

Spektroskopische Untersuchung des Orionnebels (M42)

Axel Könekamp

Resedastraße 42

42369 Wuppertal

axel.koenekamp@gmail.com

0202 / 4660479

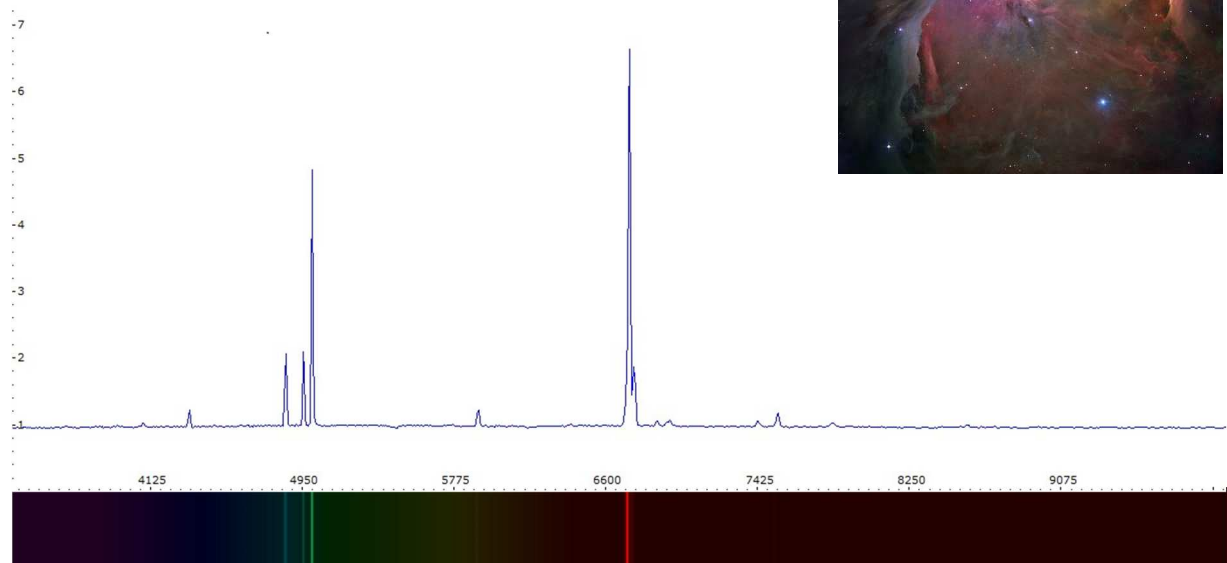
Moritz Urban

Freyastraße 6

42117 Wuppertal

moritz.justus.ewald.urban@gmail.com

0202 / 664602



Carl-Fuhlrott-Gymnasium

Jung-Stilling-Weg 45, 42349 Wuppertal

Jahrgangsstufe Q1, Schuljahr 2015/2016

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie

Projektleiter: Bernd Koch

Abgabedatum: 01.06.2016

Inhalt

1.	Einleitung	4
2.	Themenwahl	5
3.	Theorie über den Orionnebel.....	6
3.1	Orion-Nebel	6
3.1.1	Kurzfakten:.....	6
3.1.2	Emissionsnebel.....	6
3.1.3	Beobachtung des Orionnebels.....	7
3.1.4	Entdeckung des Orionnebels.....	8
3.1.5	Sternentstehung im Orionnebel.....	8
3.2	Trapez (Astronomisch) – Theta Orionis:.....	10
4.	Spektroskopie	11
4.1	Theorie.....	11
4.2	Gerätebeschreibung	13
4.2.1	Beschreibung des Teleskops	13
4.2.2	der Video- und Fotoapparate.....	14
4.2.3	Spiegelreflexkamera Eos 450D.....	16
4.2.4	Der Spektrograf	18
4.3	Der experimentelle Aufbau	19
4.4	Durchführung.....	21
4.5	Bearbeitung.....	23
4.6	Auswertung.....	27
4.7	Ergebnisse.....	29
4.8	Fehleranalyse	31
4.8.1	Ungenauigkeiten der Aufnahmen.....	31
4.8.2	Quanteneffizienzkurve der Kamera.....	33
4.8.3	Extinktion	34
5.	Fragestellung beantworten	35
6.	Ausblick	36
7.	Literaturverzeichnis.....	37
7.1	Verwendete Software.....	37

8.	Quellenverzeichnis	38
8.1	Abbildungsverzeichnis	38
9.	Eidesstattliche Erklärung.....	39

1. Einleitung

Schon immer fasziniert den Menschen die Frage nach dem Ursprung der Erde und des Lebens auf ihr. Zuerst versuchten sich die Menschen diesen mithilfe von Mythen und Legenden zu erklären, dann versuchten sich die ersten Philosophen, die nicht mehr an eine Entstehung des Kosmos durch Götter in dem damaligen Sinne glaubten, ihn mithilfe von aller ersten wissenschaftlichen Ansätzen zu erklären, welche allerdings alle noch nicht korrekt waren. Aber ein wichtiger Schritt war getan. Von nun an entstanden immer durchdachtere Versuche den Ursprung zu finden. Bis man schließlich heutzutage dank leistungsstarker Teleskope beobachten konnte, wie neue Sterne in interstellaren Nebeln entstanden und auf einmal erkennen konnte, wo unser Stern, die Sonne, und somit auch die Erde ihren Ursprung haben. Seitdem schreitet die Erforschung dieser immer weiter voran.

Dadurch, dass wir beide ein eigenes Teleskop besitzen und uns schon früh für die Astronomie begeistern, entschieden wir uns für einen Projektkurs in der Q1. Die Faszination Weltraum und Astronomie hat uns die letzten Jahre immer wieder begleitet, bis wir uns, nach einer Vorstellung des Projektkurses Astronomie durch unseren Physik-Leistungskurslehrers Michael Winkhaus den Projektkurs Astronomie vorgestellt haben bekommen, für diesen entschieden haben.

Alle Aufnahmen und Messungen wurden durch die von Michael Winkhaus 2009 ermöglichte Schülersternenwarte vorgenommen. Diese befindet sich auf dem Dach des Schulgebäudes des Schulzentrum Süds in Wuppertal Cronenberg.

Außerdem hat uns unser Kursleiter und Hobbyastronom Bernd Koch mit einem immensen Wissen auf den Kurs vorbereitet. Er führte uns in die astronomischen Geräte und die Handhabung dieser ein, um uns die Erforschung astronomischer Objekte zu ermöglichen, und lehrte uns theoretische Ansätze zu verschiedenen interessanten Themen.

Unsere ausführlichen Danksagungen gehen besonders an den Physik-Leistungskurslehrers Michael Winkhaus und an unseren Projektleiter Bernd Koch.

2. Themenwahl

Die Wahl eines geeigneten Themas für unsere Projektarbeit fiel uns relativ schwer. Die enorme Auswahl an interessanten und behandlungswürdigen Themen erschwerte uns die Auswahl unseres Themas. Bis wir uns schließlich und letztendlich für das Thema der Erforschung des Orionnebels oder auch M42 entschieden. Bei dem von uns gewählten Thema handelt es sich um die Erforschung des sogenannten Orionnebels (M42), insbesondere spezialisiert auf die spektrografische Analyse und Auswertung von selbst in dem, auf der Schule befindlichem Schülerlabor für Astronomie, angefertigten Aufnahmen des Orionnebels. So wird er in Hinsicht auf seine Dichte, relativen Ausbreitung und Temperatur untersucht. Außerdem ziehen wir auch Schlüsse auf die Zusammensetzung des Nebels und die Sterne die er beinhaltet.

3. Theorie über den Orionnebel

3.1 Orion-Nebel

3.1.1 Kurzfakten:

Bezeichnung	M42
Sternbild	Orion
Durchmesser	30 Lj
Entfernung	(1350 ± 23) Lj
Objektklasse	Emissionsnebel
Zugehörigkeit	Milchstraße
Scheinbare Helligkeit	4,0 mag
Dominierende Sterne	Theta 1 Orionis (Trapez), Theta 2 Orionis

3.1.2 Emissionsnebel

Als Emissionsnebel (aus dem Lateinischen von „emittere“ = aussenden / herauslassen) bezeichnet man die Nebel in der Astronomie, die selbst Licht aussenden. Das Gegenteil wäre der Reflexionsnebel, der lediglich eintreffendes Licht reflektiert. Dieses emittieren des Nebels entsteht

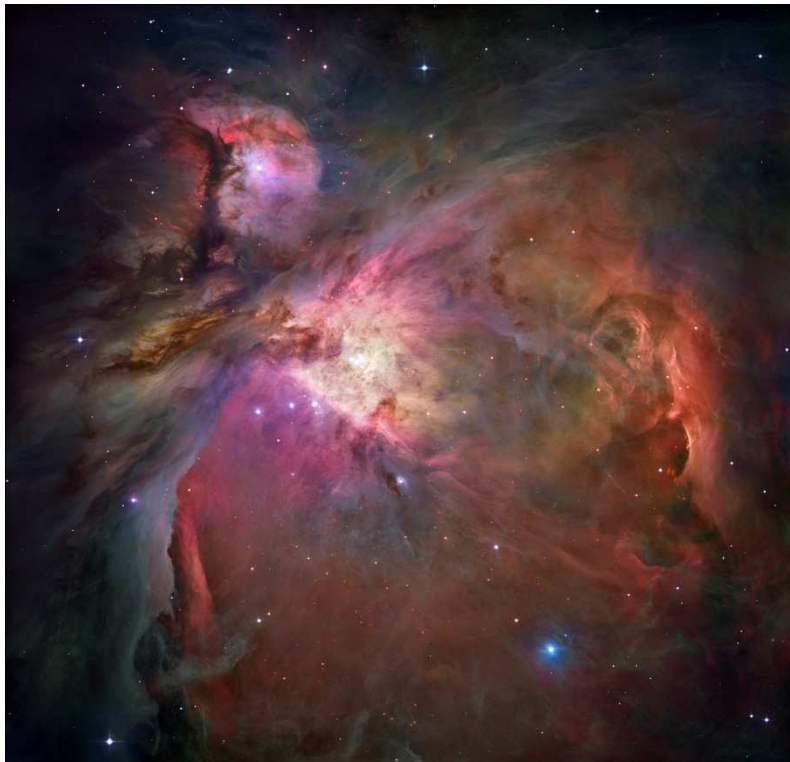


Abbildung 1: Orionnebel. Deutlich zu sehen, die Trapezsterne im hellen Bereich im Bildzentrum

durch die im Inneren des Nebels befindlichen Sterne. Im Falle des Orionnebels sind das die später noch genauer beschriebenen Sterne des Trapezes im Zentrum des Orionnebels. Diese Sterne strahlen Ionisationsstrahlung aus, welche das Gas (hauptsächlich Wasserstoff) des Orionnebels ionisiert und die Wasserstoffatome sich wieder re-kombinieren.

Dieser Prozess setzt dann überschüssige Energie in Form von Photonen frei, welche dann ca. 1.350 Jahre später die Erde er-

reichen und wir so den Orionnebel in seinen Farben sehen.

3.1.2.1 Ionisation / Rekombination

Bei dem Prozess der Ionisation trifft ein Elektron, ausgehend von Strahlung eines Sterns, auf ein Atom oder ein Molekül, wodurch es ein Elektron entrissen bekommt und es ionisiert wird. Dieses Atom ist nun ionisiert und wird als Ion bezeichnet. Wenn nun die Wasserstoffatome sich wieder re-kombinieren wird die vorher zugeführte Energie wieder freigesetzt. Diese kann in verschiedenen Formen freigesetzt werden, jedoch meistens und auch im Falle des Orionnebels wird sie als Lichtquantenenergie freigesetzt, also werden Photonen abgestrahlt.

3.1.3 Beobachtung des Orionnebels

Der Orion-Nebel ist der größte sichtbare Emissionsnebel am Himmelsgewölbe. Auffallend durch seine Rottöne im sichtbaren Spektralbereich und seiner relativ hohen Helligkeit von 4 Magnituden und einer sichtbaren Ausbreitung von 85×60 Bogenminuten, wodurch er etwa

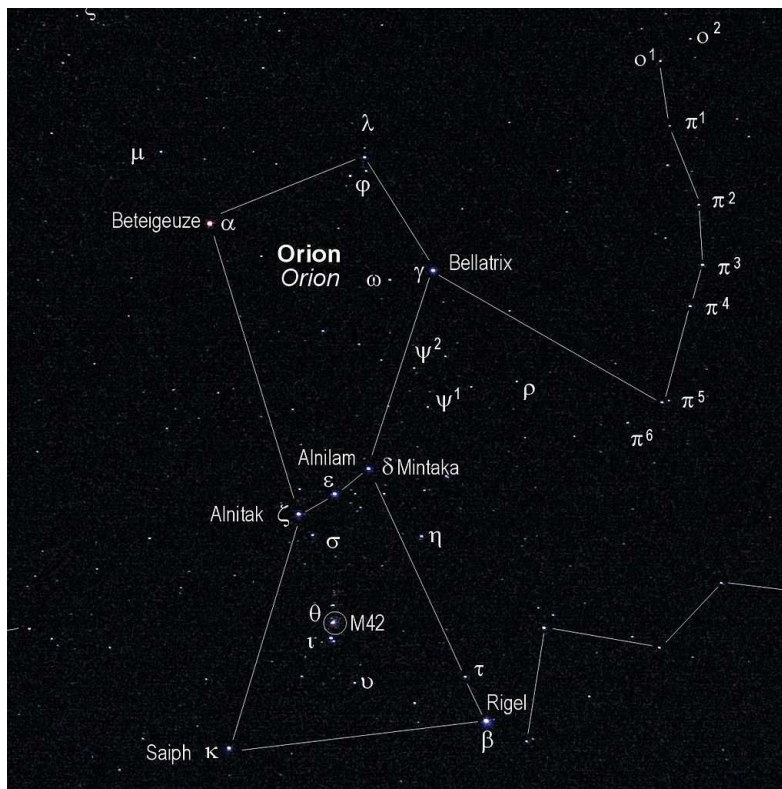


Abbildung 2 Zeigt das Sternbild Orion und den eingezeichneten Orionnebel zur Hilfestellung.

dreimal so groß wie der Vollmond ist, ist er bei guten Bedingungen an einem klaren Winterabend mit bloßem Auge zu sehen. Außerdem auffallend durch die hellen Sterne im Zentrum des Orionnebels, ist er leicht zu finden, im Sternbild des Orion. Unterhalb des Gürtels des Orion und in Mitten des Fünfecks der Sterne des Gürtels und dem Stern Rigel und Saiph ist er zu finden.

