Carl-Fuhlrott-Gymnasium Jahrgangsstufe Q1

Wuppertal Schuljahr 2013/2014

Facharbeit im Leistungsbereich Physik

Thema: **Aufnahme und Bildbearbeitung des Orionnebel**

Verfasser: Philip Steffen
Niklas Schleiser

Kursleiter: Bernd Koch

Foto: Philip Steffen
Niklas Schleiser

1. Einleitung

Schon seit langer Zeit faszinieren sich die Menschen für die unendlichen Weiten des Weltraums. Viele Dinge sind noch unerklärt und unglaublich. Es gibt ständig neue Dinge, welche entdeckt und erforscht werden. Das größte für uns wäre es, etwas Neues wie eine Supernova oder ähnliches zu entdecken. Schon immer war es ein Traum von uns das Weltall besser verstehen zu können und seine faszinierenden Weiten zu beobachten.

Als uns Michael Winkhaus im Physik Kurs den Astronomie Projektkurs vorstellte war für uns sofort klar, dass wir an diesem Kurs teilnehmen wollen um unser Wissen weiter auszubauen. Außerdem wollten wir die Chance nutzen, an einer professionellen Sternwarte arbeiten zu können die im Jahr 2009, durch das Engagement von Herr Michael Winkhaus, auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasium eröffnet wurde. Über die Information, dass ein professioneller Astronom, der selbst schon neue Dinge im Weltall entdeckt hat, uns unterrichten wird haben wir uns sehr gefreut.

1.1 Themenwahl

Da wir mit besonderer Begeisterung und großem Interesse spezielle und faszinierende Dinge aus dem Weltraum verfolgen, haben wir uns überlegt unsere Arbeit über einen Nebel zu machen. Auf Grund der Bekanntheit und eines geniales Bildes des Orionnebels auf der Sternwarte, haben wir uns recht schnell dazu entschieden, uns auf den Orionnebel zu spezialisieren. Ebenfalls ist nicht zu vernachlässigen, dass der Orionnebel der hellste Nebel am Himmel, und somit am besten zu fotografieren ist.

Grade die wundervollen Farben und Schleier des Orionnebels haben uns interessiert und verblüfft und in uns die Frage aufkommen lassen, wie ein solcher Nebel entsteht.

2. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung_____ S.1

1.1 Themenwahl_____ S.1

2. Inhaltsverzeichnis_____ S.2

3. Das Aufnahmeobjekt Orionnebel M42_____ S.4

3.1 Charles Messier_____ S.4

3.2 Orionnebel_____ S.6

3.2.1 Der Trapezstern_____ S.7

4. Aufnahmetechnik_____ S.7

4.1 Deep-Sky-Objekte_____ S.7

4.2 Die Canon EOS 450D (mod)_____ S.8

4.2.1 Modifikation der Kamera_____ S.8

4.2.2 Technische Daten der Kamera_____ S.9

4.2.3 Funktionsweise der Kamera_____ S.10

4.2.4 Die Aufnahmesoftware (EOS Utility)_____ S.12

4.3. Teleskope und Filter_____ S.15

4.3.1Der apochromatische Refraktor Pentax 75 SDHF___ S.15

4.3.2 Filter_____ S.17

5. Planung und Durchführung der Aufnahmen_____ S.18

5.1 Aufnahmebedinungen_____ S.19

5.1.1 Das Wetter und die Atmosphäre_____ S.19

5.1.2 Astronomische Bedinungen_____ S.20

5.1.3 Auswirkungen der Zivilisation_____ S.21

Inhaltsverzeichnis

5. Planung und Durchführung der Aufnahmen

5.2 Beschreibung der Beobachtungsabende_____ S.22

5.2.1 Beobachtungsabend 1_____ S.22

5.2.2 Beobachtungsabend 2_____ S.23

5.2.3 Beobachtungsabend 3_____ S.24

5.3 Durchführung der Aufnahmen_____ S.24

5.3.1 Bilderreihe 1_____ S.25

5.3.2 Bilderreihe 2_____ S26

5.3.3 Bilderreihe 3_____ S.27

6. Sichtung der Aufnahmen_____ S.28

6.1 Erste Aussortierung der Aufnahmen_____ S.28

6.2 Identifizieren von Objekten_____ S.28

7. Stacking_____ S.30

7.1 Aussortieren der Bilder_____ S.30

7.2“Stacken“_____ S.31

8. Photoshop_____ S.34

9. Ergebnis_____ S.36

9.1 Fertiges Ergebnisbild_____ S.36

9.2 Auswertung des Ergenbnisbildes_____ S.37

10. Schlussüberlegung_____ S.37

11. Abschlusserklärung_____ S.38

3.Das Aufnahmeobjekt Orionnebel

3.1 Charles Messier[1]

Charles Messier war ein französischer Astronom, der am 26. Juni 1730 in Badonviller geboren wurde. Er war der Sohn des Gerichtsvollziehers Nicolas Messier und hatte elf weitere Geschwister, von denen neun älter waren als er. Sechs seiner Geschwister starben allerdings, als sie noch sehr jung waren. Sein Vater starb ebenfalls, noch bevor Charles sein 13. Lebensjahr erreichte.

Als Messier im Alter von 14 Jahren die Gelegenheit hatte, einen hellen Kometen zu beobachten, entdeckte er sein großes Interesse an der Astronomie. Vier Jahre später wurde er außerdem Zeuge einer ringförmigen Sonnenfinsternis, die sich am 25. Juli 1748 ereignete.

Abb. 1: Charles Messier[2]

Mit 21 Jahren fasste er seinen Entschluss nach Paris zugehen, um dort astronomische Tätigkeiten auszuüben. Messier wurde von Nicholas Delisle, der Astronom der Marine war, eingestellt und konnte dort sein Wissen vertiefen und Erfahrungen sammeln. Die erste dokumentierte Beobachtung Messiers fand am 6. Mai 1753 statt. Dabei handelte es sich um den Merkurtransit. Das benötigte Wissen um seine Beobachtungen richtig zu dokumentieren lernte er von Delisle, der ihn lehrte, immer mit der größtmöglichen Akkuratesse vorzugehen.

Einige Jahre später wurde er zu einem Schreiber der Marine, seine Arbeit bestand unter anderem daraus, Karten zu zeichnen. Er suchte zusätzlich nach dem „Halleyschen Kometen“, über dessen Erscheinen von Edmond Halley vorausgesagt wurde. Da die berechneten Daten von Delisle, auf die Messier seine Suche stütze, allerdings falsch waren und er deshalb an der falschen Stelle suchte. Er fand stattdessen den „Andromedanebel“ und am 14. August 1758 einen anderen Kometen.

Danach suchte Messier nach weiteren Kometen. Allerdings hatte er öfter das Problem, dass er Nebel fand und diese erst versehentlich für Kometen hielt. Um selber nicht weiter verwirrt zu werden, fiel der Entschluss, die entdeckten Nebel zu katalogisieren.

Im Jahr 1764 verzeichnete Messier die Objekte M3 bis M40 in seinem Katalog. Manche von diesen Objekten übernahm er aus Katalogen von anderen bekannten Astronomen, darunter z.B. Edmond Halley und William Derham. 19 dieser Objekte entdeckte er allerdings selber. Zusätzlich wurde er zu dieser Zeit Mitglied einiger renommierten wissenschaftlicher Gesellschaften und Akademien.

Die erste Version seines Katalogs veröffentlichte er im Jahr 1769. Anschließend fügte er noch sehr bekannte Objekte zu seinem Katalog hinzu. Unter diesen ist unter anderem, der im Katalog als M42 betitelte, Orion-Nebel. Am 16. Februar 1771 stellte er seinen Katalog schließlich auch der Pariser Akademie vor.

[2] http://d1jqu7g1y74ds1.cloudfront.net/wp-content/uploads/2009/06/1240238505_extras_ladillos_1_g_0.jpg

[1] http://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Messier

3.2 Orionnenebel[4,5]

Der Orionnebel ist der sichtbare Teil eines viel größeren Nebels und ist ein so genannter Emissionsnebel. Das bedeutet, dass er nicht nur von einem Stern angeleuchtet wird, sondern selber leuchtet. Dieses Leuchten entsteht, weil ein Stern, der inmitten des Nebels liegt, die Partikel ionisiert und deshalb zum leuchten anregt. Eine weitere Besonderheit des Nebels ist, dass es sich bei ihm um ein extrem aktives Stern-Entstehungsgebiet handelt. Um genau zu sein eins der aktivsten in der Nähe unseres Sonnensystems. Diese Entfernung liegt nach Berechnungen zwischen 1600 und 1900 Lichtjahre entfernt und erstreckt sich um 30 Lichtjahre, was mehr als das 20000-fache unseres Sonnensystems ist. Man geht davon aus, dass sich in den nächsten paar Millionen Jahren in dem Nebel ein Sternhaufen bilden wird.

