



Planetarische Nebel

Was passiert, wenn ein „Sternleben“ zu Ende geht

Von Tara Gassel

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie am Carl-Fuhlrott-Gymnasium Wuppertal

Abgabetermin: 19.05.2021

Kursleitung: Bernd Koch

Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung

2.0 Was ist ein Stern?

2.1 Sternentwicklung

2.1.1 Sterndefinition

2.1.2 Der Begriff Stern

2.1.3 Das "Ende der Sterne"

2.1.4 Sternentstehung

2.1.5 Das Hertzsprung Russell-Diagramm

2.1.6 Kernfusion

2.1.7 Massereiche Sterne

2.1.8 Massearme Sterne

2.1.9 Die Sonne

3.0 Planetarische Nebel

3.1 Allgemein

3.2 Bezeichnung

3.3 Bestandteile

3.4 Aktuelle Forschungsergebnisse

3.5 Entstehung

4.0 Equipment zur Astrofotografie

4.1 Teleskop

4.1.1 Technische Daten

4.2 Kamera

4.2.1 Technische Daten

4.3 Filterrad

4.3.1 Technische Daten

4.4 Teleskopmontierung

4.4.1 Technische Daten

5.0 Astrofotografie

5.1 Beobachtungsabend

5.2 Bildbearbeitung

5.2.1 Bildbearbeitung mit Astroart 7

5.2.2 Bildnachbearbeitung mit Photoshop

6.0 Der Eskimonebel

6.1 Allgemein

6.2 Entstehung

6.3 Entdeckung

7.0 Fazit

8.0 Anhang

8.1 Danksagung

8.2.0 Abschlusserklärung

1.0 Einleitung

Sterne gehören neben dem Mond und der Sonne zu den wohl bekanntesten Objekten an unserem Nachthimmel. Aber wie entstehen sie und wie verläuft ihr Leben? Mit dieser Fragestellung beschäftigt sich meine Projektarbeit.

Nachdem ich im letzten Jahr den Projektkurs Astronomie wählte, wurde ich in den Unterrichtszeiten zu verschiedensten Themen belehrt. Hierbei haben mich besonders die Sterne und ihre Lebensgeschichte interessiert. Ich habe mich im Voraus durch wissenschaftliche Arbeiten und ehemalige Projektarbeiten mit dem Thema vertraut gemacht und mich dazu entschieden das Thema „Sternentod“ und die Folgen dessen zu bearbeiten. Hierbei beschäftige ich mich zum einen mit den Planetarischen Nebeln und zum anderen auch mit Supernovae. Diese zählen zu den wohl spektakulärsten und schönsten Objekten unseres Nachthimmels.

Mein Ziel war es einen Planetarischen Nebel zu fotografieren und im Anschluss die Bilder zu überarbeiten, hierbei habe ich mich für den Eskimonebel NGC 2392 entschieden.

Meine Projektarbeit beschäftigt sich mit folgenden Fragen: Wie lebt ein Stern und was passiert, wenn er stirbt? Wie fotografiert und bearbeitet man selbst aufgenommene Deep-sky Objekte? Und was sind die Besonderheiten von Planetarischen Nebeln?

2.0 Was ist ein Stern?

Der wohl bekannteste Stern unserer Galaxy ist die Sonne. Doch wie ist sie aufgebaut und gibt es Unterschiede bei den Sternen?

Eine allgemeine Definition eines Sterns betitelt einen Stern als massereichen, selbstleuchtenden Himmelskörper, der aus Gas und Plasma besteht.¹

2.1 Sternentwicklung

Die Entwicklung eines Sterns ist von seiner Masse abhängig. Die Masse bestimmt wie lange das Wasserstoffbrennen andauert. Sobald nicht mehr genug Wasserstoff vorhanden ist, kommt es zum Ende eines Sterns. Er explodiert entweder und es kommt zu einer Supernova oder es entsteht ein Planetarischer Nebel.

2.1.1 Sterndefinition

Sterne sind ureigene Forschungsobjekte der Astronomie. Sie sind neben dem Mond der Erde und den hellsten Planeten sehr einfach zugänglich für visuelle Beobachtungen. Der von uns aus nächstem Stern ist die Sonne, deren Licht bis zur Erde nur etwa 8 Minuten braucht. Die Sonne ist der best-untersuchte Stern, weswegen die Anfänge der Astronomie von der Stellarphysik geprägt waren.

2.1.2 Der Begriff Stern

Der „landläufige“ Begriff Stern beschreibt alle hellen und punktförmigen Objekte, die man mit bloßem Auge am Nachthimmel sehen kann. Dazu zählen auch die helleren Planeten unseres Sonnensystems, weswegen Sterne in der Astrophysik lieber als „kugelförmige Ansammlung von ionisiertem Gas“ definiert werden. Es wird durch thermonukleare Fusionsprozesse Energie freigesetzt, die hauptsächlich in Form von elektromagnetischer Strahlung in Erscheinung tritt. Die häufig benutzte Definition eines Sterns als leuchtendes Objekt, welche gleichzeitig impliziert, dass Planeten nur von der Sonne angestrahlt werden und

¹ <https://de.m.wikipedia.org/wiki/Stern> 16.45 Uhr 22.04.2021

diese Strahlung dann reflektieren ist kritisch zu betrachten. Die Thermodynamik zeigt, dass alle Objekte strahlen und als Wärmestrahler bezeichnet werden können, weil sie eine endliche Temperatur aufweisen. Deswegen erzeugen auch die inneren Gasplaneten, Jupiter und Saturn, mehr Strahlungsenergie als sie von der Sonne erhalten. Weil in Sternen leichte zu schweren Elementen fusioniert werden, ist die Definition von Sternen als kosmische Fusionsreaktoren deutlich besser. In der Astrophysik wird dieser Vorgang oft als „Brennen“ bezeichnet, wobei die Verschmelzung von Atomkernen, die „stellare Nukleosynthese“, gemeint ist.