Hilfreich ist es bei der Fotografie des Orionnebels, oder auch anderer Deep-Sky-Objekte,

eine modifizierte Spiegelreflexkamera zu verwenden. Diese Modifizierung besteht darin, dass man ein H α verstärkenden Filter zwischen das Teleskop und den CCD-Chip montiert. Dies wird im späteren Verlauf noch einmal weiter erläutert.

3.1.4 Entdeckung des Orionnebels

Man vermutet, dass arabische Astronomen den Orionnebel bereits schon vor hunderten von Jahren beobachteten und ihn daher auch einen Namen gaben. Sie nannten ihn „Na’ir al Saif“ (Der Helle im Schwert), dieser Name bezeichnet jedoch auch den im Süden gelegenen Stern Iota Orionis. Erstmals ca. 1610 von einem europäischen Astronomen entdeckt und dokumentiert von Nicolas-Claude Fabri de Peiresc (* 1580 in Belgentier † 1637 in Aix-en-Provence). Durch die Beobachtung des Orionnebels von Charles Messier am 4. März 1769 und die darauf



Abbildung 3 Zeigt die erste, von Andrew Ainslie Common angefertigte, Astrofotografie im Jahre 1883

folgende Aufnahme in seinen Messier-Katalog entstand die Bezeichnungen M42. Für die Astronomie hat der Orionnebel schon immer eine große Rolle gespielt. Er ist das erste Objekt, an dem man eine astronomische Fotografie vornehmen konnte. Damit zeigt das erste Astrofoto der Geschichte den Orionnebel. Bis 2007 nahm man noch die Vermutung an, dass der Orionnebel 1.500 Lichtjahre entfernt ist. Heute weiß man, durch eine exakte parallaktische Entfernungsmessung mit dem

Very Long Baseline Array, dass der Orionnebel nur etwa 1350 Lichtjahre entfernt ist.

3.1.5 Sternentstehung im Orionnebel

Ein Nebel ist, um es zu vereinfachen, nicht mehr, als eine Anhäufung von kleinen Teilchen und Partikeln. Nun wirkt eine Kraft zwischen all diesen Teilchen, die Gravitation. Dadurch ziehen sich nun immer mehr und mehr Teilchen zusammen auf einen Punkt, dabei bringen diese einen Impuls mit sich, der diese kleine Kugel zum Rotieren bringt.

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Die Stärke der Gravitation ist abhängig von der Masse der sich jeweils anziehenden Objekte.

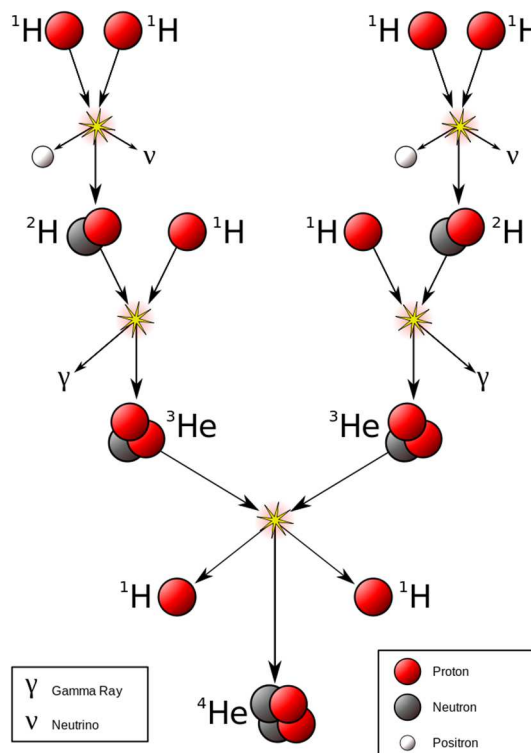


Abbildung 4 Zeigt die stellare Kernfusion von Wasserstoff (H) bis zum Helium (HE)

Wenn die Staubkugel jetzt immer mehr Teilchen anzieht und sich die Masse dieser Kugel erhöht, zieht diese Kugel immer mehr Teilchen und Partikel an. Es entsteht eine riesige Kugel aus Staub und Materie. Wenn nun eine Dichte von *fünftausend Wasserstoffmolekülen pro Kubikzentimeter*¹ vorhanden ist, dann setzt die Kernfusion eines Sterns ein und ein neuer Stern ist geboren. Im Inneren des Sterns werden nun Wasserstoffatome durch den enormen Druck im inneren des Sterns und die daraus resultierende Temperatur fusioniert. Das bedeutet zwei Wasserstoffatome werden „zusammengeschmolzen“. Dies resultiert aus der Massendifferenz der Wasserstoffatome und der Heliumatome. Laut Einstein'scher spezieller Relativitätstheorie gilt laut der Äquivalenz von Masse und Energie:

$$E = m * c^2$$

Die Lichtgeschwindigkeit, bezeichnet mit „c“, bleibt immer gleich und ist eine Naturkonstante. Daher muss, wenn die Addition der Massen von vier Wasserstoffatomen geringer als die eines Heliumatoms ist, in Energie ausgestrahlt werden. Daraus folgt die abgestrahlte Energie der Sonne. Im Falle der Sonne beträgt sich der Massenverlust jährlich auf ca. $1,3 * 10^{17} \text{ Kg}$.

¹ <http://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/news/2014/kritische-dichte-fuer-die-sternentstehung/>

3.2 Trapez (Astronomisch) – Theta Orionis:

Bezeichnung	Theta 1 Orionis / θ^1 Orionis
Entfernung	Ca. 1350 Lj
Entfernung (Untereinander) / Durchmesser	Ca. 20Lj
Massen	Zwischen 15 und 20 Sonnenmassen
Alter	Ca. 300.000 Jahre

Stern	Spektral- klasse	Sichtbare Helligkeit	Sternsystemtyp
θ^1 Orionis A (V 1016 Ori)	B1	6,7 mag	Doppelstern
θ^1 Orionis B (BM Ori)	B0	8,0 mag	Vierachstern
θ^1 Orionis C	O6	5,1 mag	Doppelstern (Hells- ter Stern im Trapez)
θ^1 Orionis D	B0,5	6,7 mag	Doppelstern

Das Trapez ist die Bezeichnung der Astronomie für die vier hellsten und auch für die Ionisierung des Orionnebels hauptsächlich zuständigen Sterne. Bestehend aus vier Sternen die, wie auch der Name schon nahe legt, in einem Trapez angeordnet sind. Die Sterne im Zentrum des Orionnebels sind circa 300.000 Jahre alt und haben eine mittlere Entfernung von circa 1.350 Lichtjahren zur Erde. Untereinander sind die Sterne circa 20 Lichtjahre entfernt. Erstmals von Nicolas Claude Fabri de Peiresc entdeckt wurden zunächst nur drei Sterne im Trapez. Fälschlicher Weise wurde dies durch den Astronomen Galileo Galilei im 17. Jahrhundert und durch Christiaan Huygens ebenfalls im 17. Jahrhundert auch noch bestätigt, dass das Trapez nur aus 3 Sternen besteht. Diese falsche Beobachtung entstand dadurch, dass die Sterne θ^1 Orionis A und θ^1 Orionis D so nahe beieinander liegen, dass diese durch die damaligen noch benutzten Fernrohre nicht differenziert werden konnten. Durch diese falsche Beobachtung galt bis ins 19. Jahrhundert Christiaan Huygens als der Beobachter des Trapezes. Jedoch entdeckte Abbe Jean Picard bereits einen vierten Stern im Inneren des Orionnebels, seine Entdeckung wurde zur seiner Zeit jedoch nicht anerkannt. Heute gilt er als der Entdecker des Trapezes im Orionnebel.

4. Spektroskopie

4.1 Theorie

1866 nahm der Schwede Anders Jonas Ångström eine Reihe von Wellenlängen die das Wasserstoffatom aussendet auf. Daher benutzt man heute auch oft in der Astronomie die Längeneinheit Ångström ($1\text{\AA} = 1 \cdot 10^{-10}\text{m}$) um Wellenlängen anzugeben. Der berühmte Schweizer Mathematiker Johann Jakob Balmer entwickelte aus der Reihe von Aufnahmen Ångströms durch geschicktes Umformen eine einfache Formel, um die Wellenlängen des Wasserstoffatoms zu bestimmen. Er berechnete die Wellenlängen des Wasserstoffatoms mit der Differenz der Kehrwerte der Quadrate ganzer Zahlen, welche später auch als Rydberg-Konstante bekannt wurde. Diese Serie von Differenzen ist heute bekannt als Balmerserie. Jedoch war weder Ångström,

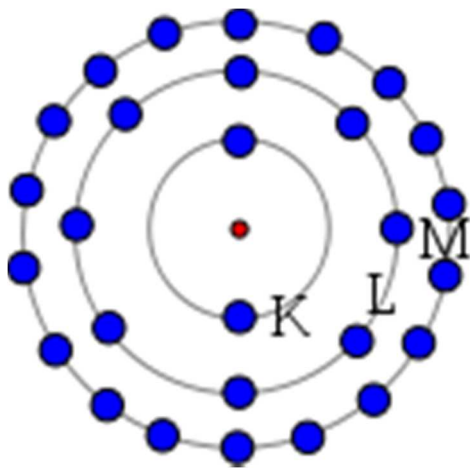


Abbildung 5 Das Bohr'sche Atommodell

noch Balmer der Grund für diese merkwürdige Serie bekannt. Erst die Postulate von Niels Bohr im 20. Jahrhundert und damit der Beginn der Quantentheorie lieferten eine Antwort. Er vermutete zuerst, dass die Elektronen im Atom bestimmte Umlaufbahnen haben, mit verschiedenen Energiestufen. Daraus entwickelte er das heute in der Schule sehr beliebte Bohr'sche Atommodell. Mit dieser Idee schuf Niels Bohr die Grundlage der modernen Atomphysik und Quantenphysik. Jedoch waren die Postulate Bohrs nicht ganz korrekt, denn nach

der Heisenberg'schen Unschärferelation haben Elektronen im Atom keine Umlaufbahnen, sondern nur Auftretenswahrscheinlichkeiten um den Atomkern.

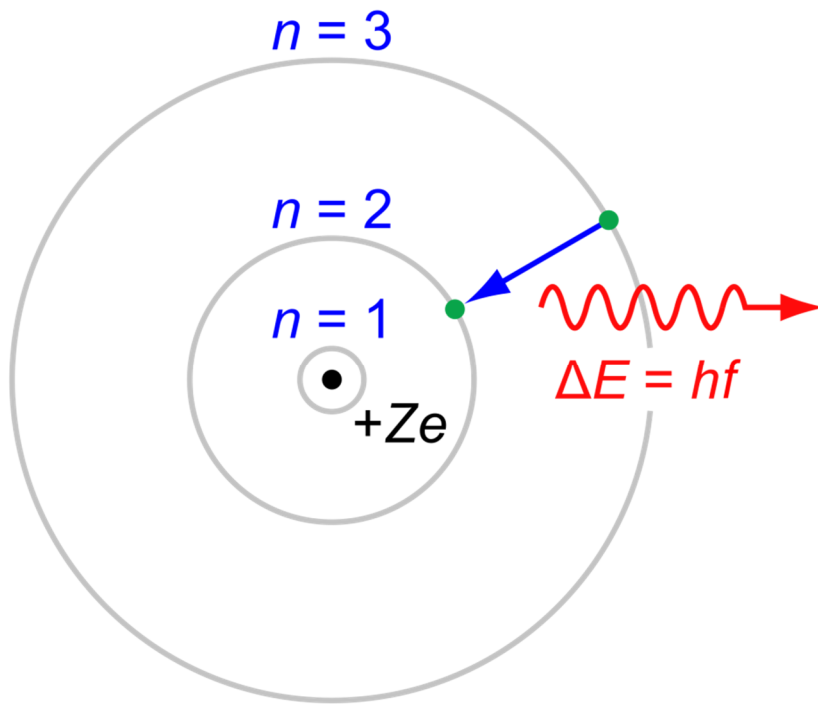


Abbildung 6 Modell der Energiestufen eines Elektrons und die Energiedifferenz

Die Farben des Lichtes sind durch die Definition des Planck'schen Wirkungsquantum zu erklären. Nach Planck und später auch bestätigt durch Albert Einstein im Photoeffekt gilt:

$$E = h \cdot f$$

Wobei h das Planck'sche Wirkungsquantum ist und f die Frequenz des Lichtes ist. Da das Planck'sche Wirkungsquantum eine der drei fundamentalen

Naturkonstanten ist und die Energiedifferenz nicht immer gleich ist, muss also auch die Frequenz variieren, da diese in linearer Abhängigkeit zur Energiedifferenz steht. Wenn ein Elektron von höheren Energiestufe auf eine niedrigere Energiestufe fällt, wird Energie frei. Wenn diese Energie relativ groß ist, hat das Photon, welches meist der Energielieferant ist, eine hohe Frequenz und damit eine kleine Wellenlänge. Wenn die Energie relativ klein ist, hat das Photon eine kleine Frequenz und somit eine große Wellenlänge. Dass ein Teilchen eine Wellenlänge hat, entstand aus der Entwicklung der Quantentheorie, insbesondere durch Albert Einstein und den Photoeffekt. So konnte man dem Photon Eigenschaften eines Teilchens zuweisen, wie z.B. Masse, Impuls, aber auch Eigenschaften einer Welle zuweisen, wie z.B. Wellenlänge.