Schon jetzt kann man den Orionnebel, bei guten Bedingungen kurz unter den drei Gürtelsternen des Sternbilds Orion, erkennen.

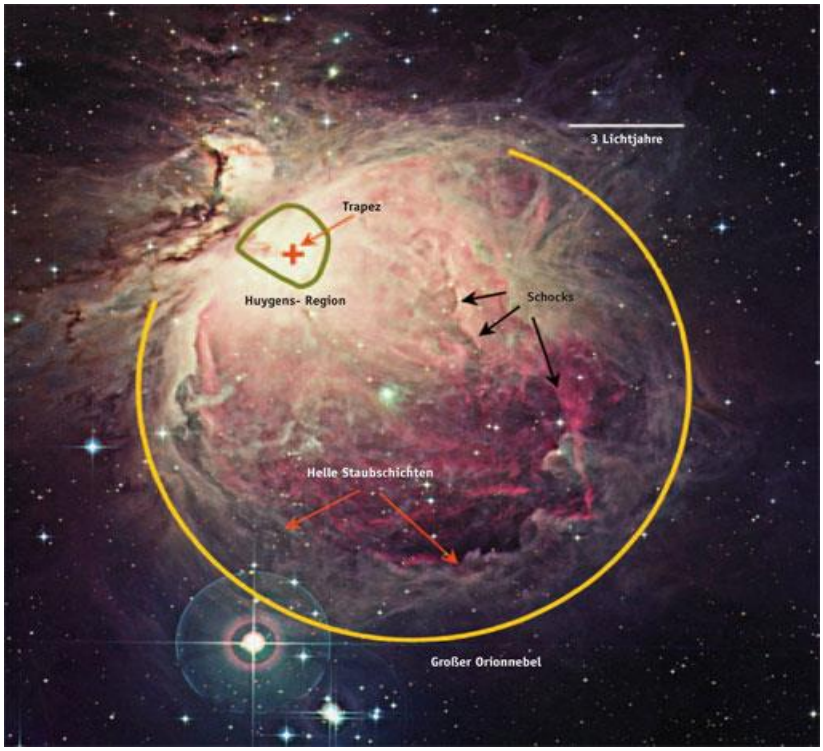

Abb.3: Ein Bild des Orionnebels in dem einzelne Regionen markiert sind[3]

[3]Abb. 3: http://www.mpia.de/Public/Aktuelles/PR/2007/PR071130/PR_071130_1.jpg

[4]http://www.sternwarte-passau.de/objekt_m42.html

[5]http://de.wikipedia.org/wiki/Orionnebel

3.2.1 Der Trapezstern

Im Zentrum des Orionnebels befinden sich 4 Trapez Sterne. Bei diesen Sternen handelt es sich um die Sterne „Orionis A“, „Orionis B“, „Orionis C“ und „Orionis D“, wie bereits geschrieben bilden diese 4 Sterne eine Trapezform und ergeben einen optischen Mehrfachstern.

Die Trapezsterne im Zentrum des Nebels sind vor ca. 300 000 Jahren direkt aus dem Material des Orionnebels entstanden und lassen M42 heute durch Ionisation leuchten.

Der Trapeziumhaufen ist mit seinen 300 000 Jahren eine jüngere Gruppe des Orionnebel-Haufen, welcher aus ca. 2000 Sternen besteht.

4. Die Aufnahmetechnik

4.1 Deep-Sky-Objekte[1]

Das von uns ausgewählte Objekt, wobei es sich um den Orionnebel, der auch als M42 bezeichnet wird handelt, ist ein so genanntes „Deep-Sky-Objekt“. Das bedeutet, dass es außerhalb unseres Sonnensystems liegt. Darum ist eine besondere Ausstattung nötig, wenn man gute Ergebnisse bei der Fotografie erreichen möchte. Unerlässlich sind eine empfindliche Kamera, deren Filter auf „Deep-Sky-Objekte“ ausgelegt ist und optisch perfekt abbildende Teleskope, die zusätzlich sehr standfest montiert werden müssen

Die Ausstattung ist aber kein Garant dafür, dass die Ergebnisse zufrieden stellend sind. Es spielen bei der Beobachtung von „Deep-Sky-Objekten“ noch andere Faktoren eine Rolle. Diese sind zum Beispiel ein klarer dunstfreier Himmel und keine andere große Lichtquelle. Der Halbmond alleine kann ausreichen, dass Bereiche von lichtschwachen Objekten auf den Bildern nicht sichtbar sind.

Die Astrostation unsere Schule stellte uns diese Materialien zur Verfügung. Dabei handelte es sich um eine modifizierte Canon EOS 450D, dem Pentax 75 SDHF und der AstroPhysics GTO 900.

4.2 Die Canon EOS 450D Mod

4.2.1Modifikation der Kamera[6,7]

Wie bereits erwähnt stand uns für unsere Aufnahmen eine Canon EOS 450D Mod zur Verfügung. Der kleine Zusatz „Mod“ bedeutet, dass der eigentliche Filter der Kamera gegen einen ACF-Filter ausgetauscht wurde. Das ist nötig, da der Standart-Filter der Kamera nur die Wellenlängen, die auch für das menschliche Auge sichtbar sind, erfassen kann. Der ACF-Filter allerdings hat einen wesentlich größeren Wellenlängenbereich und kann damit viel mehr Licht einfangen als normale Kameras. Besonders wichtig ist die H-alpha-Wellenlänge 656,28 nm, deren Transmission bei dem eingebauten Filter um knapp 75 Prozent höher ist als bei Filtern, die normalerweise in Kameras verbaut sind.

Die folgende Abbildung vergleicht die Transmission der Wellenlängen in Prozent, des neu in die Kamera verbauten ACF-Filter mit der des Originalfilters von Canon. Bei dieser Abbildung wird besonders deutlich, dass die Transmission des Originalfilters ab ca. 500 nm deutlich zu fallen beginnt, während die des ACF-Filters bis knapp 700nm fast konstant bleibt. Der Unterschied bei 656,3 nm ist in der Abbildung ebenfalls verdeutlicht.

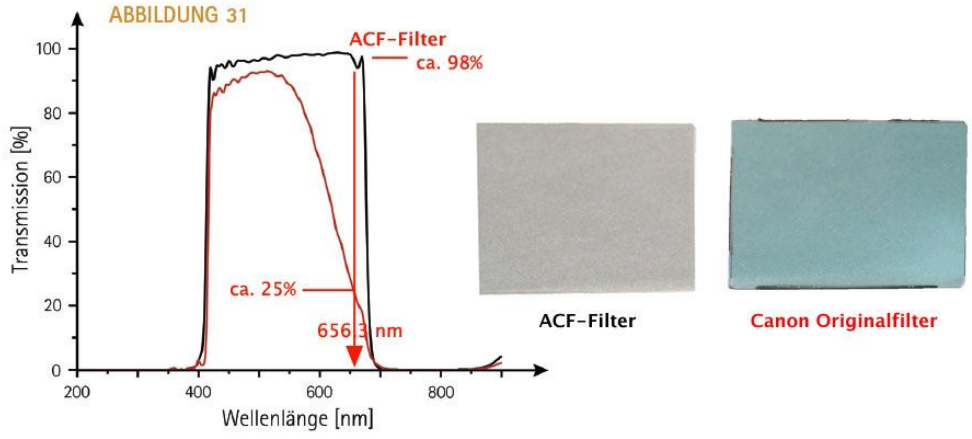

Abb. 3: Vergleich ACF-Filter und Canon Originalfilter[8]

[6]http://lexikon.astronomie.info/foto/serie/serie_12.html

[7]Herr Koch, Astrofotografie mit der Canon EOS 450 D (Grundkurs).pdf

[8]Abb. 3: Bernd Koch: http//www.astrofoto.de/Kurse/Astrofotografie mit der EOS 450D (Grundkurs).pdf

4.2.2 Technische Daten der Kamera [9]

Typ	CMOS-Sensor (22,2 x 14,8 mm)
Pixel gesamt	12,4
Pixel effektiv	12,2
Pixelgröße	5,2 µm
Auflösung	4.272 x 2.848 Pixel
Bildprozessor	DIGIC III

Abb. 4: Bild der Canon EOS 450 D[10]

[9] http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_450D/
[10] Abb. 4: http://www.letsgodigital.org/de/camera/review/164/page_2.html

4.2.3 Funktionsweise der Kamera [11]

Eines der wichtigsten Bestandteile der Kamera ist der CMOS Sensor. Das CMOS steht für „complementarymetal-oxid-semiconductor“, was auf Deutsch so viel heißt wie „sich ergänzender Metalloxid-Halbleiter“.