Kräfte die auf einen Stern wirken:

1. Die Gravitation, ihre eigene Gewichtskraft.
2. Die Zentrifugalkraft, durch die Rotation des Sterns.
3. Den durch die Zustandsgleichung für das Gas gegebene Gasdruck.

Der Strahlungsdruck, durch die im inneren ablaufenden thermonuklearen Fusionsprozesse, die Photonen mit unterschiedlicher Energie freisetzen.

Jedes Photon hat einen Impuls und übt einen gewissen Druck auf eine Fläche aus. Die Strahlung, die aus der Fusion gewonnen wurde, bewegt sich durch das Plasma des Sterns, dabei wird sie gestreut, absorbiert und reemittiert und erreicht dann irgendwann seine Oberfläche, das wird als hydrodynamisches Strahlungstransportproblem bezeichnet. Weil die Photonen aus dem Bereich des Sterns austreten, nennt man diese Grenzschicht „Photosphäre“. Die dünne Photosphäre der Sonne kann man bei guten Sichtverhältnissen tagsüber als Berandungsfläche beobachten.

2.1.3 Das Ende der Sterne

Wenn die Sternentwicklung ihr Ende erreicht, gibt es zwei Möglichkeiten, diese hängen von der Masse des Sterns ab. Es kommt entweder zum Spektakulären Finale in Form einer Supernova, einer Hypernova oder einem Gamma Ray Burst (einer Sternexplosion). Diese Form ist allerdings nur bei massereichen Sternen möglich. Oder der Stern bildet einen planetarischen Nebel, in dessen Zentrum ein weißer Stern sitzt. Dieses Szenario gilt für massenärmere, sonnenartige Sterne. Das Ende eines Sterns wird größtenteils von der Masse des Vorläufersterns bestimmt. Die Konfiguration wird entweder

vollständig zerrissen, wie bei einer Supernova. Es bleibt kein Relikt über, sondern nur verteilte „Asche“ oder aber es bildet sich ein kompaktes Objekt aus. Massearme, sonnenähnliche Sterne werden zu weißen Zwergen. Das wird auch von der Sonne in ungefähr sechs Milliarden Jahren erwartet, da dann der Wasserstoffgehalt und damit der „Brennstoff“ für die Fusion ausgeht.

2.1.4 Sternentstehung

Alle Sterne durchlaufen in ihrem Leben verschiedene Stadien. Diese Stadien haben verschiedene Namen. Zu Beginn eines Sternlebens sind die Objekte noch sehr jung und werden Protosterne und YSOs genannt. Die Grenzmasse zum Festlegen bei welchen Dichten, welchen Temperaturen und astrochemischen Voraussetzungen eine Ausgangsmasse kollabiert nennt man „Jeans-Masse“. Eine riesige Gaswolke mit einem Gewicht von ca. 3000 Sonnenmassen fragmentiert in dem Fall zu kleineren Klumpen. Die Protosterne sind das Ergebnis dieser Klumpen, die als Ausgangsobjekte dienen. Diese Gaswolken werden auch als Riesenmolekülwolken bezeichnet und ihre Ausdehnung liegt im Normalfall bei ca. 300 Lichtjahren. Mit 10 bis 20 K sind die

Riesenmolekülwolken sehr kalt, weswegen Wasserstoff in molekularer Form vorhanden ist. Neben dem Wasserstoff wurden außerdem weitere Moleküle wie Kohlenmonoxid, Ammoniak oder Schwefelkohlenstoff nachgewiesen.

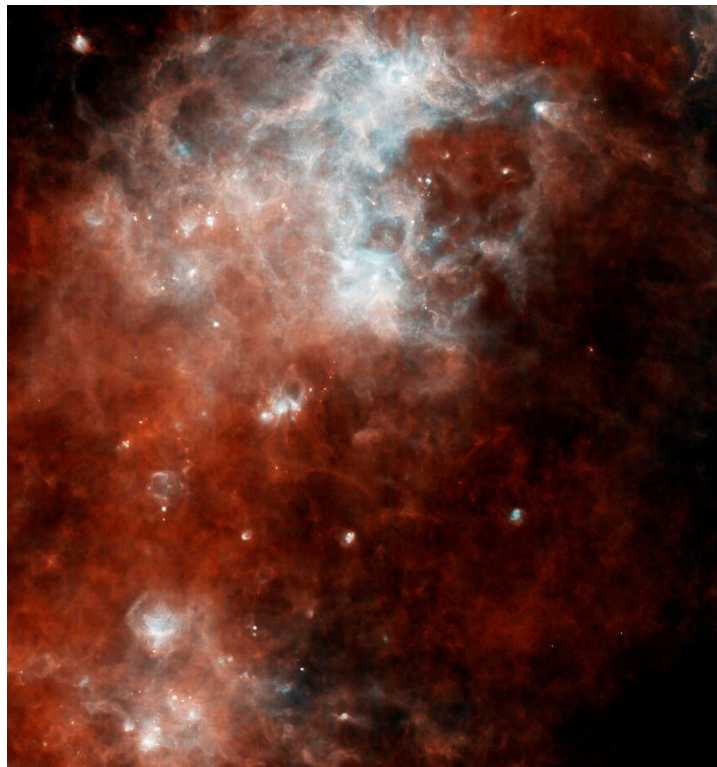


Abb.1: Infrarotbild einer Materiewolke, in der sich Sterne bilden

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Infrared_View_of_Star-Forming_Clouds.jpg