4.2 Gerätebeschreibung

4.2.1 Beschreibung des Teleskops

Technische Daten des Celestron Edge HD 11	
Öffnung	280mm
Brennweite	2800mm
Öffnungsverhältnis	f/10
Maximale sinnvolle Vergrößerung	661-fach
Grenzgröße	14m7
Auflösung	0,41 Bogensekunden
Tubuslänge	609mm
Gewicht	12,7 Kg



Abbildung 7 Celestron Edge HD 11" in dem Schülerlabor Astronomie auf dem Dach des CFG

Um den Orionnebel aufzunehmen behelfen wir uns des Celestron Edge HD 11". Dieses ist auf 6 Stationen des Schülerlabors Astronomie am CFG vertreten. Alles ermöglicht und geleitet von dem Physik-Leistungskurslehrer Michael Winkhaus. Das Teleskop eignet sich sehr für die Astrofotografie. Es ist vielseitig einsetzbar, egal ob man den Mond fotografieren will oder einen der Planeten. Außerdem ist die Deep-Sky Fotografie sehr einfach zu machen, durch die große Öffnung tritt viel Licht ein und scharfe Bilder entstehen durch relativ kurze Belichtungszeiten. Das montierte Suchfernrohr hilft dabei der Orientierung am Nachthimmel. Bei den Aufnahmen des Orionnebels behelfen wir uns eines so genannten Reducers, der die Brennweite verkürzt und somit man eine kleiner Vergrößerung erhält, welche notwendig war um den relativ

großen Orionnebel ganz abzubilden. Durch die Goto-Montierung des Teleskops auf dem Dach des CFG war die manuelle Suche des Orionnebels nicht notwendig. Diese erkennt nach einem Adjustieren des Teleskops zur Achse des Planeten, wo es sich befindet und man kann bequem Objekte am Nachthimmel anfahren.

4.2.2 Video- und Fotoapparate

4.2.2.1 SBIG STF-8300M CCD Kamera



Abbildung 8 SBIG STF-8300M CCD-Kamera

Bei der SBIG STF-8300M CCD Kamera handelt es sich um eine Schwarz-Weiß Fotokamera, mit eingebauter eigener Kühlung. Dank ihrer Kühlung von bis zu 40 Grad Celsius unter der Umgebungstemperatur, gelingt es das Hintergrundrauschen mit ihr sehr stark zu begrenzen. Außerdem besitzt die Kamera die Möglichkeit extrem kurze Belichtungszeiten zu benutzen, um so schon geringste

Helligkeitsveränderungen zu beobachten. Dadurch kann man theoretisch sogar Exoplaneten nachweisen. Durch den großen CCD-Chip der Kamera eignet sie sich hervorragend auch für Weitbildaufnahmen und kam somit gelegen für den Orionnebel. Die Kamera besitzt zu dem die Funktion ein automatischen Darkframe zu erstellen, wodurch grobe Hotpixel bereits vor den Aufnahmen entfernt werden konnten. Eine geeignete Kamera um professionelle Bilder zu erstellen.

4.2.2.2 DMK41 Videokamera

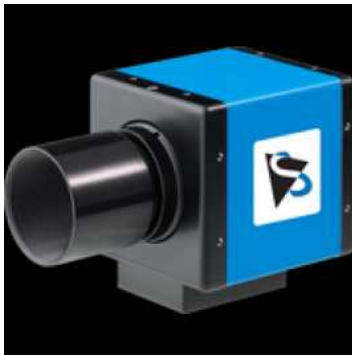


Abbildung 9 DMK41 Schwarz-Weiß Videokamera

Zum Beobachten des Spektrografen Spaltes und zum erfolgreichen Nachführen wurde die DMK41 verwendet. Bei ihr handelt es sich um eine Schwarz-Weiß Videokamera, welche es erlaubt, ein Live-Bild des Spektrografen Spaltes zu beobachten. So kann man das Teleskop mit Spektrografen präzise ausrichten und nachführen. Mit einer Auflösung von 1280 x 960 Pixeln bietet die Kamera genug Auflösung für detailreiche Aufnahmen des Orionnebels und ist dank ihrer schnellen Übertragungsrate geeignet für Live-Bild Aufnahmen. Und genau dafür wurde sie benutzt. Wir benutzten die Live-Aufnahme und zu schauen ob das Video verrutscht ist, oder ob eventuell eine Wolke vor dem Orionnebel herzieht, um am Ende nur die besten Aufnahmen zu verwenden. Außerdem haben wir eine Vergleichsaufnahme vom Stern Rigel angefertigt, um diese später zur Intensitäts-Kalibrierung zu verwenden. Diese ist jedoch nicht so gut geworden. Dadurch, dass das Wetter den Fangspiegel des C11 immer wieder beschlagen ließ, mussten wir leider eine Vergleichsaufnahme aus der Literatur verwenden.

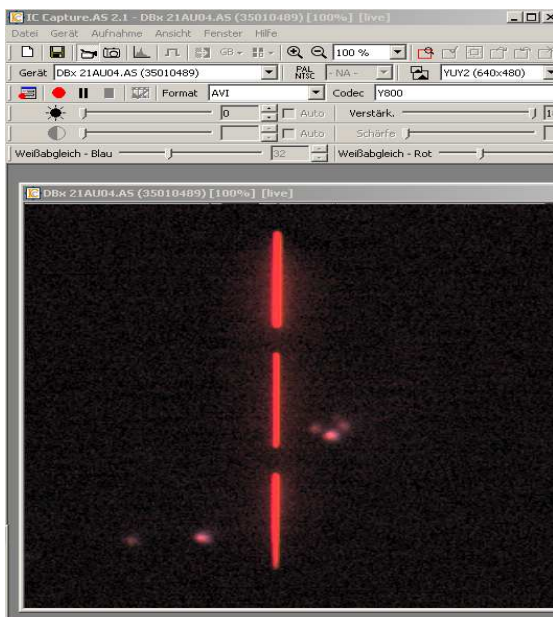


Abbildung 10 Live-Bild Aufnahme der DMK41: Man sieht die Spalte des Spektrographen und im Hintergrund das Trapez

4.2.3 Spiegelreflexkamera Canon Eos 450D



Abbildung 11 Die Spiegelreflexkamera Canon EOS 450D

Die Spiegelreflexkamera Canon Eos 450D ist eine moderne DSLR-Kamera und ist in dem Schülerlabor Astronomie am Carl-Fuhlrott-Gymnasium mehrfach vertreten. Während sie optimal für hochauflösende Fotografien geeignet ist und man tolle Bilder mit ihr machen kann und zudem auch noch vielseitig in der Astronomie verwendet werden kann, haben wir diese Kamera nicht benutzt. Trotzdem wird sie hier beschrieben, da wie auch später noch einmal erläutert wird, wir sie in Zukunft verwenden werden, um ein tolles Astrofoto von dem Orionnebel zu machen. Außerdem haben wir die Kamera verwendet, um uns mit der Technik des Schülerlabors vertraut zu machen. Eines muss bei der Astrofotografie beachtet werden, während man Planeten und unseren Mond toll mit dieser Kamera fotografieren könnte, muss man für Deep-Sky-Objekte, also Objekte die außerhalb unseres Sonnensystems liegen, eine kleine Modifikation vornehmen. Diese ist nicht unbedingt nötig jedoch verbessert diese die Qualität der Fotografien immens. Bei dieser Modifikation handelt es sich um einen Filter der zwischen dem Sensor und dem Objektiv eingefügt werden muss. Dieser Filter verstärkt die Kamera in der Fähigkeit das Licht des Wasserstoffes, insbesondere Wasserstoff Alpha ($H\alpha$), aufzunehmen. Da der Orionnebel vermutlich wie die meisten Nebel auch hauptsächlich aus Wasserstoff besteht, ist diese Modifikation von großem Vorteil. In Abbildung 12 sieht man den doch recht deutlichen Unterschied zwischen einer modifizierten und einer nicht modifizierten Kamera.



Abbildung 12 Zeigt den Unterschied zwischen einer mit einem ACF-Filter ausgestatteten Spiegelreflexkamera (rechts) und einer ohne ACF-Filter ausgestatteten Spiegelreflexkamera (links)

Abbildung 13 zeigt nun die Empfindlichkeit der DSLR-Kamera. In Rot die einer nicht modifizierten Kamera und in blau die einer modifizierten Kamera für die Astrofotografie. Man sieht deutlich wie der Bereich um 600-700 nm deutlich intensiver ist, als bei einer nicht modifizierten. Und genau dieser Bereich beschreibt den größten Bereich in dem ein Emissionsnebel strahlt. Also ist die Modifikation sehr geeignet für eine Fotografie des Orionnebel. Leider und dies ist wirklich zu bedauern hatten wir nicht die Möglichkeit den Orionnebel in seiner vollen Pracht zu fotografieren, werden dies aber im Rahmen eines Jugend-Forscht Projektes noch nachholen.

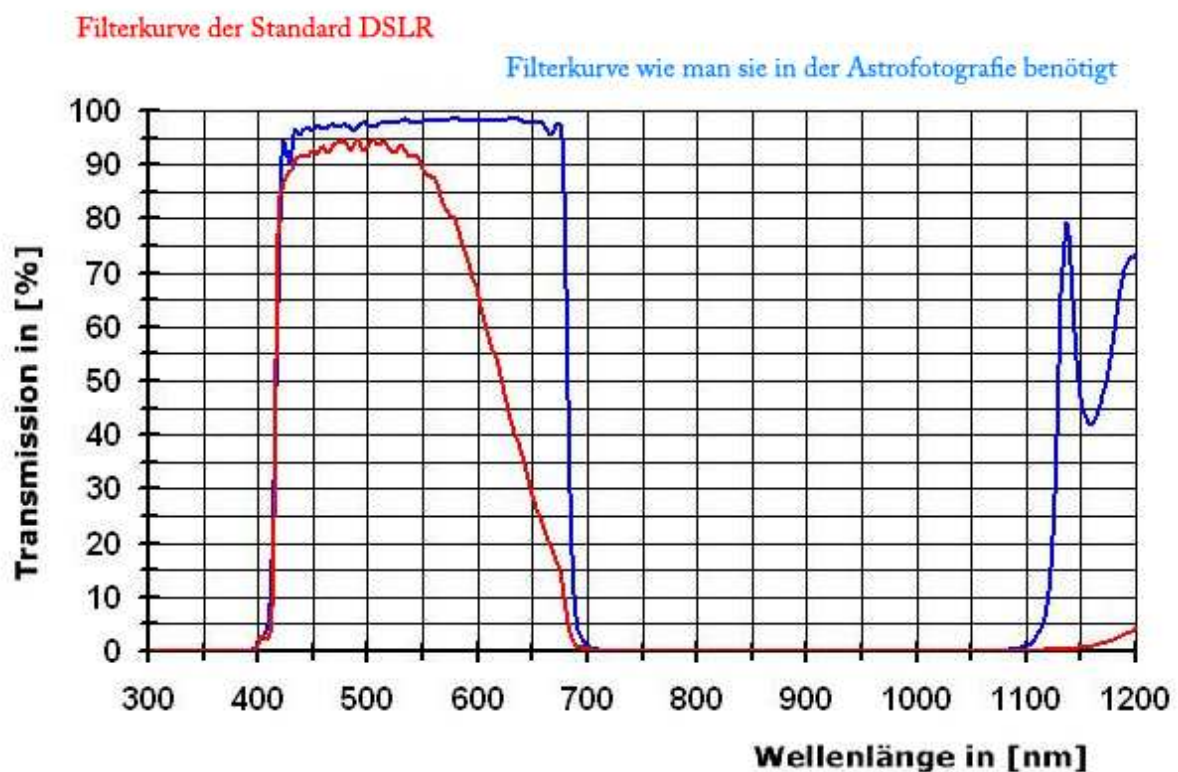


Abbildung 13 Zeigt die Intensitätsverteilung einer Spiegelreflexkamera. In Rot die normale, also ohne Modifikation, Intensitätsverteilung und in blau die Intensitätsverteilung einer Modifizierten Kamera.

4.2.4 Der Spektrograf



Abbildung 14 Zeigt den Dados-Spektrographen

Der DADOS Spektrograf besteht aus zwei Würfeln, welche ihm auch seinen Namen verleihen (Spanisch: Los dados – Die Würfel).

Der erste von beiden, an welchem er an das Teleskop angeschlossen ist, beinhaltet einen Spiegel und ein Spaltplättchen. Das Spaltplättchen besteht aus drei verschiedenen Spalten, von denen der erste 25nm, der zweite 35nm und der dritte 50nm breit sind. Wenn das Licht durch das Okular in den Spektrographen einfällt wird es durch

den Spiegel auf den Spalt umgelenkt und von dort in den zweiten Würfel. So kann man das zu beobachtende Objekt mit Hilfe einer Videokamera, welche über einen zusätzlichen Port die Möglichkeit hat auf den Spalt zu blicken, immer an der richtigen Stelle halten. Das Licht welches schließlich durch die drei Spalte durchgelassen wurde trifft dann im zweiten Würfel auf das Gitter. Verwendet wird ein Blazegitter von dreien. Das ungenaueste hat 200 Linien pro Millimeter, das nächst genauere 900 Linien / Millimeter und das genaueste 1200 Linien / Millimeter. In diesem Fall wurde das 200 Linien / Millimeter Gitter verwendet, damit das gesamte Spektrum auf ein einzelnes Bild passt. Dann, wenn das Licht durch das Gitter gelaufen ist, fällt das Spektrum auf die Kamera und kann aufgenommen werden.

