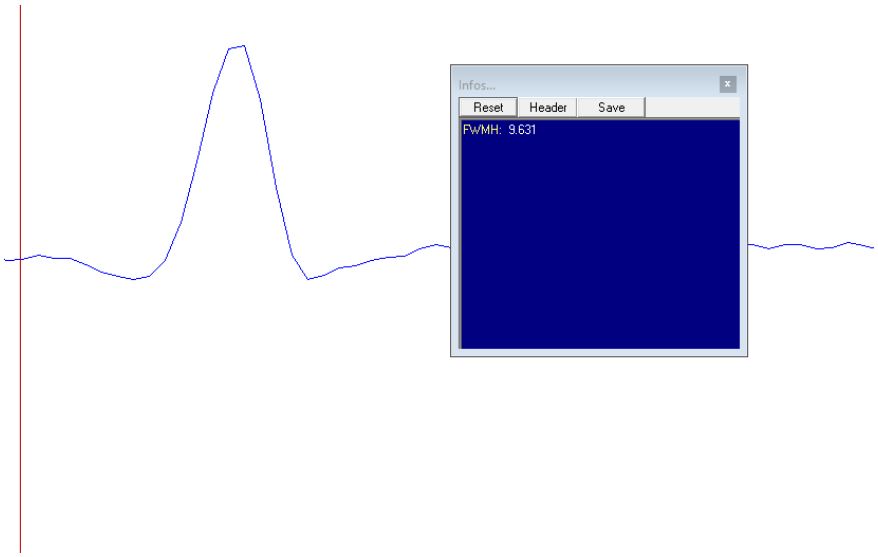


Abbildung 51: Ablesen des FWMH-Wertes

In Abbildung 52 lässt sich ein Wert von 9,631 ablesen.

Um einen korrekten FWMH-Wert zu erhalten zieht man von dem gemessenen FWMH-Wert nun noch den Instrumentenwert ab. Dazu nutzt man die Formel

FWMHkorr = $\sqrt{FWMHgem^2 - FWMHins^2}$ [30]

[30] Beitrag zur Spektroskopie S.23 (Richard Wagner)

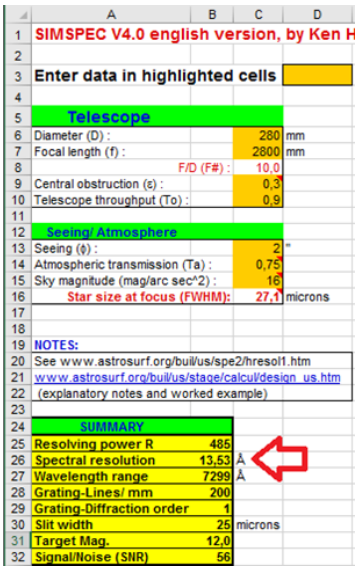
Den Instrumentenwert erhält man entweder aus dem Auflösungsvermögen des Spektrografen oder aus dem FWMH-Wert der schmalsten Linie im Spektrum.