Sie befinden sich in den dichten Kernen der Riesenmolekülwolken und haben eine Jeansmasse von nur ca. 1 Sonnenmasse. Da die Wasserstoffmoleküle erst bei einer Temperatur von ca. 2000 K dissoziiert kommt es erst durch eine isotherme Kollision der dichten Kerne zu einer Dissoziation. Anschließend erhitzen sich die Moleküle adiabatisch und der Staub, der durch die Kollision entsteht, wechselt in die gasförmige Phase. Dieser Übergang von einer festen zur Gasförmigen Phase wird Sublimation genannt. Danach kann ein Protostern entstehen. Die Protosterne sind allerdings sehr versteckt. Der Staub, in dem sie sich die Protosterne befinden ist sehr dicht. Er hat also eine sehr hohe Opazität. Diese sogenannten Dunkelwolken haben sehr hohe Extinktionen, sodass keine Möglichkeit besteht sie zu detektieren. Da Infrarotstrahlung durch den Staub durchgelassen wird, weichen Astronomen dahin aus.²

2.1.5 Das Hertzsprung-Russel-Diagramm

Das Hertzsprung-Russel-Diagramm wurde von Henry Norris Russel auf der Grundlage der Forschungsergebnisse von Ejnar Hertzsprung, weshalb es so genannt wurde, erstellt und gilt als Schlüsseldiagramm zur Beschreibung von Sternen.

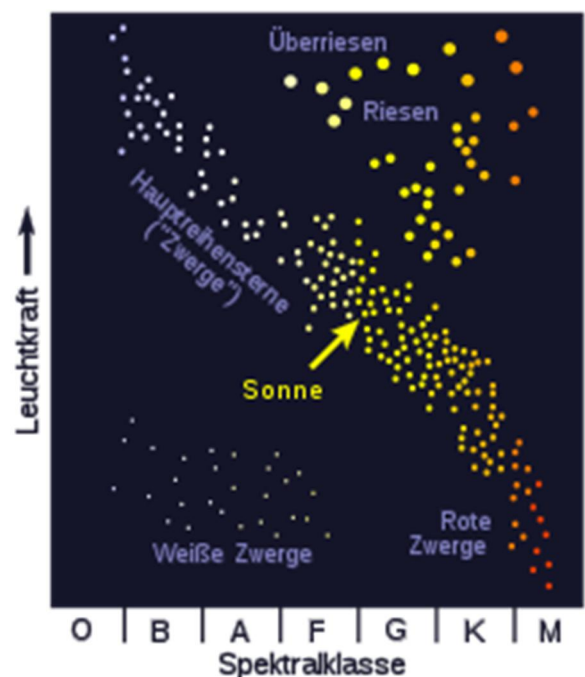


Abb.2: Leuchtkraft und Spektralklassen der Sterne

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/46/HR-sparse-de.svg/330px-HR-sparse-de.svg.png>

² <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/beobachter/34>

Das Hertzsprung-Russel-Diagramm wird mit HRD abgekürzt und gibt die Leuchtkraft, also die absolute Helligkeit im Verhältnis zu ihrer Oberflächentemperatur an. Es fällt auf, dass die Sterne sich nicht gleichmäßig im kompletten Diagramm verteilen, sondern sich in einer Linie befinden. Diese Linie, die von links oben, also den heißen Sternen, mit hoher Leuchtkraft bis nach rechts unten, den kühlen Sternen mit geringerer Leuchtkraft geht, wird als Hauptreihe bezeichnet. Es gibt außerdem einen Bereich mit kühleren, leuchtkräftigen, den sogenannten Riesensternen rechts oben und einen zweiten Bereich links unten mit wenigen Sternen mit hoher Temperatur und geringer Leuchtkraft, die als „weiße Zwerge“ bezeichnet werden.³

2.1.6 Kernfusion

Viele chemische Elemente sind per Fusion aus Wasserstoff entstanden und deren Kernverschmelzungen sind wichtige Naturprozesse. Sterne und Sonne nutzen die Kernfusion als Energiequelle. Durch die Sonne ist irdisches Leben möglich. 99,8 Prozent der Masse des gesamten Planetensystems besteht aus dem Zentralgestirn der Sonne. Durch das im Inneren der Sonne brennende Fusionsfeuer und dadurch, dass die Sonne überwiegend aus Wasserstoff besteht, verschmelzen die Wasserstoff-Atomkerne zu Helium. Diese Verschmelzung nennt man Kernfusion. Sie sorgt für gewaltige Energien, die die Erde erwärmen und beleuchten.⁴

2.1.7 massereiche Sterne

Als massereiche Sterne werden Sterne mit mehr als 8 Sonnenmassen bezeichnet. Sie sind allerdings selten und entwickeln sich deutlich langsamer als massearme Sterne. massereiche Sterne können nach ihrer Kernfusion schnell in der Hauptreihe des Hertzsprung-Russel-Diagramms gefunden werden. Durch starke Sternwinde der massereichen Sterne wird das Gas, das sie umgibt auseinander getragen. Massereiche Sterne strahlen ihre Energie größtenteils im blauen und ultravioletten Licht ab, da sie je nach Masse

³ <https://www.mpifr-bonn.mpg.de/607358/diagramm> 27.04.2021, 13.30 Uhr

⁴ <https://www.ipp.mpg.de/ippcms/de/pr/fusion21/kernfusion/index> 27.04.2021, 13.55 Uhr

Temperaturen zwischen 10.000 und 50.000 K haben. Massereichere Sterne haben hierbei höhere Temperaturen.