4.3 Der experimentelle Aufbau



Abbildung 15 DADOS Spektrograf + SBIG STF-8300M CCD-Kamera

Um die gewünschten Bilder vom Orionnebel erhalten zu können war es notwendig bis tief in die Nacht des 09.12.2015 Aufnahmen vom Nebel zu machen. Dabei schlossen wir an das, auf der Sternwarte des CFGs aufgebaute, Celestron 11 Edge HD anstelle eines Okulars erst den dados Spektrografen an und an diesen schließlich die SBIG STF-8300M CCD-Kamera (im 2x2 Binning betrieben) an, so dass wir das Spektrum direkt aufnehmen konnten. Außerdem war vor den Spektrografen noch ein 0.8x Reducer angebracht, um es uns zu ermöglichen, ein Bild von einem so großflächigen Objekt zu schießen. Des Weiteren war an einen kleinen Nebenausgang des DADOS auch eine DMK41 angebracht, damit wir mithilfe eines Live-Bildes sehen konnten, ob wir den Nebel. Überhaupt richtig im Visier hatten um ein Spektrum erzeugen zu können.

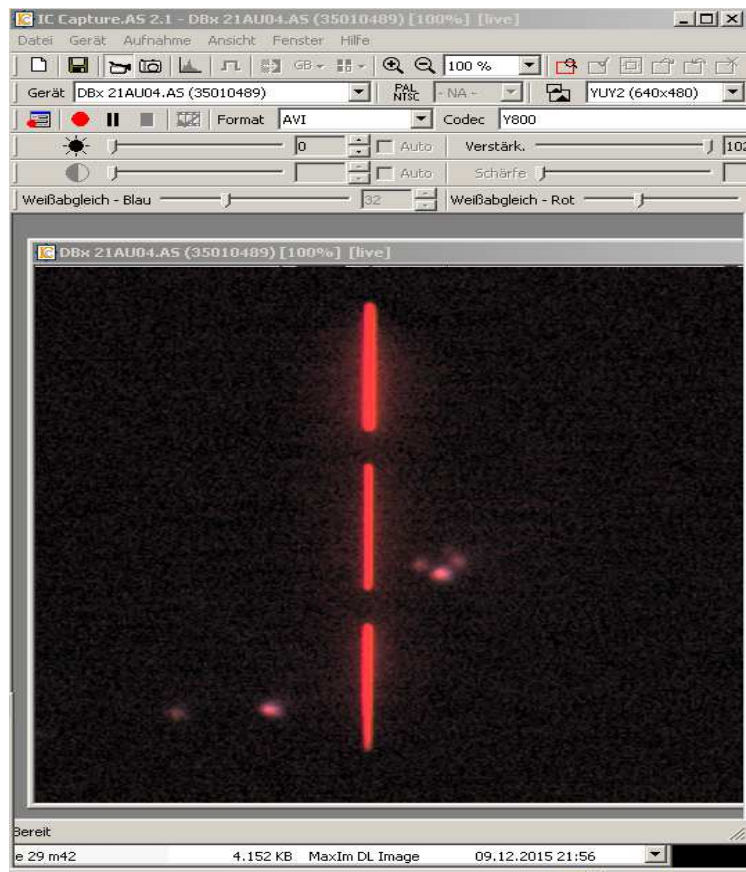


Abbildung 16 Live-Bild der DMK 41



Abbildung 17 Der fertige Aufbau bei untergehender Sonne

Dafür musste das Ziel auf einem der drei sichtbaren Spalte liegen. Vorne am Teleskop war außerdem eine Neon/Xenon-Referenzlampe befestigt, um auch ein Bild eines Referenzspektrums zu haben, dessen Zusammensetzung man bereits kennt. Jede der beiden Kameras war an einen dort aufgebauten Laptop angeschlossen, über den wir die Aufnahmen gesteuert und überwacht haben.

4.4 Durchführung

Um die Bilder erzeugen zu können musste nach Aufbauen aller Instrumente zuerst einmal der Orionnebel angefahren werden. Nachdem dieser manuell angesteuert war, fuhr das Teleskop diesem selber nach. Die beiden Kameras welche wir verwendeten steuerten wir mit den Programmen „DMK - IC Capture.AS 2.0“ und „MaxIm DL 5.24“. Die DMK41 mit „IC Capture“ und die SBIG mit „MaxIm DL“. In Aktion sah das Ganze auf dem Laptop dann so aus:

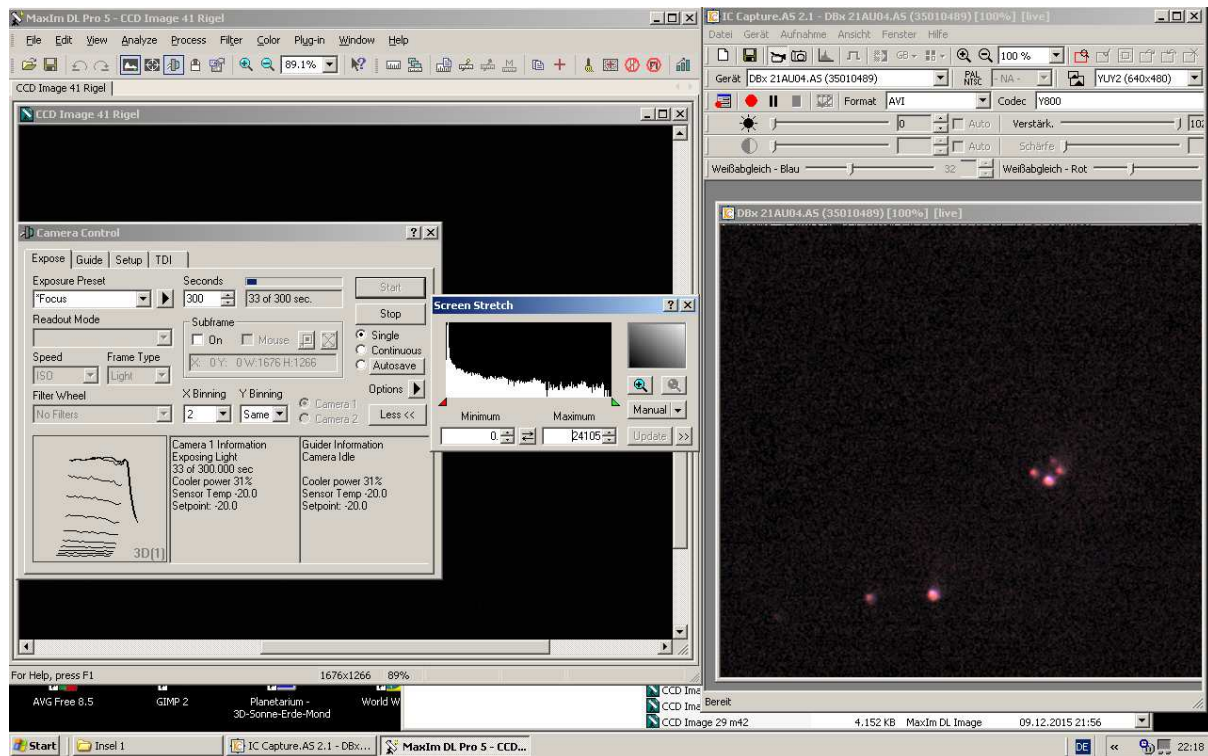


Abbildung 18 MaxIm DL (links) und IC Capture (rechts) während der Beobachtung

Alles in allem war es eine klare und mondlose Nacht, ohne viel Wind. Also eigentlich optimale Bedingungen, wäre da nicht eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit gewesen, welche dafür sorgte, dass die Korrekptionsplatte schnell beschlug. Wir hielten diese dann mit einem Föhn trocken. Nachdem der Aufbau geglückt war und wir den Orionnebel angefahren hatten, war es Zeit die Aufnahmen zu machen. Vor uns benutzte eine weitere Gruppe das Teleskop und nutzte es zur Spektroskopie, wodurch wir Erfahrungen gesammelt hatten für unsere Aufnahmen später an dem Abend. Als erstes haben wir kurze Aufnahmen (im Sekunden Bereich) der Neon/Xenon Referenzlampe gemacht, um später anhand dieser bekannten Wellenlängen unser Spektrum zu kalibrieren, im genaueren die Wellenlängenkalibrierung. Danach tätigten wir einige Dark Frame Aufnahmen, in der nahen Umgebung des Orionnebels, um diese später von dem eigentlichen Spektrum zu subtrahieren. Dies entfernt das Hintergrundrauschen und Lichteinflüsse der Menschen. Dabei belichteten wir insgesamt 5mal eine Minute lang den dunklen Himmel. Danach

kamen die eigentlichen Aufnahmen wir belichteten den Orionnebel insgesamt 10mal fünf Minuten lang. Am Ende stellte sich heraus, dass drei bis vier dieser Aufnahmen leider unbrauchbar waren, da wir durch den Wind einige male nicht den Nebel, sondern das Trapez spektroskopierten. Und zuletzt haben wir den nahegelegenen Stern Rigel spektroskopiert, um nachher an dem bereits bekannten Spektrum Rigels unser Spektrum des Orionnebels zu kalibrieren. Dabei haben wir weitere fünf Aufnahmen á einer Minuten aufgenommen. Wie sich später herausstellte waren diese jedoch auch unbrauchbar, da der Spiegel des C11 so beschlagen war, durch die hohe Luftfeuchtigkeit an dem Abend, dass die Aufnahmen zu schwach waren um brauchbar zu sein.

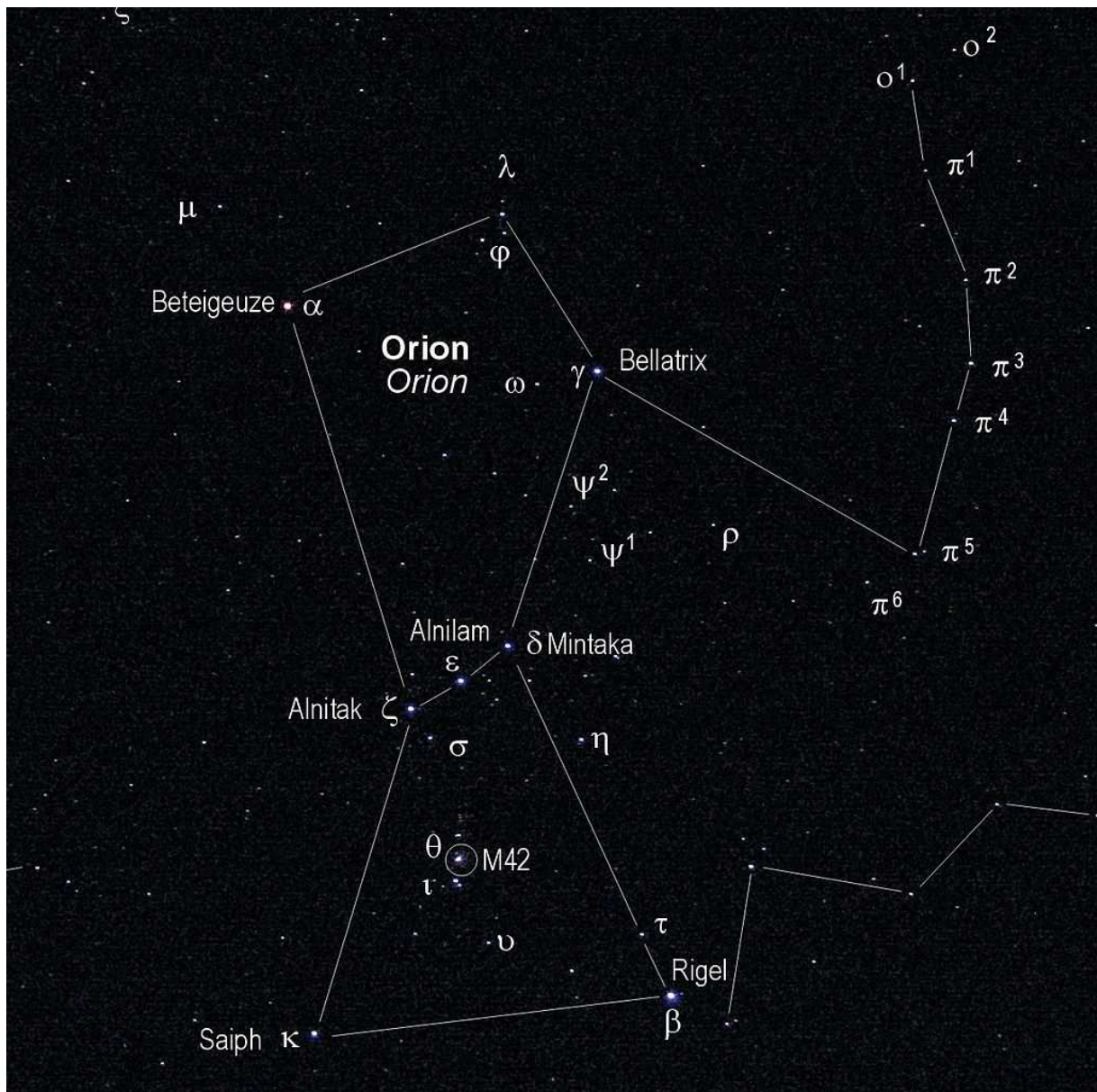


Abbildung 19 Sternbild Orion: Unten rechts im Bild die relative Lage Rigels zum Orionnebel