Da der Instrumentenwert nach dem abgebildeten Berechnungsblatt aber über dem gemessenen liegt und die Wurzel damit negativ ist, wird die zweite Methode benutzt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	SIMSPEC V4.0 english version, by Ken Harrison , original version by Christian Buil									Latest Revision:	Apr 12			
2														
3	Enter data in highlighted cells													
4														
5	Telescope					Spectrograph				Camera				
6	Diameter (D) :		280	mm		Collimator				pixel sizel (p) :	5,4	microns		
7	Focal length (f) :		2800	mm		Collimator-Focal length (f1) :	80	mm		number of X pixels(Nx) :	3372			
8	F/D (F#) :		10,0			Collimator-Required Focal ratio (Fc):	10,0			quantum efficiency (η) :	54	%		
9	Central obstruction (ε) :		0,3			Collimator-Minimum diameter (d1) :	8,0	mm		Read noise (RON) :	7	e-/pixel		
10	Telescope throughput (To) :		0,9			Resolution of Collimation lens-FWHMo :	15	microns		Dark noise (Nd) :	0,1	e-/s/pixel		
11						Camera				Binning, X axis (fx) :	1			
12	Seeing/ Atmosphere					Camera-Focal length (f2) :	96	mm		Binning, Y axis (fy) :	1			
13	Seeing (ϕ) :		2	"		Camera-Distance to grating (T) :	140	mm		Sampling Factor :	6,25			
14	Atmospheric transmission (Ta) :		0,75			Camera-Minimum lens diameter (d'2) :	36,2	mm		Exposure				
15	Sky magnitude (mag/arc sec^2) :		16			Camera-Maximum focal ratio (Fo) :	2,7			Subs, exposure time (ts) :	300	secs		
16	Star size at focus (FWHM):		27,1	microns		Resolution of Camera lens-FWHMc :	15	microns		number of subframes (n) :	12			
17										Total exposure time (t):	3600	secs		
18						Collimator/Camera -Total angle (γ) :	90	°		Spectrum size/ spread				
19	NOTES:					Slit width (w) :	25	microns		Height of Spectrum (n) :	12	pixel		
20	See www.astrosurf.org/buil/us/spe2/hresol1.htm					Grating								
21	www.astrosurf.org/buil/us/stage/calcul/design_us.htm					Grating-Lines/ mm (n) :	200			Target Star				
22	(explanatory notes and worked example)					Grating-Diffraction order (k) :	1			Magnitude (m) :	12			
23						Grating- Minimum height (H) :	8,0	mm		Effective temperature (Te) :	10800	K		
24	SUMMARY					Grating- Minimum width (W) :	12,5	mm		Bolometric Correction (BC) :	-0,4			
25	Resolving power R	485				Dispersion (p) :	2,16	Å/ pixel		SNR				
26	Spectral resolution	13,53	Å			Resolving power (R) :	485			Signal/Noise (SNR) :	56			
27	Wavelength range	7299	Å			Spectral resolution (Δλ) :	13,53	Å		Limiting Mag				
28	Grating-Lines/ mm	200				Dispersion (r) :	40,1	nm/mm		Limiting Mag.(Bowen-mod):	15,25			
29	Grating-Diffraction order	1				Wavelength Range								
30	Slit width	25	microns			Reference wavelength (λ0) :	6563	Å						
31	Target Mag.	12,0				Lambda min. (λ1) :	2913	Å						
32	Signal/Noise (SNR)	56				Lambda max. (λ2) :	10213	Å						
33						Wavelength range/ image frame:	7299	Å		SNR Calculations				
34										Number of photons (E) :	1,16E-02	photons/cm2/s/Å		
35	Other Results			°		Throughput efficiency				Sky background(Ed) :	2,92E-04	photons/cm2/s/Å/ arc sec		
36	Angle of incidence (α) :		50,33	°		Transmission efficiency- guide system:	1			Final Efficiency (R) :	0,12	%		
37	Angle of diffraction (β) :		-39,67			Transmission efficiency -Littrow mirror:	1			Useful signal (Nm) :	6666	e-/pixel		
38	Anamorphic factor (r) :		0,83	microns		Transmission efficiency-Collimator lens (To) :	0,92			Background noise (Ns) :	102	e-/pixel		
39	diffraction limit grating, FWHMd :		6,53	microns		Transmission efficiency-Camera lens (Tc) :	0,92			Noise(σ) :	119	e-		
40	Slit/ image width on CCD, FWHMt :		33,75			Transmission efficiency-Grating (Tg) :	0,6			Signal/Noise by interval Δλ :	140	e-/pixel		
41						Entrance slit transmission(Tf):	0,71			Noise from Signal :	82			
42						Total Transmission of Spectrograph (Ts) :	0,36			Noise from Electronics :	84	e-/pixel		
43														
44														

Abbildung 52: DADOS-Berechnungsblatt[31]