Die Aufgabe eines solchen Sensors ist es, das einfallende Licht in Spannungen umzuwandeln. Die Umwandlung ist durch Transistoren möglich, die direkt an den Pixeln liegen. Das ist auch der große Unterschied zu CCD-Sensoren, die nicht jeden Pixel einzeln ansteuern können. Die CMOS-Technik bietet noch weitere Vorteile. Zum Beispiel sind sie günstiger zu produzieren und haben zusätzlich integrierte Funktionen, wie eine Belichtungskontrolle und einen Analog/Digital-Wandler. Dadurch wird das Auslesen schneller und flexibler.

Ein solcher Sensor kann allerdings nur zwischen Hell und Dunkel unterscheiden und deshalb ist in diesem Fall ein Bayer-Sensor in der Kamera integriert. Der Bayer Sensor filtert das Licht nach den Primärfarben Blau (B), Rot (R) und Grün (G) noch bevor es auf die Fotodioden trifft.

Dieser Farbfilter ist nach dem Kodak-Mitarbeiter Dr. Bryce E. Bayer benannt. Dieser Filter ist der Augenempfindlichkeitskurve nachempfunden. Dieser weist im Grünbereich eine wesentlich höhere Empfindlichkeit nach als in den anderen Farbbereichen. Aus diesem Grund sind genauso viele Pixel mit einem Grünfilter verbunden, wie mit den beiden anderen Grundfarben zusammen. Daraus ergebend wechseln sich jeweils eine Reihe von Pixeln, die R-G-R-G… aufgebaut sind mit einer Reihe ab, die nach dem Schema G-B-G-B… aufgebaut ist.

Daraus ergibt sich, dass an den Ecken jedes roten Microfarbfilters jeweils ein Blauer angrenzt, wogegen an jede Ecke eines grünen ein weiterer grüner Filter grenzt.

Es entsteht also ein Verhältnis von 50 Prozent Grün, 25 Prozent Blau und 25 Prozent Rot.

Dies ist sehr gut in der folgenden Abbildung erkennbar.

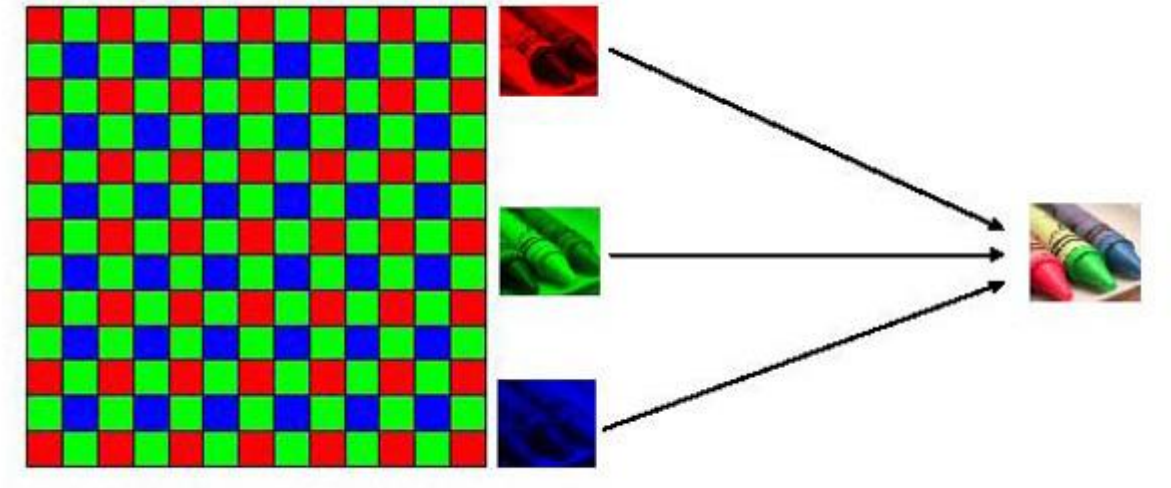

Abb. 5: Rot, grün und blau Verhältnis [12]

Errechnung der richtigen Farbe für einen Pixel:

Jedes Sensorelement misst den Farbwert für seinen Pixel. Anschließend wird dieser Wert mit denen der umliegenden Pixeln verrechnet, wobei davon ausgegangen wird, dass sich die Farben von zwei nebeneinander liegenden Pixeln sich nicht sehr stark unterscheiden. Dies ist natürlich nicht immer der Fall und kann deshalb manchmal zu Fehlern führen. Trotzdem hat sich dieses Verfahren durchgesetzt und ist heutzutage in den meisten Kameras zu finden.

[11] http://www.itwissen.info/definition/lexikon/CMOS-Sensor-CMOS-sensor.html

[12] Abb. 5: http://www.inline.com.au/images/1310523363_Image3.jpg

4.2.4 Die Aufnahmesoftware (EOS Utility)

Die Aufnahmen die man mit der Kamera macht, steuert man über das PC-Programm EOS Utility, das für Canon Kameras programmiert wurde. Nachdem man die Kamera über ein USB-Kabel am Laptop angeschlossen hat öffnet man das Programm. Dort hat man nun 4 Auswahlmöglichkeiten, was man gerade machen möchte. Um Fotos zu machen, muss man den Punkt „Kamera-Einstellungen/Fernaufnahme“ auswählen. Es öffnet sich nun das Aufnahmemenü. In diesem kann man Einstellungen, wie ISO-Wert, Belichtungszeit Speicherort und als was das Bild gespeichert werden soll, vornehmen.

Bevor man sich aber daran macht erste Bilder zu schießen, sollte man die Uhrzeit des Laptops und der Kamera mit einer Atomuhr synchronisieren. Dies geschieht über ein spezielles Programm am Laptop. Sobald die Kamera dann an den Laptop angeschlossen wird, wird auch die Uhrzeit der Kamera an die des Laptops angepasst. Dies ist wichtig, falls man fremde Objekte in dem zu beobachteten sieht und im Internet nachschaut oder selber veröffentlichen will, was man dort beobachtet hat. Veränderungen bei einem Objekt kann man bei einem späteren Arbeitsschritt dem so genannten Blinken feststellen. (siehe Kap. 4.2.4 EOS Utility S.29)

Sobald die Uhrzeit genau synchronisiert ist kann man die Vorbereitungen für die Aufnahmen fortsetzen. Dafür öffnet man über eine kleine Schaltfläche am unteren Rand von EOS Utility die Option „Remote Live View“. Ein neues Fenster öffnet sich auf das ein Live Video der angeschlossen Kamera angezeigt wird. Dies nutzt man um einen großen und hellen Stern zu fokussieren und dann am Pentax über die Regler scharf stellt. Wenn man diesen Arbeitsschritt überspringt, können die Sterne auf dem fertigen Bild übernatürlich groß und unscharf wirken. Dies ist uns an einem Abend bedauerlicherweise passiert. Leider bemerkten wir dies erst ganz am Ende, da wir uns die geschossen Bilder nur kurz anschauten und der Nebel darauf sehr gut aussah.

Nachdem scharf gestellt ist kann man sich an das Einstellen der weiteren Funktion machen. Wir wählten immer aus, dass die Bilder einmal im unkomprimierten RAW-Format und einmal als JPG abgespeichert werden. Zusätzlich hatten wir den ISO-Wert beinahe immer auf 800 eingestellt. Nur die Belichtungszeit haben wir variiert. Dort hatten wir eine Reichweite von 8 über 15 bis hin zu 30 Sekunden. Diese Ergebnisse haben wir dann später beim „Stacken“ zusammengefasst. Dafür benutzt man Fotos mit unterschiedlichen Belichtungszeiten, da in den Bildern mit einer hohen Belichtungszeit viele Informationen gespeichert wurden, dafür aber ein Rauschen entstehen kann. Dieses Rauschen relativiert man, wenn man dieses Bild dann mit denen mit weniger Belichtungszeit kombiniert.