4.5 Bearbeitung

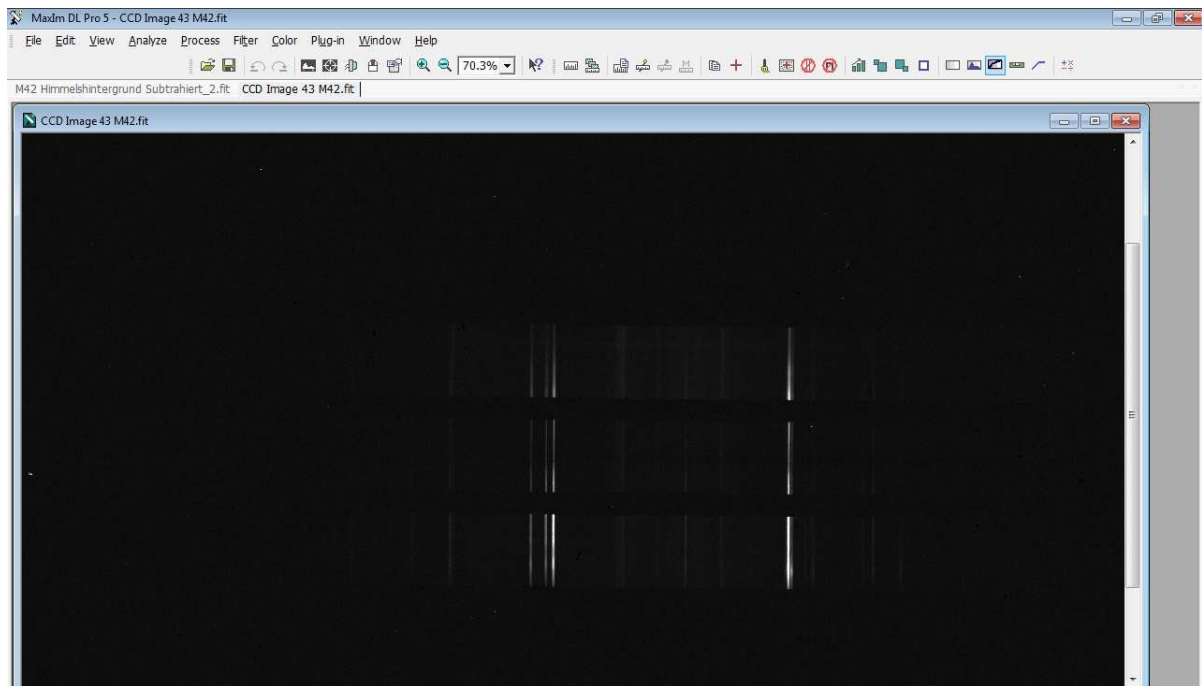


Abbildung 20 Das Rohspektrum

Aus den besten Aufnahmen entstand das das Rohspektrum (siehe Abb. 19) Als erstes mussten die das Spektrum verunreinigenden, sogenannten, Hotpixel beseitigt werden und das Spektrum horizontal gedreht werden, so dass es exakt horizontal liegt.. Denn obwohl ein Auto-Darkframe

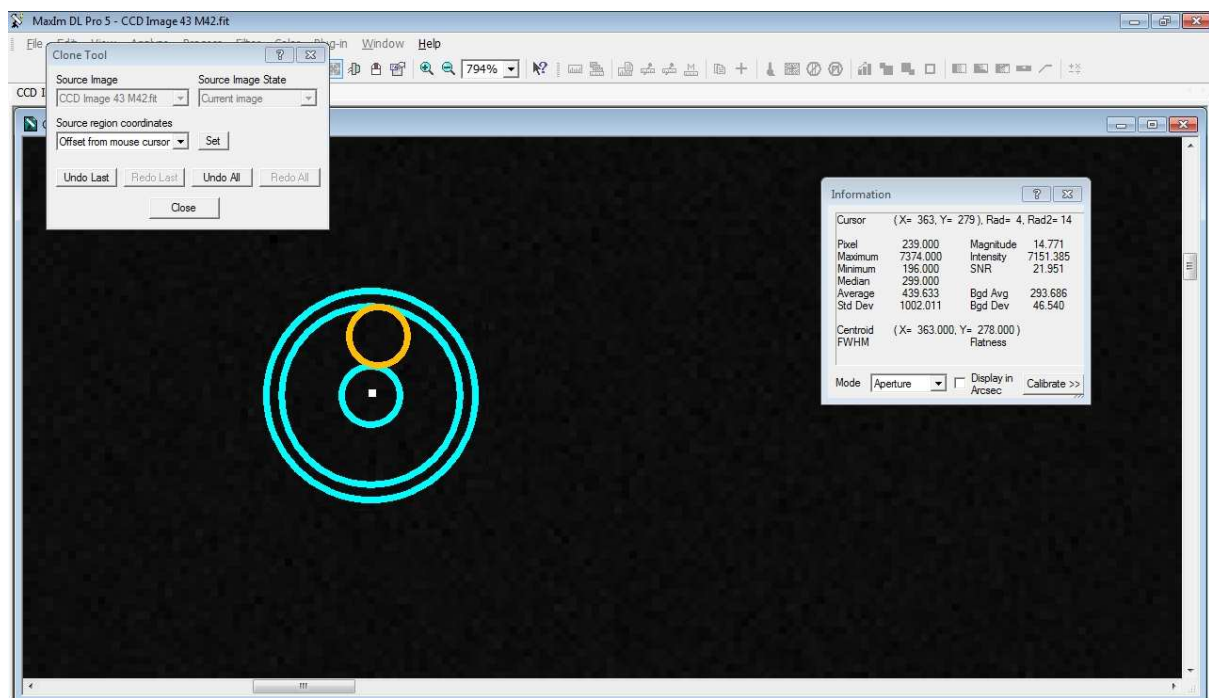


Abbildung 21 Hotpixelentfernung mit MaximDL

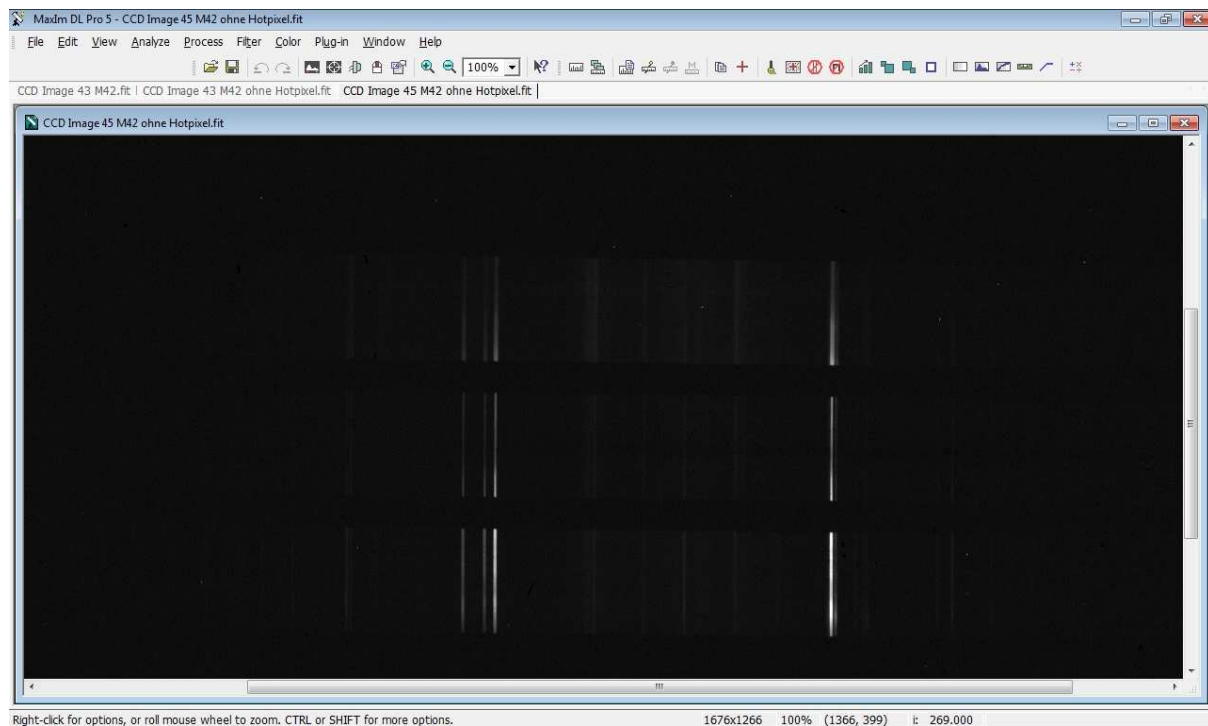


Abbildung 22 Hotpixelfreies Spektrum

bei allen Aufnahmen subtrahiert wurde blieben einige „heiße“ Pixel zurück, welche durch kosmische Strahlung verursacht wurden und dem Spektrum nicht förderlich sind. Um sie zu entfernen und das Spektrum zu drehen nutzten wir das Programm MaximDL. Um sie zu entfernen und das Spektrum zu drehen nutzten wir das Programm MaximDL. Dafür verwendeten wir das Clone Tool innerhalb von MaximDL. Dabei wählt man ein winziges Gebiet direkt über dem

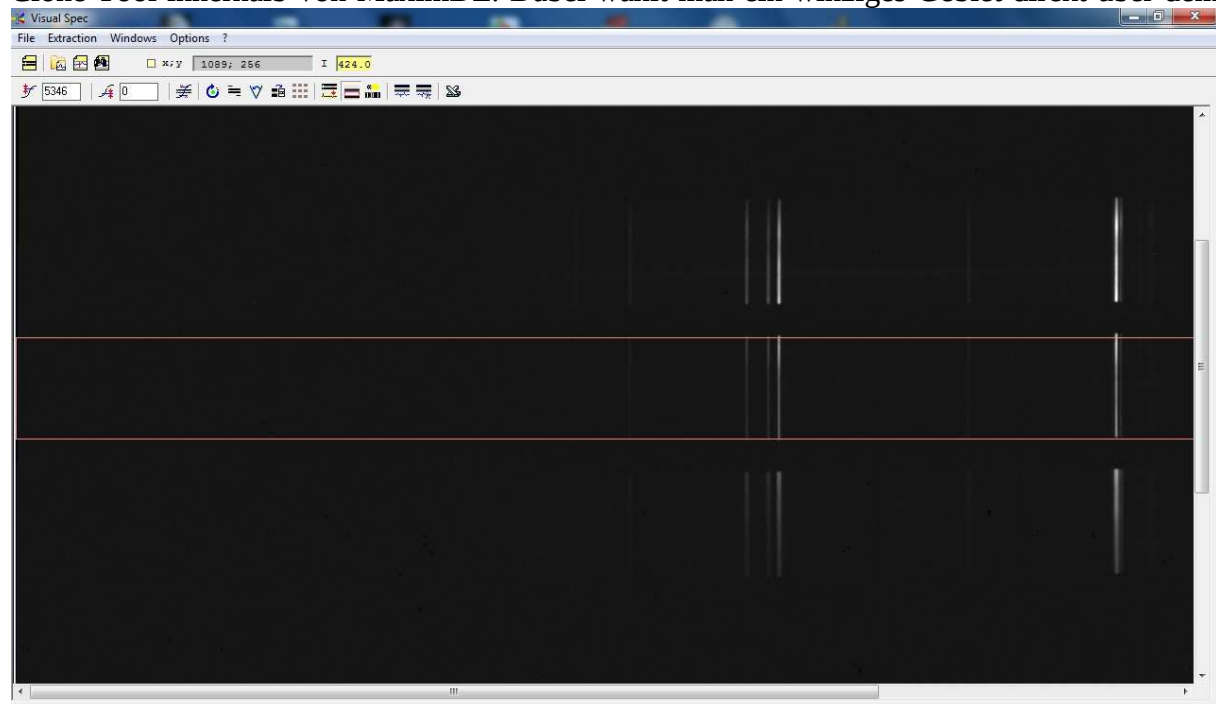


Abbildung 23 Horizontale Ausrichtung in MaximDL

Hotpixel an, kopiert dieses und ersetzt dann den Hotpixel durch es. Es ist deutlich sichtbar, dass

im mittleren der drei Spektren keine Hotpixel mehr erkennbar sind. Danach legten wir alle Spektren bei denen wir die Hotpixel beseitigt hatten mit Hilfe des Programms "FITSWORK" übereinander um ein genaueres Bild zu erhalten. Im Anschluss subtrahierten wir noch das aufgenommene Spektrum des Himmelshintergrundes vom gestackten M42 Spektrum um die durch ihn verursachten Verunreinigungen unserer Aufnahme zu entfernen. Bei ihm wurde natürlich vorher dasselbe Verfahren hinsichtlich der Hotpixels angewandt. Das Ergebnis ließ sich sehen:

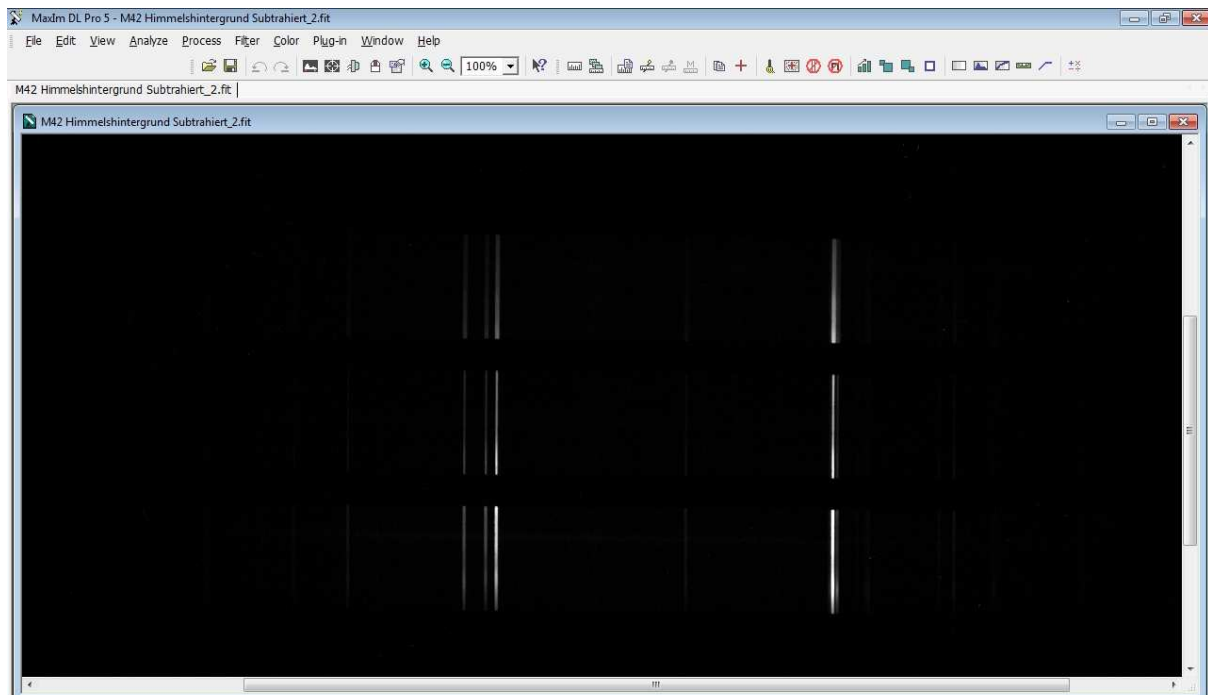


Abbildung 24 Fertiges Rohspektrum

Anschließend wurde dasselbe Prozedere anhand des, von der Referenzlampe aufgenommenen, Spektrums durchgeführt. Danach ging es an die Übertragung des Spektrums von M42 in einen Graphen. Dessen Y-Achse stellte die Intensität bei einer bestimmten Wellenlänge (X-Achse) dar. Dafür wurde das Programm "Visual Spec" genutzt. Dabei musste als erstes eine Wellenlängenkalisierung vorgenommen werden. Dafür luden wir neben dem Spektrum von M42 auch das Spektrum der Referenzlampe in Visual Spec. Denn von diesem Spektrum wussten wir bereits bestimmte Wellenlängen aus einem bereits fertig kalibrierten Spektrum. Also setzten wir an mehreren markanten Punkten im Spektrum der Referenzlampe Markierungen welche wir mit den entsprechenden Wellenlängen versahen und ließen so eine möglichst präzise X-Achse erstellen. Das Ergebnis sah gut aus, keiner der Kalibrierungspunkte lag über einer Abweichung von $0,2 \text{ \AA}$. Diese Genauigkeit hat uns gereicht. Außerdem verrät uns die Grafik 27, dass unsere Intensitäts-Messschritte bei ca. $4 \text{ \AA}$ liegen, dies wird bei der weiteren Auswertung noch ein Problem darstellen. Mit dem fertigen Spektrum konnten wir nun weiter arbeiten und dieses auswerten.

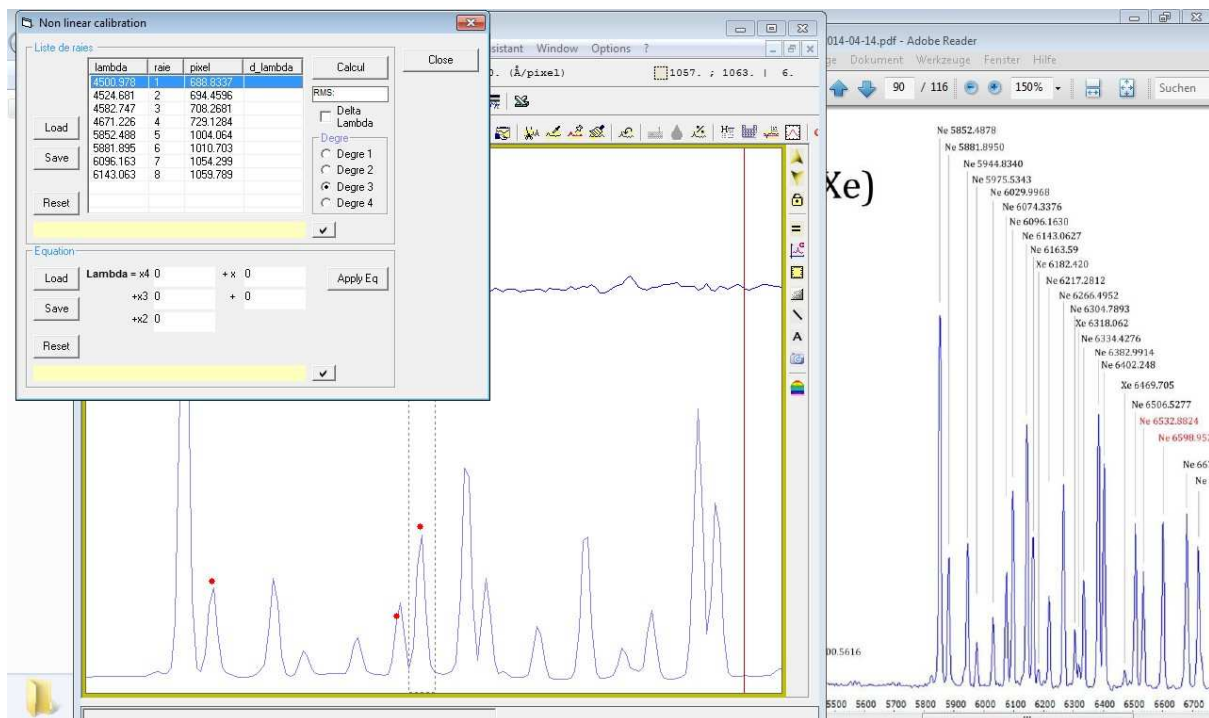


Abbildung 25 Wellenlängenkalibrierung in Visual Spec

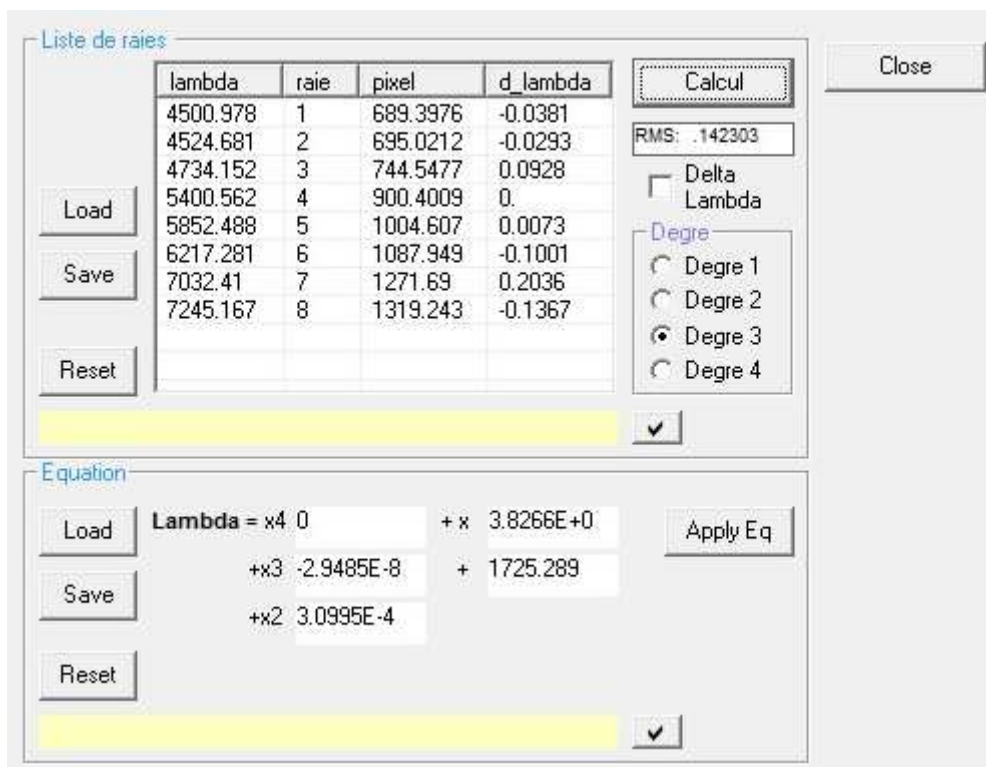


Abbildung 26 Zeigt das Ergebnis der Wellenlängen Kalibrierung

4.6 Auswertung

N II Verfahren für die Elektronentemperatur bei Emmisionsnebel									
Messung		I[NII] 5755		I[NII] 6548		I[NII] 6584		R	T_e
1		0.264		0.553		26,06			
2		0.264		0.553		26,06			
3		0.264		0.553		26,06			
4		0.264		0.553		26,06			
5		0.264		0.553		26,06			
6		0.264		0.553		26,06			
7		0.264		0.553		26,06			
8		0.264		0.553		26,06			
9		0.264		0.553		26,06			
10		0.264		0.553		26,06			
Ø		0.264		0.553		26,06			
11		2,509		5,91		4,55			
12		2,184		29,696		97,706		58,334	14055K
13		1,645		29,104		98,422		77.523	12117K
14		1,586		28,658		97,133		79.313	11985K
15		1,654		29,859		100,804		78.998	12007K
16		1,582		28,445		98,881		80.484	11901K
17		1,782		29,857		100,316		73.048	12477K
18		1,498		28,870		96,293		83.553	11693K
19		1,611		29,100		99,365		79.742	11954K
20		1,578		30,075		97,567		80.888	11873K
21		1,521		29,467		95,243		81.992	11797K
22		1,499		29,467		101,543		87.398	11452K
23		1,580		30,298		100,578		82.832	11740K

Abbildung 27 Zeigt die Excel Tabelle der Verschiedenen Messungen

Errechnung der Elektronentemperatur mithilfe der N II Methode (nach dem armenischen Astronomen Grigor Gurzadyan [1922-2014]), wobei man als erstes den sichtbaren Maximalradius des Orionnebels berechnet indem man die N II Linien bei $\lambda = 6548, 6584$ und 5755 verwendet. Dabei muss zuerst deren Intensität ermittelt werden. Dann kann man mit deren Hilfe den sichtbaren

Maximalradius des Nebels errechnen:
$$\frac{I(6548)+I(6584)}{I(5755)} = R$$

Hat man R schließlich errechnet, so kann man mit dessen Hilfe die Elektronentemperatur ausrechnen:

$$T_e = \frac{25.000}{\ln(\frac{R}{9,85})}$$

Im Anschluss kann man mit Hilfe der Elektronentemperatur und des Radius die Elektronendichte bestimmen:

$$N_e = \sqrt{T_e} \cdot \frac{1,94 \cdot 10^5 - \frac{1,97 \cdot 10^4 \cdot R}{(e^{25000}/T_e)}}{\frac{61,5 \cdot R}{(e^{25000}/T_e)} - 1}$$

Aus dem fertigen Spektrum konnten wir schließlich die Temperatur der Elektronen im Orionnebel errechnen, wie im Kapitel 5.5 erklärt. Dabei ergaben sich folgende Werte für die Intensitäten der NII Linien, R und T_e . Nach Fehlern in den ersten zehn Messungen ergaben sich schließlich in den Messungen 11 bis 23 sinnvollere Werte für die drei NII Linien, aus denen sich schließlich 12 Werte für R errechnen ließen, welche zwischen 58,334 und 87,398 variieren. Es ergibt sich ein Durchschnittswert von 78,675. Die Fehler in den ersten Bildern lassen sich auf darauf zurückführen, dass wir bei den oben genannten Werten noch nicht ein Verfahren angewendet hatten, bei dem man die Intensitäten-Unterteilung künstlich verkleinert. Während wir bei den ersten Werten eine Unterteilung von allen 4 Å hatten, haben wir diese bei den Werten 12 bis 23 künstlich herabgesetzt auf ca. 0,1 Å. Dieses Verfahren ist nötig, da wir keine sehr hohe Auflösung hatten. Dies ist auch der Grund warum wir für die ersten Werte (1 bis 11) keine R und keine T_e Werte ausgerechnet hatten, diese Werte waren einfach unbrauchbar. Mit den Werten für R war es dann möglich, die Elektronentemperatur auszurechnen. Die Errechneten Temperaturen liegen in einem Bereich zwischen 11452 Kelvin und 14055 Kelvin und belaufen sich auf eine durchschnittliche Temperatur von 12087,58 Kelvin. Auffällig ist, dass das auf Messung 11 basierende Ergebnis im Falle von R (58,334), mit sehr großem Abstand zu den restlichen R -Werten die Untergrenze darstellt und das Ergebnis für T_e (14055K) mit großem Abstand zu den restlichen T_e -Werten die Obergrenze darstellt. Das gleich wendet man nun mit dem Vorhandenen T_e -Wert auf den N_e -Wert an und erhält so Werte für die Elektronendichte.