[31] http://www.iceinspace.com.au/forum/showthread.php?t=89777



	A	B	C	D
1	SIMSPEC V4.0 english version, by Ken H			
2				
3	Enter data in highlighted cells			
4				
5	Telescope			
6	Diameter (D) :		280	mm
7	Focal length (f) :		2800	mm
8		F/D (F#) :	10,0	
9	Central obstruction (ε) :		0,3	
10	Telescope throughput (To) :		0,9	
11				
12	Seeing/ Atmosphere			
13	Seeing (ϕ) :		2	"
14	Atmospheric transmission (Ta) :		0,75	
15	Sky magnitude (mag/arc sec^2) :		16	
16	Star size at focus (FWHM):		27,1	microns
17				
18				
19	NOTES:			
20	See www.astrosurf.org/buil/us/spe2/hresol1.htm			
21	www.astrosurf.org/buil/us/stage/calcul/design_us.htm			
22	(explanatory notes and worked example)			
23				
24	SUMMARY			
25	Resolving power R	485		
26	Spectral resolution	13,53	Å	
27	Wavelength range	7299	Å	
28	Grating-Lines/ mm	200		
29	Grating-Diffraction order	1		
30	Slit width	25	microns	
31	Target Mag.	12,0		
32	Signal/Noise (SNR)	56		

Abbildung 53: Spektralauflösung[32]

Hierzu wird erneut das Spektrum von Alcyone betrachtet. Da die beiden Natriumlinien nur 6 Ångström auseinanderliegen, wird dies als Auflösung, bzw. Instrumentenbreite genommen.

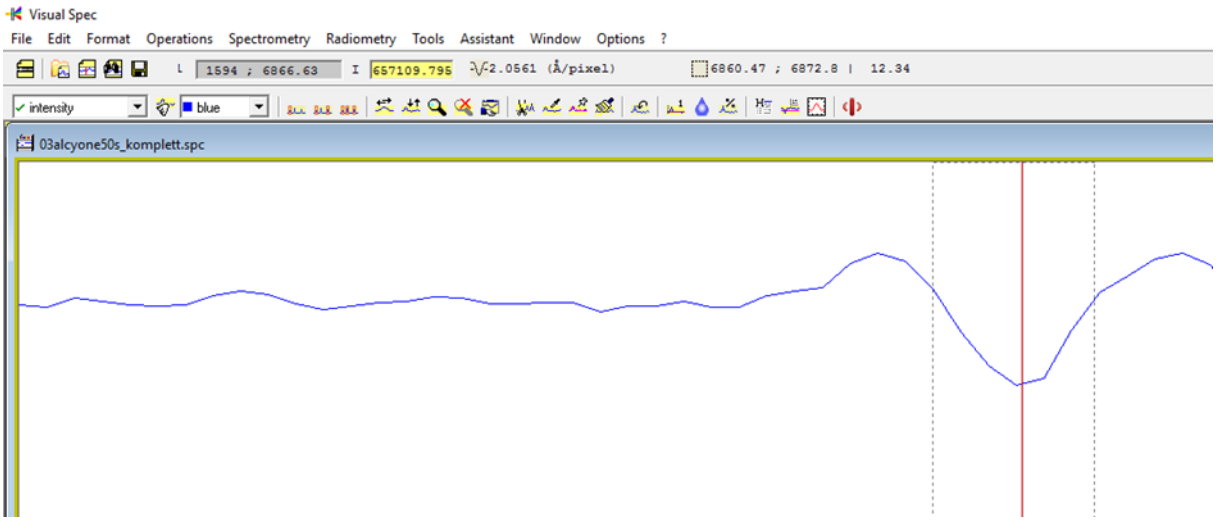


Abbildung 54: Markieren der dünnsten Linie

Nach dem Einsetzen in die Formel ergibt sich nun FWMHkorr = 7,53 Ångström.

Nun lässt sich aus v = FMWH * c/λ der Geschwindigkeitswert berechnen.

[32] http://www.iceinspace.com.au/forum/showthread.php?t=89777

Dieser beträgt v = 344,21

Diesen Wert kann man jetzt in die Formel von Hanuschik einsetzen.

v sin i = $\frac{344{,}21\frac{km}{s}-50\frac{km}{s}}{1{,}4}$ = 210,15 km/s (Literaturwert: 149 km/s[33])

Diese Berechnung wird jetzt noch für das Spektrum von Pleione durchgeführt.