Da die Leuchtkraft im Verhältnis zur Masse überproportional mit der Masse zunimmt, sind ihre Lebenszeit relativ kurz. Im Vergleich leuchtet ein Stern mit der vierfachen Masse der Sonne 128-mal so hell wie diese und während die Sonne ca. 10 Milliarden Jahre „lebt“, haben massereiche Sterne eine Lebensdauer von ca. 10 Millionen Jahren. Weil sich in einigen Millionen Jahren kein Leben entwickeln kann und weil die Leuchtkraft der massereichen Sterne bis zu 500.000-mal stärker ist als die der Sonne, weswegen sie den Hauptteil ihrer Energie im ultra-violetten Bereich abstrahlt, gibt es trotz der Planeten um sie herum kein Leben. Auch eine dichte Atmosphäre, wie eine



Abb.3: Massereicher Stern

https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.1F1r9RVWkrFFI_H97miDEgHaEc&pid=Api&P=0&w=276&h=167

Auch eine dichte Atmosphäre, wie eine die es auf der Erde gibt, könnte nicht genug der Ultravioletten Strahlung abhalten, um Leben zu ermöglichen. Weil Massereiche Sterne alle 6 Fusionsstufen durchlaufen, werden alle leichteren Elemente von Massereichen Sternen ab ca. 8 Sonnenmassen durch Kernfusion zu Eisen umgewandelt. Zuerst erfolgt die Wasserstoff-Fusion, darauf folgen die Helium-Fusion, die Kohlenstoff- und die Neon-Fusion, dann fusioniert Sauerstoff und zuletzt Silizium. Massereiche Sterne sind in mehreren Schalen aufgebaut. In der letzten Schale findet auch weiterhin die Wasserstoff-Fusion statt. Massereiche Sterne haben einen starken Eisenkern, weil Eisen das schwerste Element ist und sich deshalb im Zentrum des Sterns befindet. Weil aber beim Eisen irgendwann eine natürliche Grenze erreicht ist, bei der keine Energie mehr erzeugt, sondern nur noch verbraucht wird.

Dadurch können in einem Stern keine schwereren Metalle als Eisen vorgefunden werden. Es entsteht immer mehr Eisen im Zentrum, weil immer mehr fusioniert wird, wenn aber eine Grenze von ca. 1,44 Sonnenmassen überschritten wird, kollabiert der Stern in sehr kurzer Zeit, in nur wenigen Millisekunden, weil der Kern des Sterns instabil wird. Er wird zu einem Neutronenstern, bei dem die Explosion durch den Druck der Neutronen stoppt. Durch den Kollaps werden große Energiemengen freigesetzt, beidem die äußeren Schalen des Sterns, nach innen fallen und sobald diese stoppt, prallt die nach innen stürzende Materie vom Kern ab, dann wird sie mit unglaublicher Kraft in den Raum gesprengt, es kommt also zur Explosion, zur **Supernova**.⁵

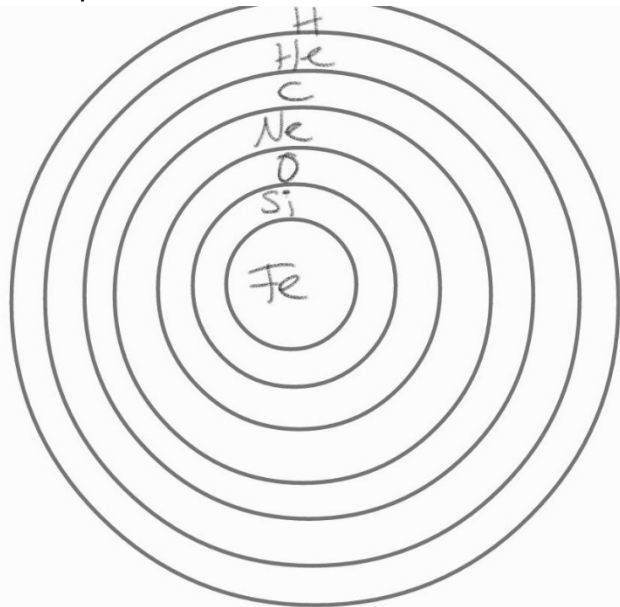


Abb.4: Schalenbrennen eines massereichen Sterns; eigene Zeichnung

2.1.8 Massearme Sterne

Unsere Sonne ist ein Beispiel eines Massearmen Sterns. Als Massearme Sterne werden Sterne bis ca. 2,5 Sonnenmassen bezeichnet. Ihre Entwicklung erfolgt deutlich langsamer als die von Massereichenen Sternen. Wie oben beschrieben hat die Sonne eine Lebenserwartung von ca. 10 Milliarden Jahren, während masseärmere Sterne wie Rote Zwerge 20 Milliarden Jahre und länger leben können. Zu Beginn des Lebens eines Sterns entsteht wie auch bei Massereichenen Sternen ein Protostern, diese kann man dann nach einiger Zeit auf der Hauptreihe des Hertzsprung-Russell-Diagramms finden. Hier befindet sich der Stern in seiner stabilsten Phase. Er fusioniert Wasserstoff zu Helium.

⁵ http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massereich.htm

Da Massearme Sterne eine lange Lebensdauer haben und ihre Energie sich im Bereich des sichtbaren Lichts und nur zu einem Teil im Bereich des Ultravioletten-Lichts befindet, kann dort gut Leben entstehen und bestehen bleiben.

Das Ende eines Massearmen Sterns wird Weißer Zwerg genannt. Der Prozess des „Sterbens“ kann allerdings je nach Masse variieren.

Bei sogenannten Roten Zwergen ist das Ende relativ unspektakulär. Wenn kein Wasserstoff mehr vorhanden ist, wird die Temperatur im inneren des Sterns immer geringer, weshalb der Rote Zwerg sich durch fehlenden Druck zusammenzieht. Weil der Rote Zwerg nicht heiß genug ist, wird kein Helium fusioniert und es entsteht ein Weißer Zwerg, dessen Temperatur nach und nach abnimmt, weshalb der Weiße Zwerg zu einem Schwarzen Zwerg wird.

Weil Massearme Sterne von einer Masse von ca. 0,5 bis 4 Sonnenmassen, können am Ende ihres Lebens Helium zu Kohlenstoff fusionieren. Weil Helium schwerer ist als Wasserstoff, sammelt es sich im Zentrum des Sterns. Es entsteht eine Kugel aus Helium. Der Stern zieht sich zusammen, wenn der Wasserstoff verbraucht ist, weswegen

Temperatur und Druck nachlassen. Durch die dadurch entstandene Erhitzung kann der Rest des Wasserstoffs noch zu Helium fusionieren. Diese Fusion geschieht in einer kugelförmigen Schale, um den Kern herum, weshalb man dieses Ereignis auch als Schalenbrennen bezeichnet.