4.7 Ergebnisse

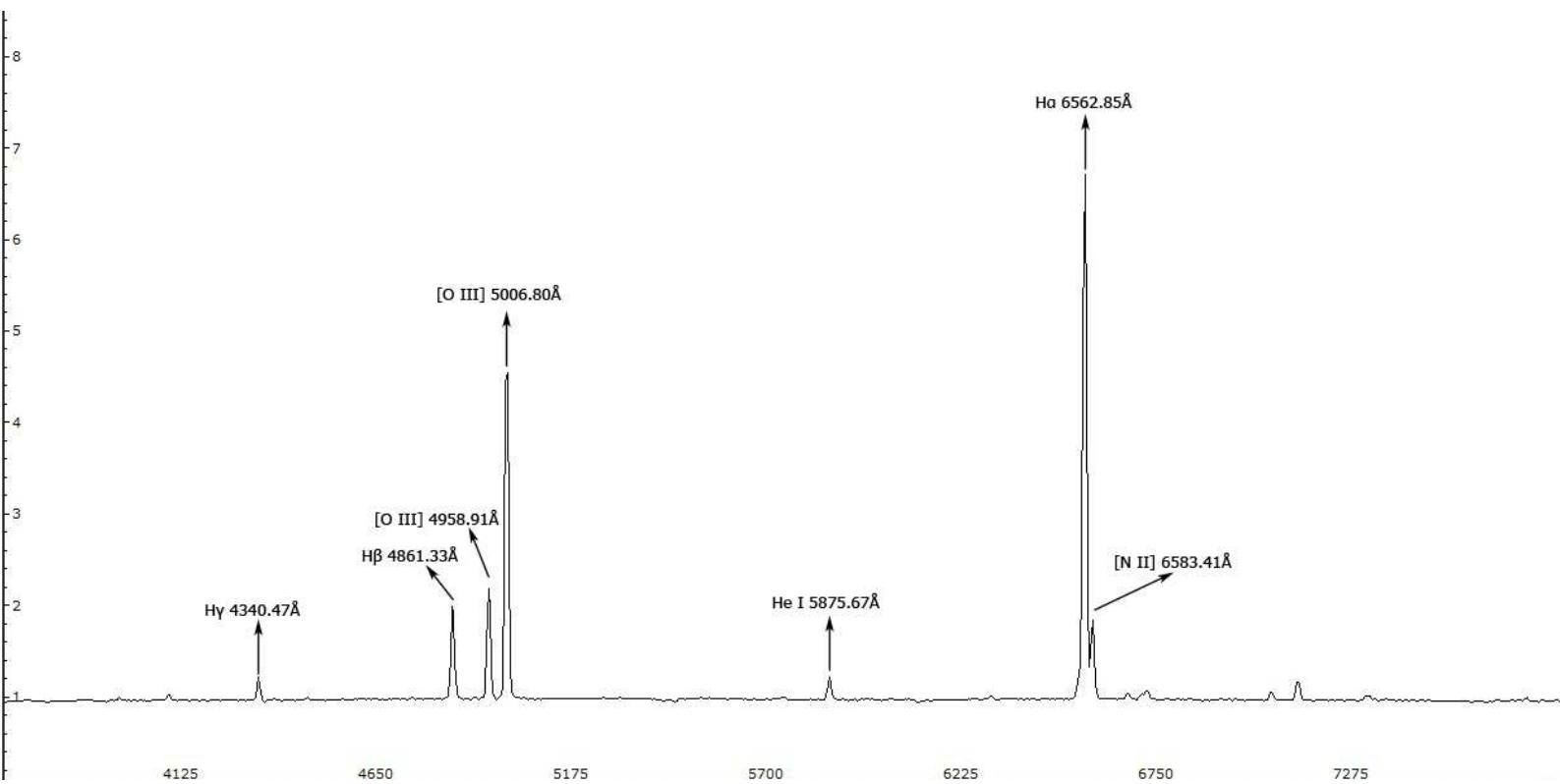


Abbildung 28 Zeigt das fertige Spektrum des Orionnebels. Wellenlängenkalibriert und mit den wichtigsten Elementen beschriftet

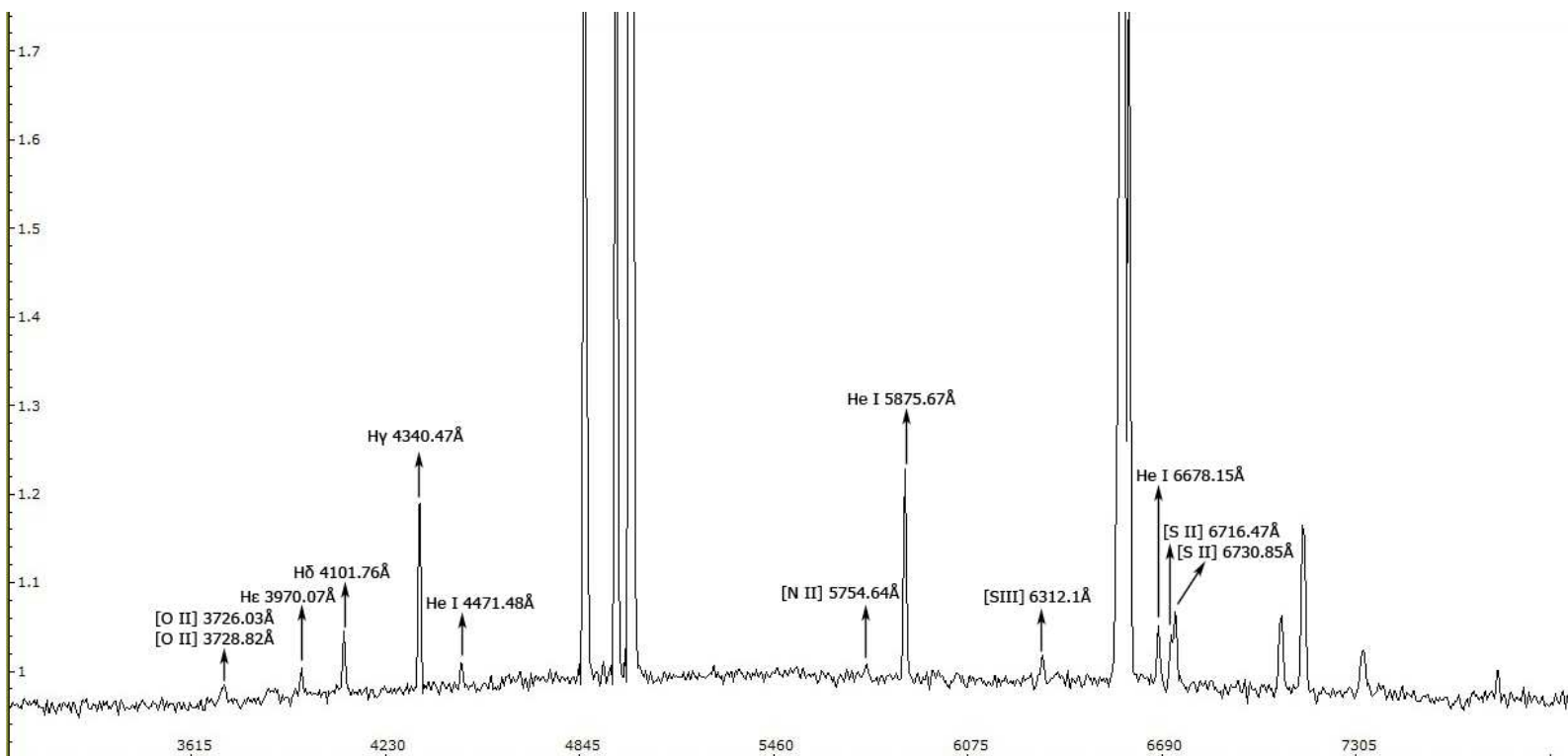


Abbildung 29 Zeigt das fertige Spektrum des Orionnebels. Wellenlängenkalibriert und mit den wichtigsten Elementen beschriftet

Zum einen liefert die Spektroskopische Untersuchung einen Ansatz davon, welche Elemente der Orionnebel beinhaltet. Dies sind hauptsächlich Wasserstoff und Helium. Andererseits liefert uns das N II-Verfahren auch Informationen über die Elektronentemperatur, also über Temperaturen im Orionnebel, andererseits aber auch über die Dichte von Teilchen innerhalb des Nebels.

Durch die Anwendung des N II-Verfahrens ergaben sich folgende Werte:

Elektronentemperatur: 12000 Kelvin $\pm$ 1000 Kelvin

Die Werte sind wirklich nur überschlagswerte, da man bei diesen großen Abweichung wirklich kein exaktes Ergebnis angeben kann.

Literatur: 10210 Kelvin bis 11390 Kelvin, je nach Bereich in dem man misst. Damit liegen die Wert sogar noch relativ nahe zu Literatur Werten, ob dies nur reiner Zufall war oder doch ein exaktes Messergebnis ist, kann man nicht sagen und auch nicht feststellen, da es zu viel Fehlerquellen gibt, die man berücksichtigen muss, wir jedoch nicht berücksichtigt haben oder es einfach nicht konnten.

Elektronendichte: 5500 Teilchen / cm^3

Literatur: 3800 bis 5800 Teilchen / cm^3 wieder einmal sind die Literaturwerte die nahe dem auch von uns gemessenem Gebiet im Orionnebel liegen.

4.8 Fehleranalyse

4.8.1 Ungenauigkeiten der Aufnahmen

Durch die Aufnahme unserer Messungen nahe des Trapez (Astronomisch), wo die für die Ionisierung und dadurch auch das Leuchten des Emissionsnebel verantwortlichen Sterne im Alter von wenigen Tausend bis eine Millionen Jahre liegen, ergab sich eine relativ zur näheren Um-

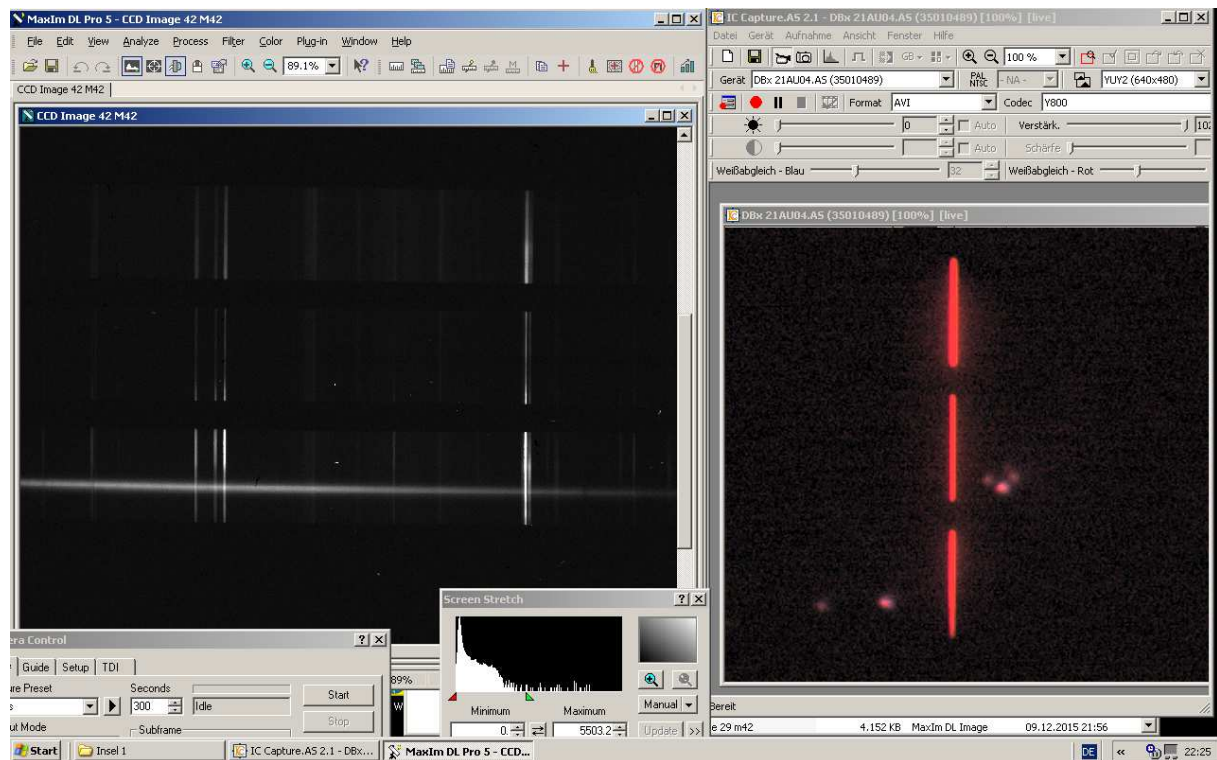


Abbildung 30 Die Position des Spaltes nahe des Trapezes: Aufgenommen mit IC-Capture und der DMK41 Videokamera

gebung höhere Elektronentemperatur. Vergleichbare Ergebnisse lieferte die Literatur ebenfalls. Dazu kommt, dass alle unsere spektroskopischen Aufnahmen mit einem 200 Linien / mm Gitter gemacht wurden. Dieses hat nun Vor- aber auch Nachteile. Zum einen bietet das Gitter eine Gesamtaufnahme des Spektrums, man kann den gesamten sichtbaren Bereich in nur einem Bild aufnehmen und dies erspart ein kompliziertes Bearbeiten der Bilder. Zum anderen jedoch sind dadurch die Aufnahmen nicht so scharf, wie z.B. bei einem 1200 Linien / mm Gitter. Dadurch können Abweichungen entstehen, die am Ende eventuell fatal sein können. Abbildung 7 zeigt das fertige Spektrum und man sieht deutlich, dass an einigen Stellen, wie z.B. [N II] 5754,65 Å, das kleinste unscharfe Abweichungen eine große Abweichung bei der Messung der Werte verursachen kann. Nun ist auch noch so, dass der oben genannte Wert für unsere Messungen relevant ist und daher ist es umso ärgerlicher, wenn dieser ungenau ist. Und man sieht, dass der Wert wirklich ein kleiner Peak nur ist, der vom Hintergrundrauschen kaum zu erkennen ist.

Deswegen ist es hier hilfreich ein möglichst scharfes Spektrum vorliegen zu haben, um für den [N II] Wert ein möglichst exaktes Ergebnis zu bekommen.