Hier wird ein FWMH-Wert von 13,33 Ångström gemessen. Da auch dieser Wert nicht über dem Auflösungsvermögen des DADOS liegt, muss wieder nach der dünsten Linie gesucht werden. Man nimmt wieder die Natriumlinie mit 6 Ångström. Daraus ergibt sich ein FWMHkorr-Wert von7,33 Ångström, bzw. v = 335,07 km/s

Eingesetzt in die Formel von Hanuschik:

v sin i = $\frac{335{,}07\frac{km}{s}-50\frac{km}{s}}{1{,}4}$ = 203,62km/s (Literaturwert: 329 km/s[34])

Wie man sieht weichen die gemessenen Werte recht stark von den Literaturwerten ab.

Tobias Guthoff und Jan Martin Müller haben in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2013 auch die Rotationsgeschwindigkeit von Alcyone berechnet. Sie nutzten hierfür den Lhires III Spektrografen, der eine höhere Auflösung als der DADOS-Spektrograf besitzt. Damit erhielten sie Werte von 65,17 bzw. 81,20 km/s, je nach Berechnungsmethode.

Es stellt sich also heraus, dass Abweichungen auch mit einem höher auflösenden Spektrografen möglich sind, jedoch ein niedrig auflösender nur unwahrscheinlich verlässliche Werte liefern kann, aus denen sich korrekte Ergebnisse berechnen lassen. Jedoch ist es bereits ein Erfolg, dass die Werte ungefähr im Bereich der Literaturwerte liegen.

[33] https://en.wikipedia.org/wiki/Alcyone_(star)

[34] https://en.wikipedia.org/wiki/Pleione_(star)

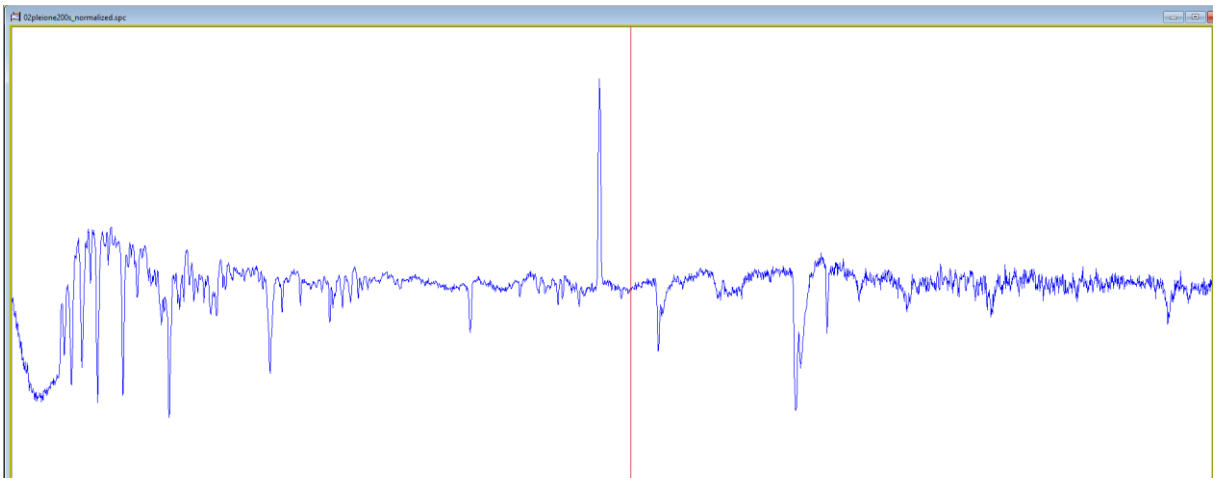


Abbildung 55: Spektrum von Pleione

Das abweichende Ergebnis bei Pleione lässt sich zudem dadurch erklären, dass das Spektrum im Vergleich zu anderen Spektren, vermutlich durch Störungen beim Aufnehmen, eine niedrigere Qualität besitzt.