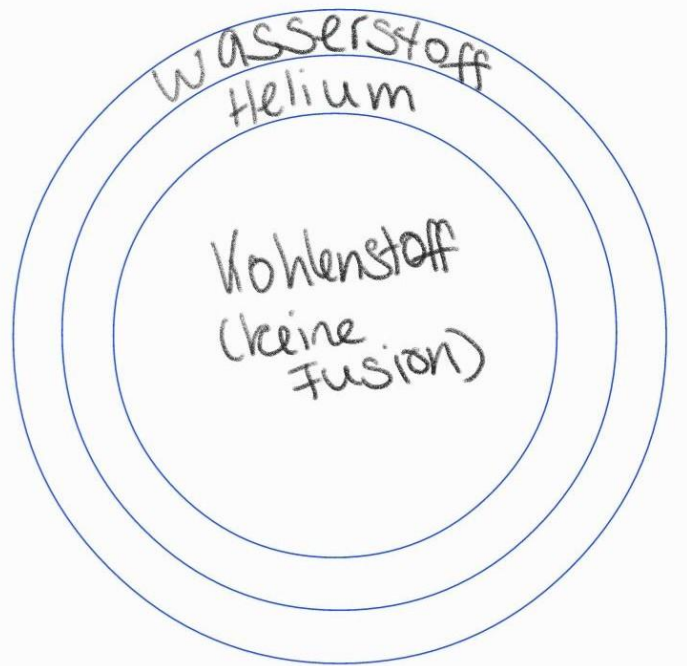


Abb.5: Schalenbrennen Massearmer Stern; eigene Zeichnung

Das Zentrum des Sterns wird nun immer heißer und sobald eine Temperatur von 100 Millionen Grad erreicht ist, kann die Helium-Fusion gezündet werden.

Die äußeren Schichten des Sterns werden ausgedehnt und der Stern bläht sich zu einem Roten Riesen auf. Es kommt zu einem erneuten Schalenbrennen, wenn das Helium verbraucht ist, der Stern sich erneut zusammenzieht und durch die erneute Erhitzung das übriggebliebene Helium zu Kohlenstoff fusioniert. Es bildet sich eine zweite Schale um den Kern. Im letzten Abschnitt des Sterns wird seine äußere Hülle abgestoßen und bildet eine Schicht um den Stern herum. Sein Kern erlischt und zieht sich zusammen. Es besteht aber

nicht genug Druck oder Temperatur für eine neue Fusion, weswegen die Explosion erst durch den Druck der Elektronen gestoppt wird. Es entsteht ein Weißer Zwerg. Diese werden im Laufe der Zeit wieder zu einem Schwarzen Zwerg. Es gibt allerdings noch keine Schwarze Zwerge, weil dafür das Weltall noch nicht lang genug besteht.

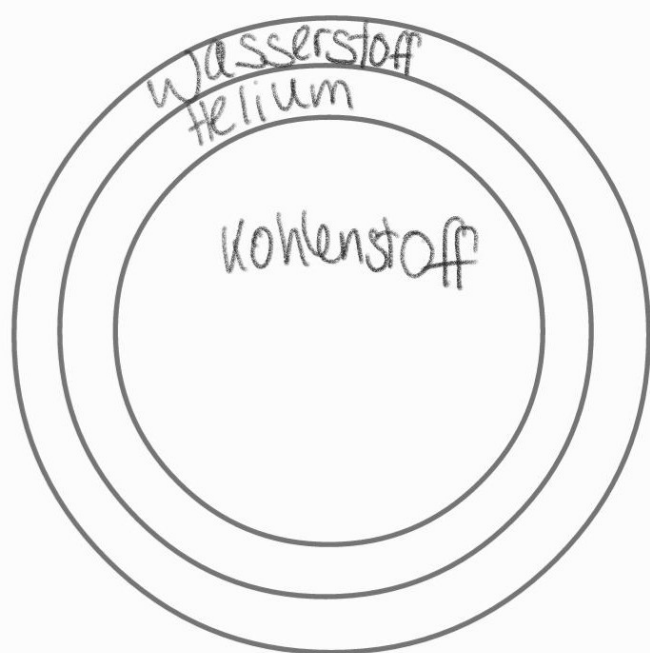


Abb.6: Schalenbrennen bei Sternen
mittlerer Masse; eigene Zeichnung

Auch Sterne von einer Masse von ca. 4 bis 8 Sonnenmassen blähen sich zu einem Roten Riesen auf. Durch das Zusammenziehen sind sie allerdings noch heiß genug, dass es zu einer Fusion von Kohlenstoff kommen kann. Dann zieht er sich erneut zusammen, dabei werden aber weder Druck noch Temperatur so hoch, dass es zu einer erneuten Fusion kommt. Auch hierbei bleibt ein Weißer Zwerg übrig.⁶

⁶ http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm 29.04.2021 14.50 Uhr

3.0 Planetarische Nebel

3.1 Allgemeines

Ein Planetarischer Nebel besteht aus einer Hülle von Gas und Plasma und wird am Ende seines Lebens vom Stern abgestoßen. Im Vergleich zur Lebensdauer eines Sterns von mehreren Millionen bis hin zu vielen Milliarden Jahren, bleiben Planetarische Nebel nur ca. 10.000 Jahre bestehen. Es sind insgesamt ca. 1500 Planetarische Nebel im interstellaren Umfeld der Erde bekannt. Weil Planetarische Nebel schwere Elemente, wie Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff oder Calcium abstoßen und damit die Kernfusion antreiben, sind sie ein wichtiger Faktor für die chemische Evolution der Galaxis. Teilweise sind Planetarische Nebel die einzigen Objekte in anderen Galaxien, die man beobachten kann und die Informationen über die chemische Zusammensetzung dieser zu bringen. Ein Fünftel aller beobachtbarer Nebel, von denen vom Hubble-Weltraumteleskop bereits Aufnahmen gemacht wurden, sind kugelförmig.