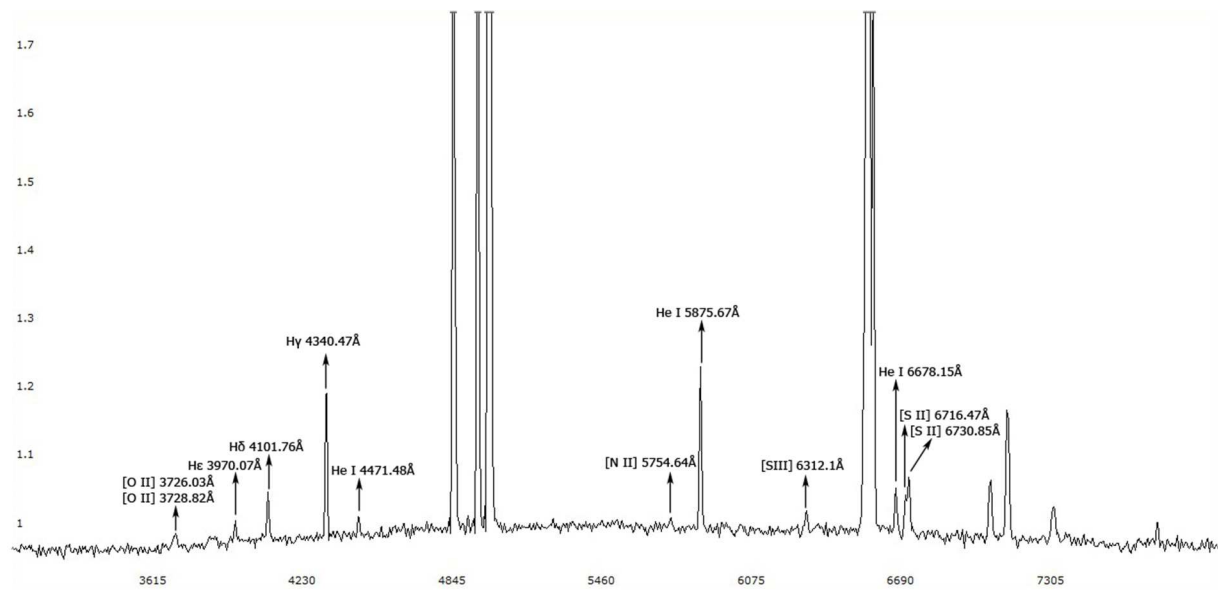


Abbildung 31 Zeigt das fertige Spektrum mit Beschriftung der einzelnen Ausschläge (X-Achse benennt die Wellenlänge, Y-Achse die Intensität).

4.8.2 Quanteneffizienzkurve der Kamera

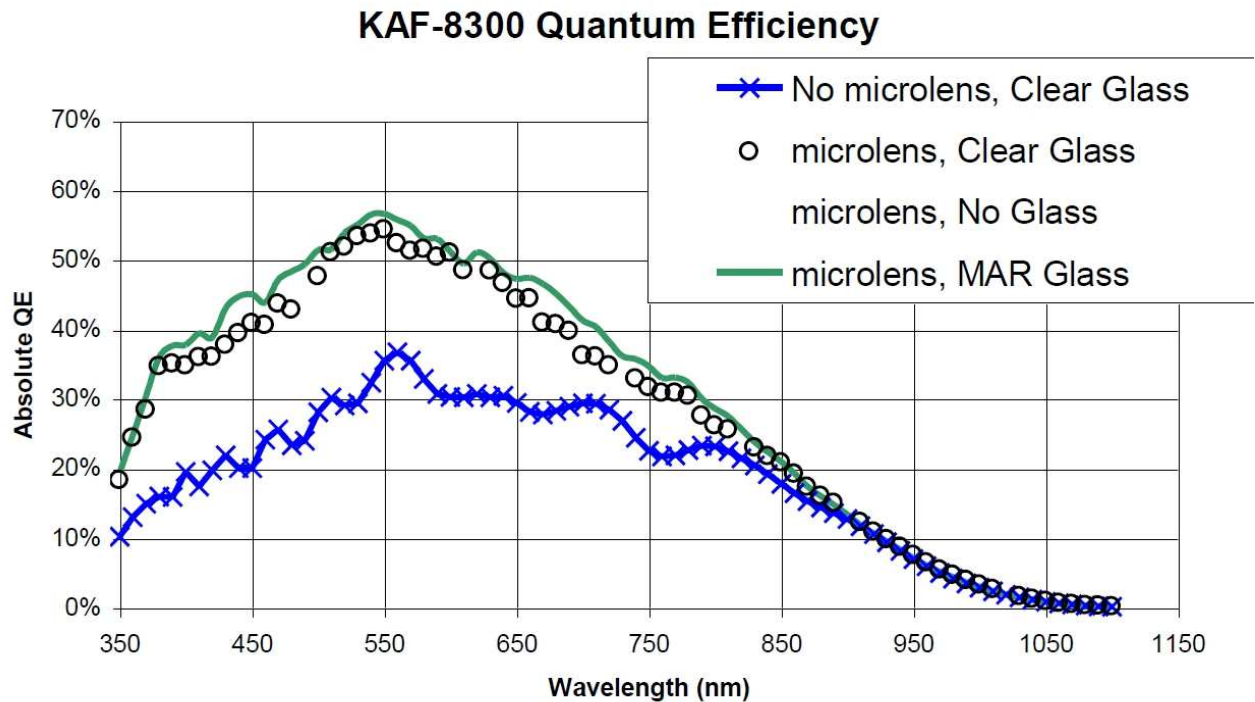


Abbildung 32 Zeigt die Quanteneffizienzkurve der Verwendeten CCD-Kamera von SBIG

Die oben aufgeführte Grafik zeigt die Quanteneffizienzkurve der in unserem Spektrum verwendeten CCD-Kamera SBIG STF-8300M. Diese zeigt auf der X-Achse die Wellenlänge des Lichts (in nm) und auf der Y-Achse zeigt sie die absolute Quanteneffizienz abhängig von der Wellenlänge. Die Quanteneffizienz beschreibt die Wahrscheinlichkeit mit der ein Photon ein Elektron aus dem Ladungsträger herausschlägt. Man sieht eindeutig, dass das Maximum der Kurve bei ca. 550nm liegt. Hier hat die Kamera ihre höchste Empfindlichkeit. Um nun eine optimale Auswertung vorzunehmen müsste man diese Kurve durch die des Spektrums dividieren und dann ein Verhältnis der einzelnen Gemessenen Punkten aufstellen und berücksichtigen, um am Ende ein perfektes Ergebnis zu bekommen. In unserer Arbeit haben wir diesen Schritt vernachlässigt, da Überschlags Rechnungen keine großen Abweichungen von unseren Ergebnissen brachten. Daher entschlossen wir uns dies lediglich in die Fehleranalyse mit einzubeziehen.

4.8.3 Extinktion

Himmel sehr klar, mondlose Nacht, wenig Wind, aber sehr nass!! Korrektionsplatte nach wenigen Minuten beschlagen. Fön eingesetzt.

Das Zitat ist aus dem Protokoll der Nacht in der wir die Aufnahmen gemacht haben. Die Extinktion beschreibt ursprünglich die Abschwächung von Licht durch die Erdatmosphäre. Oder auch durch Interstellare Materie. Zum Beispiel wenn das Licht durch einen weiteren Nebel fliegen würde, würde es abgeschwächt und nur ein Teil des Lichtes käme zur Erde. Außerdem hat die Erde eine Atmosphäre von ca. 100km, wo Photonen aus dem Interstellaren Raum, also auch vom Orionnebel, Abgelenkt werden oder diese ganz einfach mit Teilchen reagieren. Deshalb werden die besten Aufnahmen auch im Erdborbit gemacht. Das bekannteste hier ist das Hubble-Weltraumteleskop der Raumfahrt Organisationen NASA und ESA. Außerdem war in der Nacht der Aufnahmen, der Orionnebel so gelegen, dass er über der Müllverbrennungsanlage der Stadt Wuppertal zu sehen war. So hatten wir immer wieder Nebel oder Rauchschwaden im Bild, was zur Minderung der Qualität beigetragen hat.

5. Fragestellung beantworten

Zur Aufgabe unserer Arbeit haben wir uns gemacht den Orionnebel spektroskopisch zu untersuchen und so Rückschlüsse auf seine Dichte und seine Temperatur zu ziehen, außerdem natürlich seine Zusammensetzung zu untersuchen. Am Ende haben wir ein wirklich vorzeigbares Ergebnis erarbeitet und sind stolz auf dieses. Natürlich gibt es noch vieles was man verbessern könnte, ob es nun schärfere Aufnahmen sind, ob es die Arbeit mit einem besserem Teleskop ist oder die Tatsache, dass man noch weiter nachforschen könnte, um noch mehr Ergebnisse aus den Messungen zu erschließen. Wir sind mit unseren Ergebnissen sehr zufrieden und haben auch ein Erfolgserlebnis damit, dass unsere Werte tatsächlich nahe denen der Literatur kommen. Im Nachhinein kann man immer sagen, dass man einiges hätte besser machen können, jedoch war dies unser erstes Projekt im Fach der Astronomie und wir hoffen natürlich auf weitere.

6. Ausblick

In der Zukunft werden wir uns natürlich weiter mit dem Thema Orionnebel beschäftigen, außerdem mit weiteren Emissionsnebeln als Vergleich zum Orionnebel.

Im genaueren heißt das, dass wir den Orionnebel zunächst mit einem feineren Blazegitter spektroskopieren werden. Dadurch erhalten wir schärfere Aufnahmen und können unsere Ergebnisse exakter gestalten, dadurch dass die Werte bei dem N II-Verfahren dadurch immer genauer werden und wir auch andere Verfahren zur Bestimmung der Elektronentemperatur anwenden können, die uns bei unserer aktuellen Auflösung entgangen sind.

Dann werden wir natürlich eine brillante Astrofotografie des Orionnebels erstellen, mit dem man einen ersten Eindruck zum Orionnebel erschafft und so auch verschiedene Regionen genauer veranschaulichen kann.

Und als letztes könnte man nun verschiedene Regionen des Orionnebels miteinander vergleichen. Das heißt man unterteilt den Bereich um das Trapez in ein grobes Raster und geht dann mit dem Spektrographen dieser Raster ab und macht bei jedem der einzelnen Unterteilungen einen Datensatz. Dies am Ende zu bearbeiten und auszuwerten würde sehr viel Zeit kosten, doch das Ergebnis wäre sehr toll. Wenn man nun noch durch die schärferen Aufnahmen durch ein feineres Gitter machen würde, könnte man so Elektronentemperaturen und Elektronendichten miteinander vergleichen.

7. Literaturverzeichnis

- 1) Richard Walker - Praktische Aspekte der Astrospektroskopie
- 2) André Rondi - Thierry Maciaszek - Christian Buil - T60 MISSION Pic du Midi Observatory 28 August to 2 September 2002
- 3) Acker, A. - Spectrophotometry of nebulae
- 4) Koch, Bernd - Kalibrierung von Sternspektren
- 5) Spektroskopie an galaktischen Gasnebeln - Peter Stinner
- 6) Tutorial-DADOS-V35D-2014-04-14
- 7) Walker, R. - Plasmadiagnose bei Emissionsnebeln
- 8) Jessica Anne Harris - SPECTROSCOPY OF THE EXTENDED ORION NEBULA
- 9) Walker, R.- Emissionsnebel

7.1 Verwendete Software

- 1) DMK - IC Capture.AS 2.0
- 2) MaxIm DL 5.24
- 3) Visual Spec
- 4) Photoshop CS2
- 5) Fitswork
- 6) FS-Capture

8. Quellenverzeichnis

- 1) <http://www.astrofreunde-franken.de/m42.html>
- 2) <https://de.wikipedia.org/wiki/Orionnebel>
- 3) <http://www.bela1996.de/astronomy/orion-vars.html>
- 4) [https://de.wikipedia.org/wiki/Trapez_\(Astronomie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Trapez_(Astronomie))
- 5) <http://www.epsilon-lyrae.de/Doppelsterne/Trapez/ThetaOrionis.html>
- 6) [https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%85ngstr%C3%B6m_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%85ngstr%C3%B6m_(Einheit))
- 7) <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdatmosph%C3%A4re>
- 8) <https://de.wikipedia.org/wiki/Hubble-Weltraumteleskop>
- 9) <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/orionnebel-tiefer-blick-in-den-hexenkessel-der-sterne-a-394847.html>
- 10) [http://www.linkfang.de/wiki/Trapez_\(Astronomie\)](http://www.linkfang.de/wiki/Trapez_(Astronomie))
- 11) <http://www.astrosurf.com/buil/us/mission2/mission2.htm>

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-6: www.wikipedia.com

Abb. 8: www.sbig.com

Abb.9: www.astroshop.de

Abb.11: http://www.canon.de/About_Us/Press_Centre/Product_Information/cameras_accessories/EOS_450D.aspx

Abb. 12: Koch, Bernd, Astrofotografie mit der EOS 450D, in: [http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie mit der EOS 450D \(Grundkurs\).pdf](http://www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie_mit_der_EOS_450D_(Grundkurs).pdf), S. 2

Abb.13:http://www.baader-planetarium.de/sektion/s45/bilder/vergleich_350d_baader_acf_gross.jpg

Abb. 14: <http://www.teleskop-express.de/shop/Bilder/shop/Baader/dados/dados-spektrograph.jpg>

Abb.19: www.Wikipedia.com

Abb.32: <http://www.gxccd.com/art?id=441&cat=22&lang=409>

9. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erklären wir an Eides Statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt haben. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, haben wir durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Wuppertal, 01.06.2016

Axel Könekamp

Moritz Urban