Abb. 6: EOS-Utility Einstellungsfenster [13]

[13]Abb. 6: Foto: Niklas Schleiser

Nun werden erste Bilder gemacht. Dafür benutzt man den runden Auslösebutton in der Aufnahmesoftware. Die Bilder öffnen sich anschließend in einem neuen Fenster, in dem man sie betrachten kann. Wenn man mit diesen Bildern zufrieden ist kann man über das Stoppuhr-Symbol in EOS Utility einstellen, dass mehrere Bilder mit der gleichen Belichtung hintereinander aufgenommen werden. Dafür stellt man in einem neu geöffneten Fenster die gewünschte Belichtungszeit und die erwünschte Verzögerung zwischen den Bildern ein. Bei der Verzögerung sollte man bedenken, dass die Kamera ein Darkframe für die eingestellte Belichtungsreihe erstellt und die Kamera Zeit zum Verarbeiten der Bilder benötigt. Abschließend kann man die Anzahl der gewünschten Bilder angeben und die Aufnahme der Bilder starten.

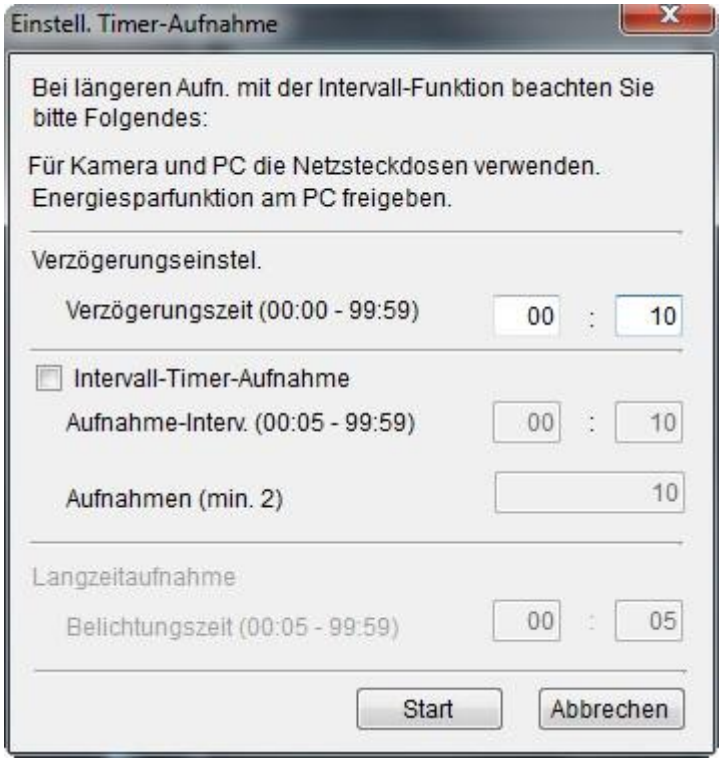

Abb.7: Einstellungsfenster EOS-Utillity[14]

Während die Bilder gemacht werden, sollte man ab und zu kontrollieren ob sich das zu beobachten gewünschte Objekt noch immer an der richtigen Stelle im Bild befindet. Es könnte an einen Rand des Bildes verrutscht sein, da der Motor, der die Drehbewegung der Erde kompensieren soll nicht immer perfekt funktioniert und manchmal etwas nachzieht. Ist dies der Fall kann man das Teleskop ein wenig in die gewünschte Richtung steuern, um das Objekt neu zu zentrieren.

[14]Abb.7: Foto: Niklas Schleiser

4.3 Teleskope und Filter

4.3.1 Der apochromatische Refraktor Pentax 75 SDHF[15]

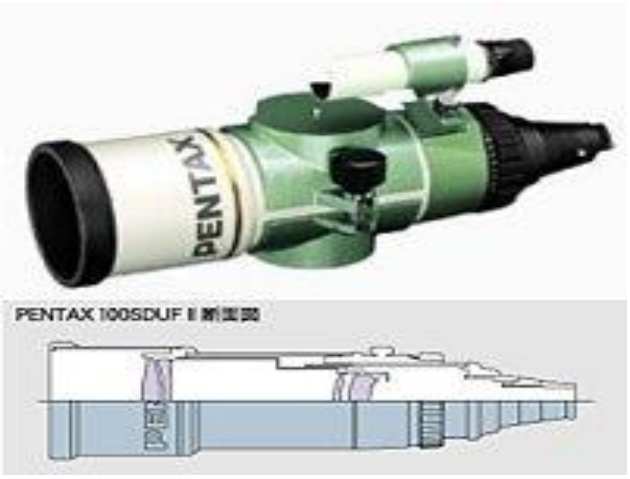

Abb. 8: Pentax 75[16]

Typbezeichnung	Pentax 75SDHF
Optischer Aufbau	3 Linsen / 3 Gruppen
Freie Öffnung	75mm
Brennweite	500mm
Öffnungsverhältnis	1:6,7
Grenzgröße visuell	11,5 m
Auflösungsvermögen	1,55 “
Lichtsammelvermögen	115 x
Tubusdurchmesser	75 mm
Länge über alles	530(480) mm
Gewicht	2,2 kg

[16]Abb. 8:Quelle ,

Das Pentax 75 SDHF ist das Teleskop, mit dem wir unsere Aufnahmen gemacht haben. Dieses ist ein Teleskop mit drei Linsen und einer freien Öffnung von 75m. Es bietet ein breites Spektrum an Einsetzungsmöglichkeiten. Mit dem Pentax sind gute Beobachtungen bei Sternen, Doppelsternen, Planeten, Nebeln und dem Mond der Erde keine Seltenheit. Die Berechnung des erfassten Bildfeldes ist wie folgt errechenbar:

Die Höhe errechnet sich mit dieser Formel:

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{a}{2 * f}$$

Hohe des Bildfeldes in Grad: α

Höhe des Chips der Canon EOS 450D: a=14,8mm

Brennweite des Pentax: f=500mm

$$\alpha = 2 * \arctan\left(\frac{a}{2 * f}\right)$$

$$\alpha = 1{,}6955°$$

Dieselbe Formel gilt auch für die Breite.

Dabei gilt β als die Breite des Gesichtsfeldes in Grad

und die Breite des Chips der Kamera als b (22,2mm)

$$\beta = 2°33'$$

Das errechnete Blickfeld beträgt also 2°33' X 1°42´

[15]Bernd Koch, Handout: Astrofotografie mit der Canon EOS 450D, S.3

4.3.2 Filter

Wie bereits schon in der Sektion über Deep-Sky Aufnahmen, sind wir auf nötige Aufnahmebedingungen eingegangen. Dazu gehörte unter anderem ein möglichst dunkler Himmel. Allerdings ist dies meist nicht gegeben. Wir hatten nur die Möglichkeit Bilder von unserer Sternwarte der Schule aufzunehmen. Der Himmel ist hier aber nie ganz dunkel. Er wird immer, durch die Lichter der Stadt und der großen in der Nähe liegenden Städte, wie Köln, Düsseldorf oder dem Ruhrgebiet, aufgehellt. Vor allem Straßenlaternen „verschmutzen“ das Licht enorm, da diese Lampen meist mit Quecksilber- oder Natriumgas betrieben werden und diese Bilder zum negativen verändern können.

In Ländern wie Deutschland kann man diesen Schwierigkeiten eigentlich nicht aus dem Weg gehen. Man müsste an einem Ort sein, in dessen Nähe sich keine großen Lichtquellen befinden. Diese Bedingungen sind nur in großen Wüsten oder extrem einsamen Gegenden vorhanden sind, in denen kaum Streulicht ist.

Einen Weg die Bedingungen für sich etwas zu verbessern ist aber vorhanden. Mit der Benutzung eines gewissen Filters, den man vor die Kamera montiert, werden die typischen Wellenlängen des Streulichts unterdrückt. In unserem Beispiel war es der IDAS LPS P2. Die aber, wie bereits erwähnt, für den Orionnebel sehr wichtigen Hα-Linien werden zu knapp 90 Prozent durchgelassen, was keine allzu große Veränderung mit sich bringt. Diese Wellenlängen kommen fast ausschließlich im Weltraum vor. Aufgrund dieses Filters ist es selbst in Großstädten möglich die Belichtungszeit zu verdoppeln, ohne dass das Ergebnis verschlechtert wird.

5. Planung und Durchführung der Aufnahmen

Um astronomische Aufnahmen durchzuführen, ist es besonders wichtig, dass gute Aufnahmebedingungen herrschen, um gute Aufnahmen zu erhalten.

Diese Aufnahmebedingungen bestehen aus verschiedenen Aspekten.