Viele andere Planetarische Nebel haben aber einen unterschiedlichen und komplexen Aufbau. Die Ursachen der Formen könnten Begleitsterne, Sternwinde oder Magnetfelder sein, sind aber noch unbekannt.⁷



Abb.7: der kleine Hantelnebel <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/M76s.jpg/465px-M76s.jpg>

⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel 17.03.2021 15.30 Uhr

3.2 Bezeichnung

Trotz der irreführenden Bezeichnung haben Planetarische Nebel nichts mit Planeten zu tun. Der Astrologe Wilhelm Herschel beobachtete im Jahr 1764 den ersten Planetarischen Nebel und hielt ihn auf Grund seiner ausgedehnten, flächenhaft erscheinenden Form für einen Planeten.

Planetarische Nebel entstehen aus Roten Riesen. Die Roten Riesen befinden sich in einer sehr aktiven Phase und geben starke Sternwinde ab. Dabei gelangt Sternmaterie ins interstellare Medium. Auch unsere Sonne wird in ca. 6,5 Milliarden Jahren die Rote-Riesen-Phase erreichen und durch den Sonnenwind ca. die Hälfte ihrer Masse verlieren. Nach dieser durchlaufenen Roten-Riesen-Phase entstehen zwei Relikte. Es entsteht ein Planetarischer Nebel in dessen Zentrum ein weißer Zwerg ist. Obwohl im weißen Zwerg keine Fusionsprozesse mehr ablaufen, ist er dennoch sehr heiß und strahlt viel Energie ab. Teile seiner Wärmestrahlung sind im Ultraviolett-Bereich. Durch diese Strahlung wird die abgestoßenen Sternmaterie in der Umgebung zum Leuchten gebracht.⁸

3.3 Bestandteile

Planetarische Nebel haben einen Durchmesser von bis zu 1 bis 2 Lichtjahren. Ihr dicht verdünntes Gas hat eine Dichte von 1000 Teilchen pro Kubikzentimeter. „Jüngere“ Planetarische Nebel haben die höchste Dichte mit ca. 1000000 Teilchen pro Kubikzentimeter. Durch die Vergrößerung der Nebel verringert sich die Dichte dieser immer weiter, bis er nicht mehr zu sehen ist. Die typische Zusammensetzung Planetarischer Nebel ist ca. 70% Wasserstoff und 28% Helium. Außerdem befinden sich Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff und Spuren anderer Elemente in ihnen.⁹

3.4 Aktueller Forschungsstand

Eines der Hauptprobleme bei der Erforschung von Planetarischen Nebeln ist das Problem bei der Bestimmung der Entfernung der Nebel. Durch Parallaxe

⁸ <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/planetarische-nebel/350> 24.03.2021 16.15 Uhr

⁹ <http://www.sternwarte-eberfing.de/Fuehrung/Objekbeschreibung/planetarische%20Nebel.html> 17.03.2021 16.50 Uhr

kann man die Entfernung von relativ nahen Nebeln bestimmen, allerdings kann man daraus kein Vergleichsmaß ableiten, da der Aufbau wie oben erwähnt sehr komplex ist. Wenn man die Entfernung des planetarischen Nebels kennt, kann man mit Hilfe jahrelanger Beobachtungen die Expansionsgeschwindigkeit senkrecht zur Beobachtungsrichtung bestimmen. Daraufhin kann man außerdem die Expansionsgeschwindigkeit in Beobachtungsrichtung ermitteln, durch die Hilfe der spektroskopischen Untersuchungen des Dopplereffekts. Es gibt zwei Methoden zur Bestimmung der schweren Elemente der Nebel. Die Ergebnisse weichen hier allerdings teilweise stark voneinander ab. Dies kann zum einen an Temperaturschwankungen innerhalb der Nebel liegen, obwohl das sehr umstritten ist, da die Unterschiede für eine Ursache der Temperatur sehr groß sind, deswegen werden die Abweichungen auch auf kalte Gebiete mit wenig Wasserstoff zurückgeführt. Diese wurden allerdings bisher noch nicht beobachtet.¹⁰ Die Abbildung zeigt den Sting-Gray-Nebel, den Nebel der zuletzt entdeckt wurde.



Abb.8: Sting-Gray-Nebel

<https://tse2.mm.bing.net/th?id=OIP.dnbmAFZ3frV0RQuSrPmfUgAAAA&pid=Api&P=0&w=300&h=300>

¹⁰ https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Planetarischer_Nebel 31.03.2021

3.5 Entstehung von Planetarischen Nebeln

Planetarische entstehen in vier wesentlichen Schritten.

1. Es kommt zu einem hydrostatischen Gleichgewicht zwischen der Gravitation und dem Strahlungsdruck.

Wenn das „Leben“ eines Sterns mit einer Masse von ein bis fünf Sonnenmassen sich dem Ende zuneigt, entstehen Planetarische Nebel. Während der Stern lebt, fusioniert in seinem Inneren Wasserstoff zu Helium, weswegen ein Strahlungsdruck entsteht. Dieser Strahlungsdruck ist nach außen gerichtet und verhindert durch das Entgegenwirken der eigenen Gravitation, dass der Stern kollabiert. Dass sich die Gravitation und der Strahlungsdruck ausgleichen, bezeichnet man den Zustand als hydrostatisches Gleichgewicht.