6. Anhang

6.1 Quellenverzeichnis

2.1 Sternentstehung:

http://www.physik.wissenstexte.de/sterne.htm

2.2 Offene Sternhaufen:

http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/t_sternh.htm

https://de.wikipedia.org/wiki/Offener_Sternhaufen

2.3 Spektroskopie:

https://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Jakob_Balmer

https://de.wikipedia.org/wiki/Balmer-Serie

https://de.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferlinie

Abbildung 7:

https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrsches_Atommodell#/media/File:Bohr-atom-PAR.svg

Sofern nicht anders gekennzeichnet, sind alle Informationen und Bilder dieses Unterthemas den Kursunterlagen des Sternspektroskopiekurses von Michael Winkhaus am 10.09.2016 entnommen.

3.1 Canon EOS 450D

http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf

https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor

Abbildung 8:
https://de.wikipedia.org/wiki/Canon_EOS_450D#/media/File:Canon_EOS_450D_Xsi.JPG

Abbildung 9:
http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf

Abbildung 10:
http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie%20mit%20der%20EOS%20450D%20%28Grundkurs%29.pdf

Abbildung 11:
https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor#/media/File:Bayer_matrix.svg

3.2 SBIG STF-8300M

http://www.sbig.de/stf-8300/stf-8300.htm

3.3 TIS DMK41AU02

Abbildung 13:
http://s2.www.astronomycameras.com/img/pph/xxl/dmk41au02as.jpg
https://www.theimagingsource.de/produkte/industriekameras/usb-2.0-monochrom/dmk41au02/

3.4 DADOS-Spektrograf

https://www.lehrer-online.de/artikel/seite/fa/dados-spaltspektrograph/aufbau-und-funktionsweise-des-dados/

Abbildung 15:
http://www.baader-planetarium.de/dados/download/tutorial-dados-d.pdf

Abbildung 18:
http://www.baader-planetarium.de/dados/download/tutorial-dados-d.pdf

3.5 Celestron 11 EdgeHD

http://www.celestron.com/browse-shop/astronomy/optical-tubes/edgehd-11-optical-tube-assembly

https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Cassegrain-Teleskop

Abbildung 19:

https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Cassegrain-Teleskop#/media/File:Schmidt-Cassegrain.png

5.4 Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit der zirkumstellaren Scheiben der Be-Sterne Alcyone und Pleione

„Beitrag zur Spektroskopie“ S. 23 und 78 (Richard Walker)

Abbildung 52:

http://www.iceinspace.com.au/forum/showthread.php?t=89777

Abbildung 53:

http://www.iceinspace.com.au/forum/showthread.php?t=89777

6.2 Ausblick

In der Zukunft werden wir uns weiterhin mit dem Thema Plejaden beschäftigen. Außerdem noch mit weiteren Be-Sternen, um sie mit Alcyone und Pleione zu vergleichen.

Der Fokus wird dann nächstes Jahr in unserer „Besonderen Lernleistung“ stark auf dem Spektroskopieren liegt. Im genauen heißt das, dass wir Alcyone und Pleione zunächst mit einem feineren Gitter spektroskopieren. Dadurch werden wir schärfere Aufnahmen erhalten und können die Rotationsgeschwindigkeit so genauer bestimmen. Zudem werden wir diese Messungen und Berechnungen auch für weitere Be-Sterne durchführen, um diese dann mit den Plejaden zu vergleichen.

6.3 Danksagung

Zuerst wollen wir uns bei Bernd Koch dafür bedanken, dass er uns während des Projektkurses und der Forschung an den Plejaden Vieles beigebracht hat und uns bei Fragen Rat gab.

Zudem wollen wir uns bei Konstantinos Kisseoglou bedanken, der uns sowohl bei den Aufnahmen, als auch der Spektroskopie mit seiner Erfahrung zur Seite stand.

6.4 Abschlusserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die, von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben.

Wir sind damit einverstanden, dass die, von uns verfasste Verschriftlichung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

X _____ X _____

Marius Janowski Philip Kobusch

Marius Janowski, Philip Kobusch – Wuppertal, den 01.06.2017