Dabei gibt es 3 besonders wichtige Aspekte wie das Wetter und die Atmosphäre, außerdem astronomische Bedingungen wie die Mondphase. Ebenfalls sollte die Auswirkung der Zivilisation nicht vernachlässigt werden. Oft wird die Qualität der Aufnahmen schon durch nur einen dieser Faktoren stark vermindert, wie wir selbst mehrfach erfahren mussten.

Abb. 9: Unsere Aufnahmeanordnung: Pentax 75-Teleskop mit angesetzter EOS 450D Kamera und Notebook zur Aufnahme der Bilder[17]

[17]Abb. 9: Foto: Niklas Schleiser

5.1 Aufnahmebedingungen

5.1.1 Das Wetter und die Atmosphäre

Das Wetter stellt die größte Herausforderung für gute astronomische Aufnahmen dar, denn das Wetter kann schon bevor man angefangen hat sein Equipment aufzubauen einen Strich durch die Rechnung machen. Denn wenn am Himmel dichte Wolken zu sehen sind kann man sich die Mühe des Aufbauens gleich sparen. Es ist unmöglich Sterne oder andere Himmelsobjekte durch dichte Wolken zu beobachten. Aber nicht nur Wolken machen Aufnahmen wertlos. Ebenfalls kann starker Wind die Qualität mindern und die Aufnahmen unbrauchbar machen. Denn durch starken Wind passiert es nicht selten, dass Sterne strichförmig erscheinen und das Bild so unrealistisch machen.

Doch auch wenn ein perfekter blauer Himmel ohne eine Wolke zu sehen ist und keinerlei Wind zu spüren ist, kann einem die Atmosphäre die Aufnahmen vermindern.

Denn die Atmosphäre besteht aus verschiedenen Schichten, die sich in Dichte und Temperatur unterscheiden. Diese Unterschiede können das Licht brechen und die Sterne flackern. Nicht selten ist dieses Phänomen, selbst mit dem bloßen Auge, zu betrachten. Wenn man unter diesem Flackern der Sterne Beobachten und dabei Fotoaufnahmen durchführen würde, dann würden die Sterne auf den Bildern herumspringen.

5.1.2 Astronomische Bedingungen

In dem Punkt Astronomische Bedingungen spielt der Mond eine wichtige Rolle. Denn der Mond ist ein sehr heller Himmelskörper, der den Nachthimmel erhellt und nahe Sterne durch die Helligkeit nicht zu erkennen gibt.

Wenn also Vollmond ist, dann wird der gesamte Himmel erhellt und die Aufnahmen die erstellt werden haben einen stark erhellten Hintergrund, dadurch können sich lichtschwache Objekte kaum bis gar nicht von dem hellen Hintergrund abheben und sind so nicht zu erkennen.

Bei Neumond ist die Helligkeit des Mondes zu vernachlässigen, da er in dieser Mond-Phase kaum Licht ausstrahlt.

Der Abstand des zu fotografierenden Objektes zum Mond spielt auch eine wichtige Rolle. Wenn das Objekt eine große Entfernung zum Mond hat ist die Helligkeit nicht so zu beachten, als wenn das Objekt dem Mond sehr nahe ist.

Abb. 10: Unterschied Vollmond-Neumond[18]

[18]Abb. 10: http://news.astronomie.info/ai.php/headlines/n201103190

5.1.3 Auswirkungen der Zivilistation:

Die Menschliche Zivilisation ist ähnlich wie der Mond zu betrachten, denn auch die Menschen erhellen mit all den Lichtern der Städte den Nachthimmel. In großen Städten, in denen nachts viele Lichter scheinen, können nicht so gute Aufnahmen entstehen wie in sehr abgelegenen Regionen der Erde.

Wenn man also die Zivilisation mit dem Mond vergleicht, dann sind Großstädte der Vollmond und Wüsten und abgelegene Regionen der Neumond.

Bei dem Mond und auch den Städten nennt man die Erhellung des Himmels Lichtverschmutzung.

Abb. 11: Auf diesem Bild ist die Luftverschmutzung gut zu erkennen.[19]

[19]Abb. 11: http://magazin.woxikon.de/wp-content/uploads/2012/08/Nachthimmel-%C3%BCber-Kapstadt.jpg

5.2 Beschreibung der Beobachtungsabende

5.2.1 1. Beobachtungsabend am 22.01.2014

An unserem ersten Beobachtungsabend auf der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums lief leider nicht alles glatt.

Da wir einige Wochen nicht auf der Sternwarte waren, mussten wir uns noch einmal mit dem Equipment und den benötigten Utensilien vertraut machen um eine gute Beobachtung des Orionnebels zu gewährleisten. Nachdem wir unsere Station aufgebaut hatten und alles startklar war um M42 zu beobachten , zogen am Horizont an der Stelle an dem welcher Orionnebel auftauchen sollte, einige dichte Wolken auf und verhinderten so unsere Arbeit.

Auch ohne Fotografien konnten wir an diesem Abend wichtige Erfahrungen sammeln. Wir wussten jetzt wie wir unsere Station schnell und effizient aufbauen können. Leider mussten wir auch erfahren, dass trotz aller Bemühungen das Wetter die Arbeit verhindern kann.

Auch wenn das Wetter den ganzen Tag gut war.

Abb. 12: Hier ein Beispiel unseres Aufbaus und den Wolken am Horizont,welche unsere Aufnahme verhinderten.[20]

[20]Abb. 12: Foto: Niklas Schleiser

5.2.2 2. Beobachtungsabend am 12.02.2014

Der zweite Beobachtungsabend lief um einiges besser als der erste Versuch Bilder des Orionnebels aufzunehmen. Wir hatten keinerlei Probleme mehr mit dem Equipment und konnten ohne Probleme die Station aufbauen.

Gegen 18 Uhr konnten wir beginnen M42 zu fotografieren und das mit sehr guter Sicht und ohne eine Wolke am Horizont. Die Bilder schienen viel versprechend zu werden. Auf Grund der langen Beobachtungszeit konnten wir einige Bilder aufnehmen. Leider traten doch einige Probleme mit der Station auf, da der Orionnebel auf den Bildern immer weiter zum rechten Bildschirmrand wanderte. Um das Problem in den Griff zu bekommen, mussten wir häufig das Teleskop neu skalieren. Deshalb war der Orionnebel auf nahezu jedem Bild auf einer anderen Position zu sehen. Herrn Koch beruhigte uns und sagte, dass dieses Problem einfach mit einem speziellen Programm zu beheben ist. An diesem Abend gelang es uns, mehr als 100 Bilder mit verschiedenen Belichtungszeiten zu fotografieren. Wir waren froh darüber, die ersten tollen Bilder des Orionnebels zu haben um damit im Unterricht arbeiten zu können. In der nächsten Schulwoche bemerkten wir beim aussortieren, dass es an unserem Beobachtungsabend zu windig war. Auf vielen der zuerst vermuteten guten Bilder waren die Sterne strichförmig abgebildet und so unbrauchbar für uns. Somit war klar, dass ein weiterer Beobachtungsabend nötig ist.

Abb. 13: Beispiel eines Bildes des 2. Beobachtungsabendes[21]

[21]Abb. 13: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

5.2.3 3. Beobachtungsabend am 29.03.2014

An dem letzten unserer Beobachtungsabende bauten wir innerhalb weniger Minuten ziemlich routiniert unsere Station auf und freuten uns als wir bereits bei einigen noch sehr hellen Probebildern einen einzigartig guten Orionnebel erkannten. Es war sogar der Running Man Nebel ohne Bearbeitung mit Photoshop zu erkennen.

In dieser Freude haben wir dann leider eines der wichtigsten Dinge vergessen. Das Scharfstellen des Teleskops. Da wir die Bilder jedoch automatisch auslösen ließen und nur ab und zu nachschauten ob alles gut läuft, ist uns der Fehler mit den unscharfen Bildern nicht aufgefallen. Erst später als wir uns die Bilder genau anschauten fiel uns auf, dass die umliegenden Sterne riesig waren und auch diese Bilder trotz der einzigartig guten Sicht auf den Orionnebel unnütz waren.

Jedoch war es zu diesem Zeitpunkt schon zu spät um weitere Bilder des Nebels aufzunehmen. Das ärgerte uns sehr, da dies die letzte Chance war, auf der Sternwarte zu beobachten. Nun mussten wir mit den wenigen Bildern, die wir am 2. Beobachtungsabend gemacht und die keine strichförmigen Sterne hatten, arbeiten.