2. Es kommt zur Kontraktion des Sterns, da der Strahlungsdruck abnimmt. Nach einiger Zeit ist der Wasserstoffvorrat aufgebraucht, wodurch der Strahlungsdruck des Sterns abnimmt. Der Stern zieht sich nun unter seiner eigenen Gravitation zusammen, weswegen durch die Verdichtung der Masse auch die Temperatur steigt. Durch die hohe Temperatur kann das Helium zu schweren Elementen (wie zum Beispiel Kohlenstoff oder Sauerstoff) fusionieren. Die relative Häufigkeit der schweren Elemente nimmt nach außen hin ab, weil auch die Temperatur nach außen hinsinkt.

3. Der Stern beginnt zu pulsieren.

Die sehr hohen Grade der Temperatur sind proportional zur Reaktionsgeschwindigkeit der Heliumfusion, weswegen sich auch der Strahlungsdruck schon bei einem leichten Anstieg der Temperatur übermäßig erhöht. Deshalb dehnt sich die äußere Schicht des Sterns aus, weswegen sie wiederum an Temperatur verliert und erneut kontrahiert. Der Stern beginnt zu pulsieren. Die abgestoßene Materie hat eine Expansionsgeschwindigkeit von ungefähr 25 Kilometern pro Sekunde. So verlieren die äußeren Regionen des Sterns immer weiter ihre Masse, diese Abstoßungen werden Sternenwind genannt. Durch diesen Sternenwind wird der heiße Kern des Sterns immer weiter freigelegt und nach einiger Zeit auch ein Anteil der schweren Elemente abgestoßen.

4. Das abgestoßene Gas wird vom heißen Zentralstern zum Leuchten gebracht.

Die Oberflächentemperatur des Zentralsterns steigt und sein Strahlungsvolumen verschiebt sich in den ultravioletten Bereich. Es emittieren nun fast ausschließlich hochenergetische Photonen, welche das abgestoßene Gas zum Leuchten anregen. Ein Planetarischer Nebel ist entstanden.¹¹

4.0 Equipment zur Astrofotographie

Zur Beobachtung und Aufnahme meiner Bilder nutzte ich an der Station 7 des Schülerlabors Astronomie am CFG Wuppertal den Apochromatischen Refraktor TEC160FL, die Farbkamera ZWO ASI183MCpro und den Filter Optolong H-alpha/OIII. Hierbei wurde ich von unserem Kursleiter Bernd Koch unterstützt.

4.1 Apochromatischer Refraktor TEC160FL

Der Apochromatische Refraktor TEC160FL mit Apochromatischem Triplet Objektiv mit einer freien Öffnung von 160 mm und einer Brennweite von 1120 mm. Mit einem Mittelelement aus Fluoritkristall, dauerstabilisierter Ölfügung und Farbkorrektur und 3,5 Feather Touch Fokussierer von Starlight Instruments.¹²

4.1.2 Technische Daten

Optikdurchmesser	160 mm
Brennweite	Ca.1140 mm

¹¹ <https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/astronomie/unterrichtseinheit/seite/ue/spektroskopie-an-galaktischen-gasnebeln/planetarische-nebel/>

¹² <https://www.baader-planetarium.com/de/teleskope/tec/tec-apo-160-fluorit-apochromat.html> 03.05.2021 16.00 Uhr



Abb.9: Teleskop an der Sternwarte; eigene Aufnahme

4.2 Optolong H-alpha / OIII

Der ZWO Duo-Band Schnellbandfilter ist eine Alternative zu L-RGB-Filtern, die man mit Monochromkameras macht. Man kann ihn für kontrastreiche Aufnahmen sowohl mit Color-Astro-Kameras und DSLR-Kameras. Der Filter ist ein Dual-Bandpassfilter und wurde für Colorkameras entwickelt. Die wichtigen Bereiche der Nebel wie H-Alpha, H-Beta und Sauerstoff (O-III) werden durchgelassen, während alles andere blockiert wird. Die Farbe des Nebels wird hierbei so gut wie möglich beibehalten. Auch sehr lichtschwache Nebel können mit dem Nebelfilter aufgezeichnet werden und man kann ihn auch mit Monochrom-kameras benutzen.

4.2.1 Technische Daten

Filtergröße	1,25 Filter gefasst
Filterdecke	1,85 mm

Bandbreite	o-III 35 nm/ H-Alpha 15 nm
Oberflächenqualität	(Refer to MIL-O-13830
Material	Schott Substrat
Transmission	Über 90% Durchlass bei 486 nm, 496 nm und 501nm – über 80% bei 656,3 nm

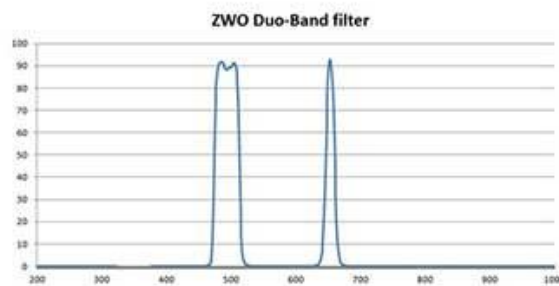


Abb.10:

Der Nebelfilter und seine Durchlasskurve https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p11627_ZWO-1-25--Duo-Band-Schmalband-Nebelfilter-fuer-Color-und-Astro-Kameras.html

4.3 ZWO ASI183MCpro Farbkamera

Die ZWO ASI183MCpro Farbkamera gehört mit etwa 20 Millionen Pixeln zu den großen Farbkameras und hat eine Auflösung von 2,4 μm . Sie wird vor allem für scharfe und lichtstarke Objekte genutzt. Da sie eine hervorragende Lichtempfindlichkeit hat wird sie außerdem häufig bei Deep-Sky-Objekten benutzt.