5.3 Durchführung der Aufnahmen:

Der Orionnebel hat für die Astrofotografie einige Besonderheiten, denn er besitzt lichtarme und lichtreiche Bereiche. Der Kern des Nebels, welcher aus den Trapezsternen besteht, ist stark lichthaltig. Hierzu müssen also kürzere Belichtungszeiten genutzt werden.

Andererseits brauchen die Ausläufe des Orionnebels sehr lange Belichtungszeiten, da diese sehr lichtarm sind und nur mit Hilfe einer längeren Belichtungszeit gut zu erkennen sind.

Bei den Beobachtungsnächten 2 und 3 konnten wir einige Bilderreihen Aufnehmen. Diese Bilderreihen haben wir mit unterschiedlichen Belichtungszeiten durchgeführt.

Eine Bilderreihe besteht aus einer Vielzahl von Fotos mit gleichen Belichtungszeiten und ISO-Empfindlichkeit.

Wir haben uns dazu entschieden an beiden Abenden eine Bilderreihe mit der Belichtungszeit von 30 Sekunden, 15 Sekunden und 7 Sekunden für unser Endbild zu benutzen.

5.3.1 Bilderreihe 1

Zuerst haben wir eine Bilderreihe mit 30 Sekunden Belichtungszeit gewählt, denn die Bilder mit einer langen Belichtungszeit bringen sehr lichtarme Regionen im Orionnebel zum Vorschein. Mit diesen Bildern werden später die Ausläufe und feine Strukturen des Orionnebels gut zu erkennen sein. Jedoch ist aufgrund der langen Belichtung der Kern des Orionnebels sehr stark überbelichtet, sodass kein Trapezstern erkennbar ist.

Abb. 14 Bild mit 30 Sekunden Belichtung[22]

[22]Abb. 14: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

5.3.2 Bilderreihe 2

Danach haben wir Bilder mit einer Belichtungszeit von 15 Sekunden gewählt, mit denen hellere Sterne und schwache Sterne besonders gut herausgearbeitet werden sollen.

Abb. 15: Bild mit 15 Sekunden Belichtung[23]

[23]Abb. 15: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

5.3.3 Bilderreihe 3

Zu guter letzt haben wir eine kurze Belichtungszeit von 7 Sekunden gewählt, um das Trapez im inneren des Orionnebels gut belichtet zu haben und im späteren Bild nicht nur ein heller Lichtfleck zu erkennen ist. Außerdem wird durch die kurze Belichtung eine natürlichere fast schwarze Farbe des Nachthimmels gegeben.

Abb. 16: Bild mit 7 Sekunden Belichtung[24]

[24]Abb. 16: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

6. Sichtung der Aufnahmen

6.1. Erste Aussortierung von Bildern

Der erste Arbeitsschritt nach einem gelungenen Beobachtungsabend ist das Aussortieren von Bildern. Dies erledigt man direkt am besten noch am selben Abend oder am nächsten Tag in einem verdunkelten Raum, um die Bilder besser betrachten zu können. Nun geht man jedes Bild einzeln durch und betrachtet sie sorgfältig. Bilder, bei denen man erkennt, dass sie unscharf sind kann man direkt aussortieren, damit diese später bei anderen Arbeitsschritten nicht stören. Sollten sie aus versehen beim Stacken hinzugefügt werden, kann das Endergebnis zum negativen verändern werden.

6.2. Identifizierung von Objekten (bekannt und unbekannt)[25,26]

Bei dem Arbeitsschritt der Identifizierung bestimmt man Objekte, die auf den Aufnahmen zu sehen sind. Zu diesen gehören bekannte Objekte, wie zum Beispiel der Orionnebel oder dem etwas darüber liegenden „Running Man“. Bei dem „Running Man“ handelt es sich ebenfalls um einen Nebel, der bei einem gewissen Bildausschnitt des M42 ebenfalls zu sehen ist. Seinen Namen verdankt er seiner charakteristischen Form einer Dunkelwolke inmitten des Nebels. Diese Wolke erinnert an einen Mann in einer Sprintbewegung. Ebenfalls ist auf den Bildern des M42 ein weiterer Emissionsnebel zu sehen, der die Nummer 43 im Messier-Katalog hat. Er liegt direkt neben M42 und macht auch einen kleinen Teil des Orionnebels aus. Er wird auch als NGC 1982 oder De Mairans Nebel bezeichnet. Bei ihm handelt es sich um eine interstellare Wolke aus H-II-Ionen der durch den Stern NU Orionis (oder auch HD 37061) ionisiert wird und damit zum Leuchten gebracht wird. Die erste dokumentierte Aufzeichnung dieses Nebels stammt aus dem Jahr 1731 von einem Franzosen Namens Jean Jacques d´Ortous de Mairan.

Manchmal sind auf den Bildern auch Objekte zu sehen, die auf den ersten Blick unbekannt sind. Zu diesen gehören unter anderem Satelliten. Diese sind als Striche auf den Bildern zu erkennen, weil sie immer an der gleichen Stelle über der Erde schweben. Die beobachteten

Objekte aber meist an der gleichen Stelle verweilen da die Rotationsbewegung der Erde durch einen Motor im Standfuß des Teleskops ausgeglichen wird.

Es kann aber auch sein, dass man andere neue Sachen beobachtet. Zu solchen Beobachtungen können zum Beispiel neue Sterne in Sternentstehungsgebieten gehören. Um diese aber auch zu erkennen, ist ein weiterer Arbeitsschritt notwendig. Dabei handelt es sich um das so genannte Blinken. Dabei legt man zwei Bilder von dem gleichen Objekt übereinander und schließt und öffnet das obere Bild in kurzen Abständen. Auf diese Weise kann man erkennen, ob sich etwas zwischen den beiden Aufnahmen verändert hat. Das macht man nun mit seinen Aufnahmen. Bei neuen Beobachtungen dieser Art kommt das genaue Synchronisieren der Zeit am Laptop zum Einsatz. Wenn man also etwas entdeckt hat kann man seine Beobachtung im Internet katalogisieren oder auf Internetseiten nachschauen ob genau das Gleiche von anderen ebenfalls beobachtet wurde und ins Internet gestellt wurde.

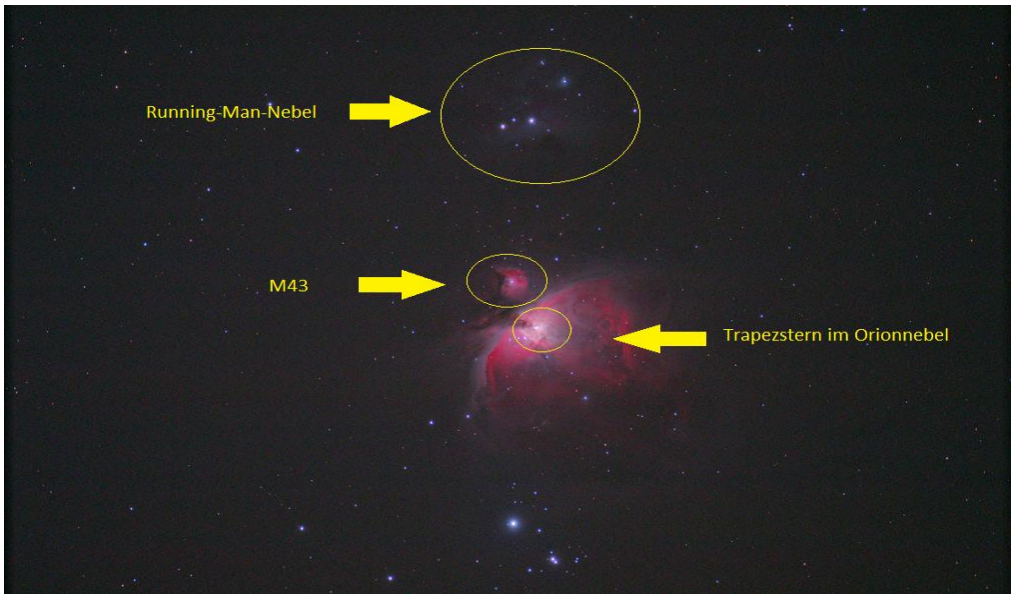

Abb. 17: Bild des Orionnebels mit Markierungen des Running-Man-Nebels, M43 und dem Trapezstern des Orionnebels[27]

[25]http://de.wikipedia.org/wiki/Messier_43

[26]http://de.wikipedia.org/wiki/H-II-Gebiet

[27]Abb. 17: Foto: Niklas Schleiser

7. Stacking

7.1 Aussortieren der Bilder

Für das bearbeiten der Bilder mit der Hilfe des „Deep Sky Stacker“ sollten nur gute Bilder verwendet werden, denn schlechte Aufnahmen könnten später das Ergebnis beim Stacken stark verschlechtern. Es sollte darauf geachtet werden, dass keine strichförmigen Sterne zu erkennen sind oder gar die Sterne riesig groß sind, was darauf hinweist, dass das Bild unscharf ist. Auf diese Aspekte sollte man bei jedem einzelnen Bild genauestens achten, um ein bestmögliches und realistisches Ergebnis zu erhalten.

Abb. 18: Mit Hilfe der roten Kreise sind strichförmige Sterne markiert[28]

[28]Abb. 18: Foto: Niklas Schleiser

7.2 „Stacken“[29]

Das „Stacking“ erfolgt mit dem „Deep Sky Stacker“ in diesem Programm werden eine Vielzahl an Bildern zu einem Bild verarbeitet, welches die schärfsten Stellen jedes Bildes verwendet. Bei dem Stack-Vorgang werden alle Sterne automatisch vom Programm erkannt, da ein Stern ein rundes Objekt ist, welches an all seinen Seiten gleichmäßig an Luminanz abnimmt. Sobald also ein Stern an der abnehmenden Luminanz erkannt wurde, wird mit einer Gaußkurve der exakte Kern des Sterns berechnet. Aus diesem Grund ist es doppelt wichtig wie bereits geschrieben unscharfe Bilder auszusortieren. Um das „Stacken“ zu beginnen muss man auf der Schaltfläche „Lightframes“ öffnen, die zuvor ausgewählten Bilder auswählen und in dem Programm öffnen.

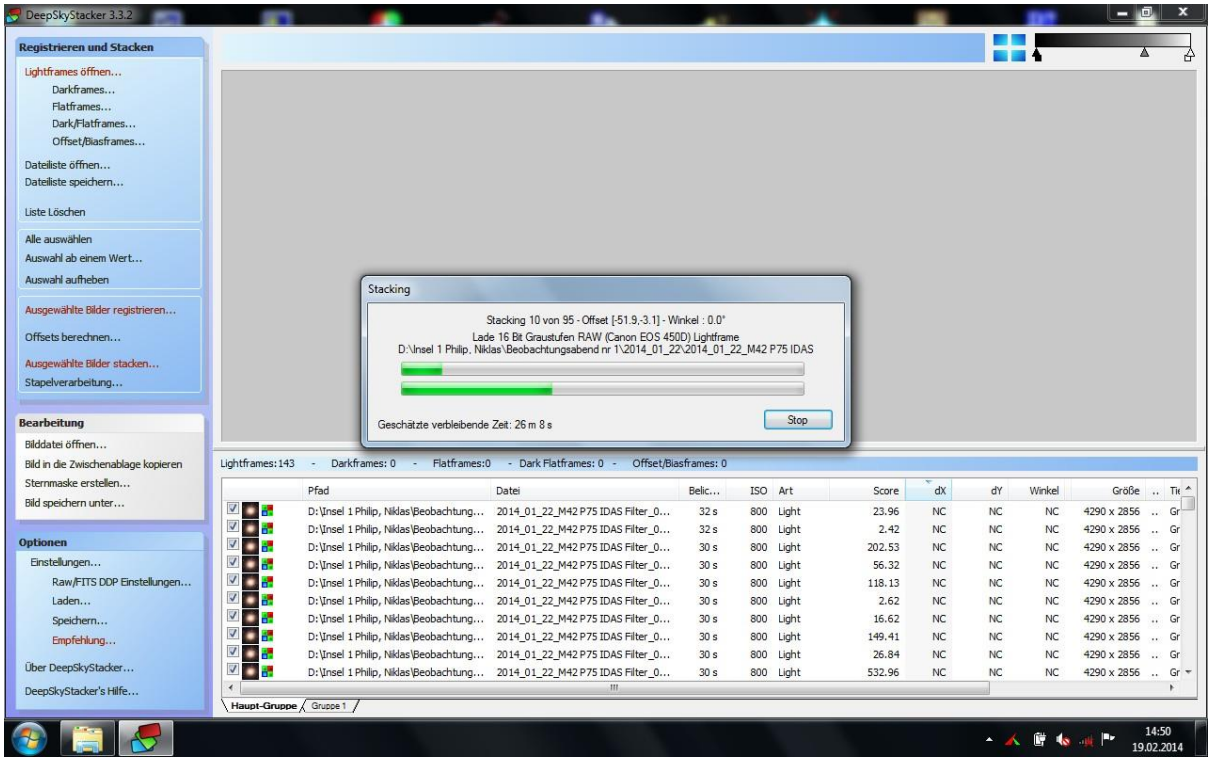

Abb. 19: Screenshot Deep-Sky-Stacker Fenster beim arbeiten[30]

[30]Abb. 19: Foto Niklas Schleiser

Bei den Einstellungen von „Deep Sky Stacker“ gibt es einige Dinge zu beachten. Angefangen bei der ersten Einstellung, aus dem Ergebnis hier wird bestimmt wie die Bilder gestapelt werden sollen.

Wir haben uns dazu entschieden den Schnittmengen-Modus zu benutzen, da unsere Bilder einige Sprünge vorweisen und der Standart-Modus nicht zu gebrauchen ist. Der Vorteil beim Schnittmengen-Modus hingegen ist, dass aus jedem ausgewählten Bild nur der Teil verwendet wird, der auf jedem der Bilder zu sehen ist.

Bei den „Light“ Einstellungen muss zuerst einmal der „Stacking-Modus“ bestimmt werden. Dieser dient dazu, verschiedene Pixel-stärken auszuwählen welche für das Bild herangezogen werden. Um ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen, verwenden wir in unserem „Stacking-Bild“ den Durchschnitt/Median. Dieser zieht die Mittelwerte aller Pixel für das Bild heran.

Bei den weiteren Einstellungen haben wir bei den Zwischenbildern den Punkt ausgewählt, dass die Zwischenbilder als TIFF-Datei gespeichert werden sollen. Im Ausgang haben wir dann bestimmt, wie das Bild gespeichert wird und in welchem Ordner. Dazu haben wir erst einmal ein Häkchen in das Kästchen „Ausgabedatei erstellen“ gesetzt. Außerdem haben wir durch die Einstellung „Nummerieren um eine Überschreibung der Datei zu vermeiden (001, 002, …)“ verhindert, dass der „Deep Sky Stacker“ Dateien fehlerhaft überschreibt.

Zuletzt sollte man noch auswählen, dass der Computer alle Verfügbaren Prozessoren verwenden soll. Dadurch kann einige Zeit gespart werden, da der Computer dem „Stacken“ durch diese Einstellung Priorität gewährt. Nun kann das Stacken beginnen.

[29] http://www.peter-baumann.name/index.php/astronomie/bildbearbeitung/deepsky/deepsky-stacker

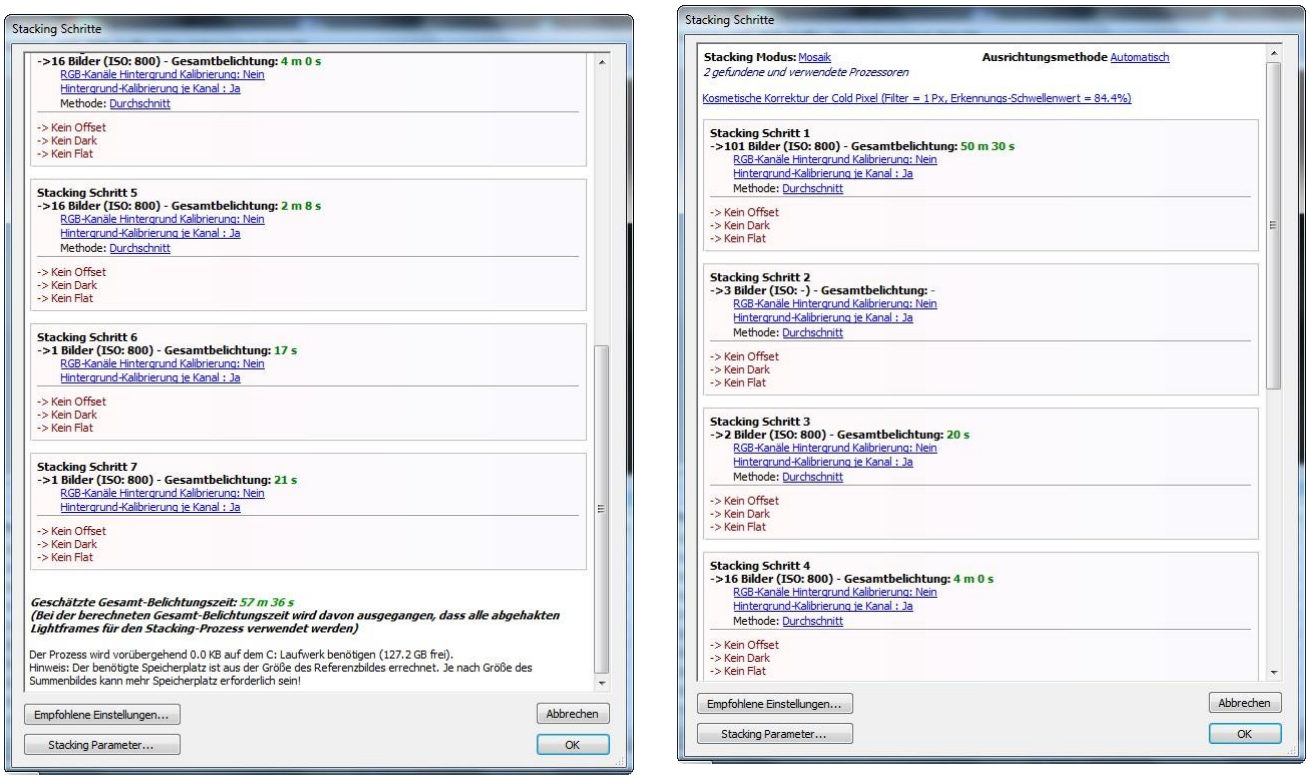

Abb. 20: verschiedene Arbeitsschritte des Deep-Sky-Stackers[31]

Zu Begin des Stackens zeigt das Programm dann die verschiedenen Stacking Schritte an in unserem Fall waren es 7 Schritte und der Deep-Sky-Stacker hat eine Bearbeitungs-Zeit von voraussichtlich 57 Minuten angezeigt.

[30]Abb. 20: Foto: Niklas Schleiser

8. Photoshop

Mit dem fertig „gestackten“ Bild ist bereits ein gutes Ergebnis des Orion-Nebels zu erkennen. Jedoch kann mit einfachen Arbeitsschritten noch wesentlich mehr aus dem Bild herausgearbeitet werden. Hierzu verwenden wir Photoshop CS3 mit einigen Astronomie-Plug-Ins. Um zu vermeiden, dass man das gesamte Bild neu bearbeiten muss falls ein Schritt falsch bearbeitet wurde, sollte nach jedem Vorgang das Bild gespeichert werden.

Zuerst muss das Bild aufgehellt werden. Hierzu verwenden wir das Zusatztool „Aufhellen ohne Ausbrennen“. Bei diesem Tool ist der Vorteil, dass ein ausbrennen der Sterne verhindert wird und so problemlos aufgehellt werden kann. Jedoch sollte darauf geachtet werden, dass das Bild nicht zu stark aufgehellt wird, da dies sonst ein unrealistisches Ergebnis hervor bringen könnte. Es sollte also nicht öfter als zwei bis dreimal hintereinander benutzt werden.

Zusammen mit dem aufhellen sollte die Tonwertkorrektur verwendet werden. Hierzu kann man die Tastenkombination „ Strg + L“ heranziehen. Durch diese Tonwertkorrektur werden helle Objekte „angehoben“ und der Hintergrund verdunkelt.

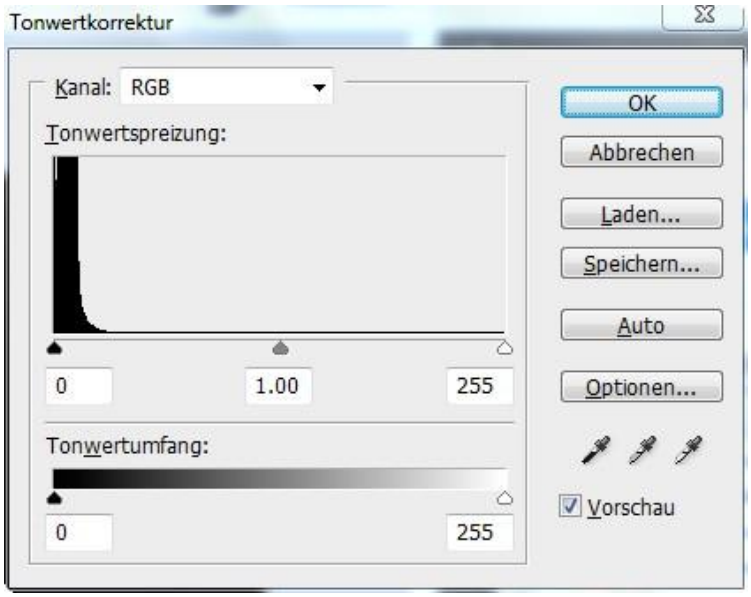

Abb. 21: Bild des Tonwertkorrektur-Fenster im Photoshop CS3[31]

[31]Abb. 21: Foto: Niklas Schleiser

Als nächstes haben wir versucht das „Rauschen“ im Bild zu unterdrücken. Hierzu haben wir ebenfalls ein Astronomie Tool verwendet welches sich „horizontal bandingreduction“ nennt. Dieses Tool hat hervorragend funktioniert und das Rauschen stark vermindert.

Im nächsten Schritt haben wir dafür gesorgt, dass die Farben der Sterne stärker hervorkommen. Dies wird ebenfalls mit der Hilfe eines Tools gemacht. Bei unserem Bild konnte eine klare Verbesserung im Zentrum des Orion-Nebels erkannt werden.

Durch schlechte Aufnahmen, welche wir aufgrund einiger Patzer nicht verbessern konnten haben wir von Herrn Koch den Tipp erhalten, die Sterne die leicht strichförmig geraten sind mit Hilfe des „Star-rounder“ Tools um 2 Pixel zu „verkleinern“, also zu „runden“.

Abb. 22: Bearbeitetes Bild mit „Aufhellen ohne Ausbrennen“, „horizontal banding reduction“, „Farbenverstärken“ und dem „star-rounder“[32]

[32]Abb. 22: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

9. Ergebnis

9.1 Fertiges Ergebnisbild

Abb. 23: Zum Schluss muss um das fertige Bild ein Rahmen gelegt werden, in dem alle wichtigen Informationen zur Entstehung der Bilder steht.[33]

[33]Abb. 23: Foto: Philip Steffen und Niklas Schleiser

9.2 Auswertung des Ergebnisbildes

Auf unserem Ergebnis des fertig bearbeiteten Orionnebels sind die beiden Messier Objekte M42 und M43 sehr klar zu erkennen. Außerdem kommt der „running man“ Nebel im nördlichen Teil des Orionnebels ebenfalls klar zur Geltung.

Bei dem Ergebnis lassen sich die hellen wie auch die dunklen Partien des Orionnebels erkennen, dieses verdanken wir den verschiedenen Belichtungszeiten, mit deren Hilfe wir einzelne Ausschnitte des Nebels gut herausarbeiten konnten.

Leider sind nicht die gesamten Nebelausläufer zu erkennen, da der Nachthimmel in Wuppertal dafür leider zu hell ist.

10. Schlussüberlegungen

Am Ende unserer Facharbeit haben wir durch die gewonnen Erkenntnisse neue Ideen und Verbesserungen für unser fertiges Bild des Orionnebels.

Um die Fehler an den Beobachtungsabenden auszuschließen, wird eine Checkliste mit dem benötigten Equipment und den Aufbauhinweisen im Vorfeld erstellt. Dadurch können technische Fehler minimiert werden. Am Beobachtungsabend soll ein Protokoll mit den äußeren Bedingungen und den daraus resultierenden Einstellungen für die Kamera angefertigt werden. Dieses Protokoll kann später dazu dienen die Bilder für die weitere Bearbeitung zu klassifizieren.

Letztendlich kann man auch aus fehlerhaften Bildern mit den Mitteln der Bildbearbeitung ein brauchbares Bild erstellen. Aber sind die Rohdaten erstklassig, wird in wenigen Schritten durch die Bildbearbeitung ein ausgezeichnetes Abbild entstehen.

11. 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 Facharbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben. Verwendete Informationen aus dem Internet sind der Arbeit als PDF auf der CD beigefügt.

Ich bin damit einverstanden/ nicht einverstanden*, dass die von uns verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

Ort, Datum und Unterschrift

*Nichtzutreffendes streichen