4.3.1 Technische Daten

Sensor	1`` CMOS IMX183CLK-J/CQJ-J
Auflösung	20,18 Megapixel, 5496*3672
Pixelgröße	2,4 µm bis beliebig
Sensorgröße	15,9 mm Diagonale
Belichtungszeit	32 µs bis beliebig
Ausleserauschen	1,6 e- @30 dB gain
Full well	15 ke-
Quanteneffizienz	Ca. 84 %

Kühlung	Peltierkühlung bis 45 °C unter Umgebung
Softwareanforderung	USB3.0 und USB2.0
DDRIII Buffer	256 MB
Bitrate	12 bit Output (12-Bit- ADC)
Teleskopanschluss	T2,2`` und 1,25``

Abstand T2-Gewinde zum Sensor	17,5 mm (6,5 mm ohne Adapter)
Größe	78 mm Durchmesser und 86 mm Länge
Gewichte	410 Gramm

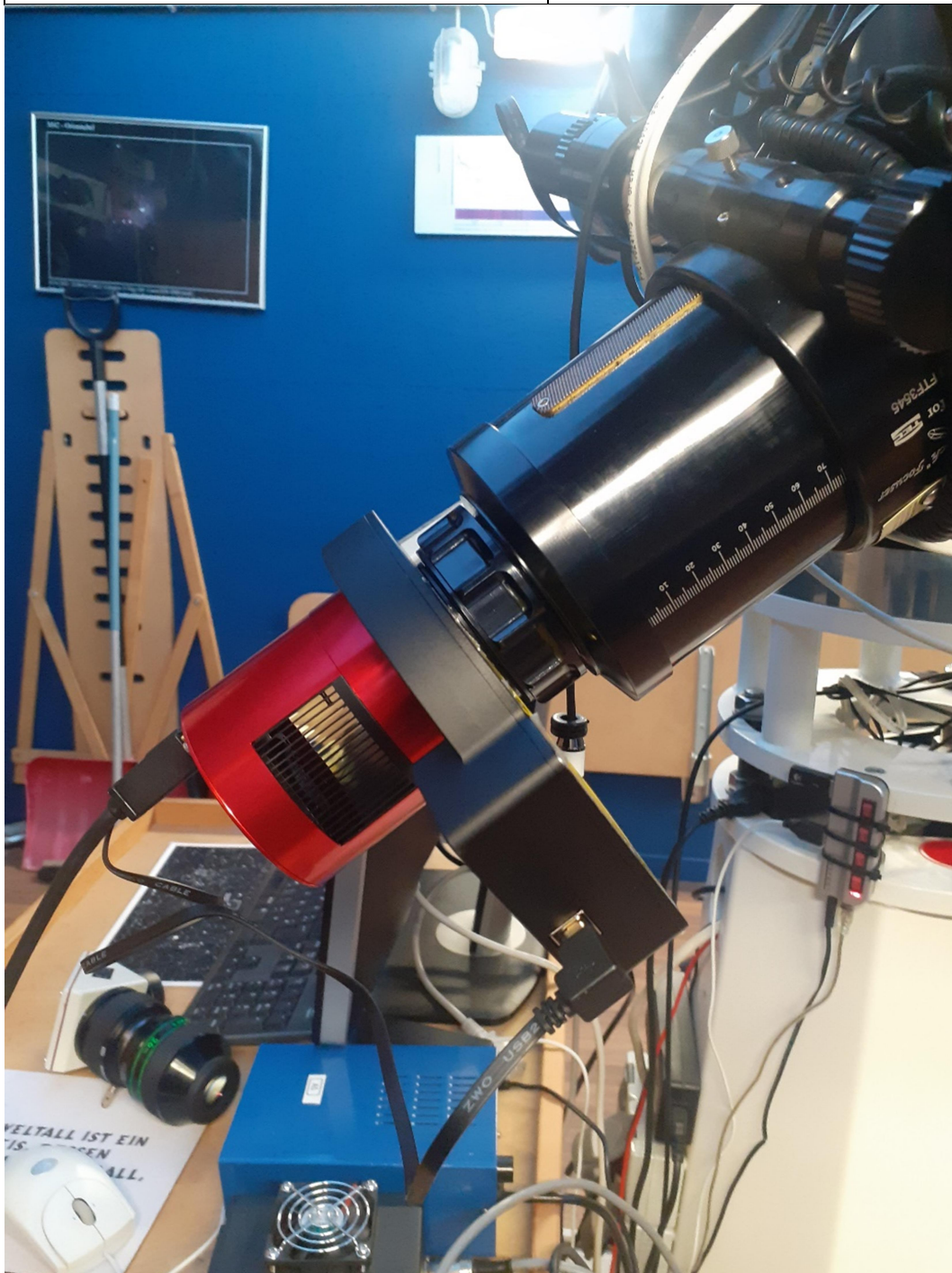


Abb.11:Die Kamera; eigene Aufnahmen

5.0 Astrofotografie Deep Sky Objekte

5.1 Beobachtungsabend

Am 24.02.2021 habe ich dann meine praktische Arbeit vorgenommen. Ich arbeitete an der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums und habe das Objekt NGC2392 aufgenommen.

Der Himmel war wolkenfrei, allerdings durch den Saharastaub noch ein wenig rot verfärbt. Da es drei Tage vor Vollmond war, war der Himmel außerdem sehr hell.

Da ich meine Arbeit an Station 7, der Station, die im Gegensatz zu den Stationen 1 bis 6 immer aufgebaut ist, musste ich nicht viel machen. Das Teleskop an Station 7 ist der apochromatische Refraktor TEC160FL. Da das Teleskop in einem kleinen Raum vor der Sternwarte ist, ist es ziemlich windgeschützt und man kann es von drinnen über den Computer steuern. Da es der erste Einsatz des Filters war, war es ein kleines Experiment.



Abb.12: Das Teleskop an der Sternwarte; eigene Aufnahme

Da das Teleskop immer aufgebaut ist, musste ich ausschließlich die Kamera am Teleskop montieren.

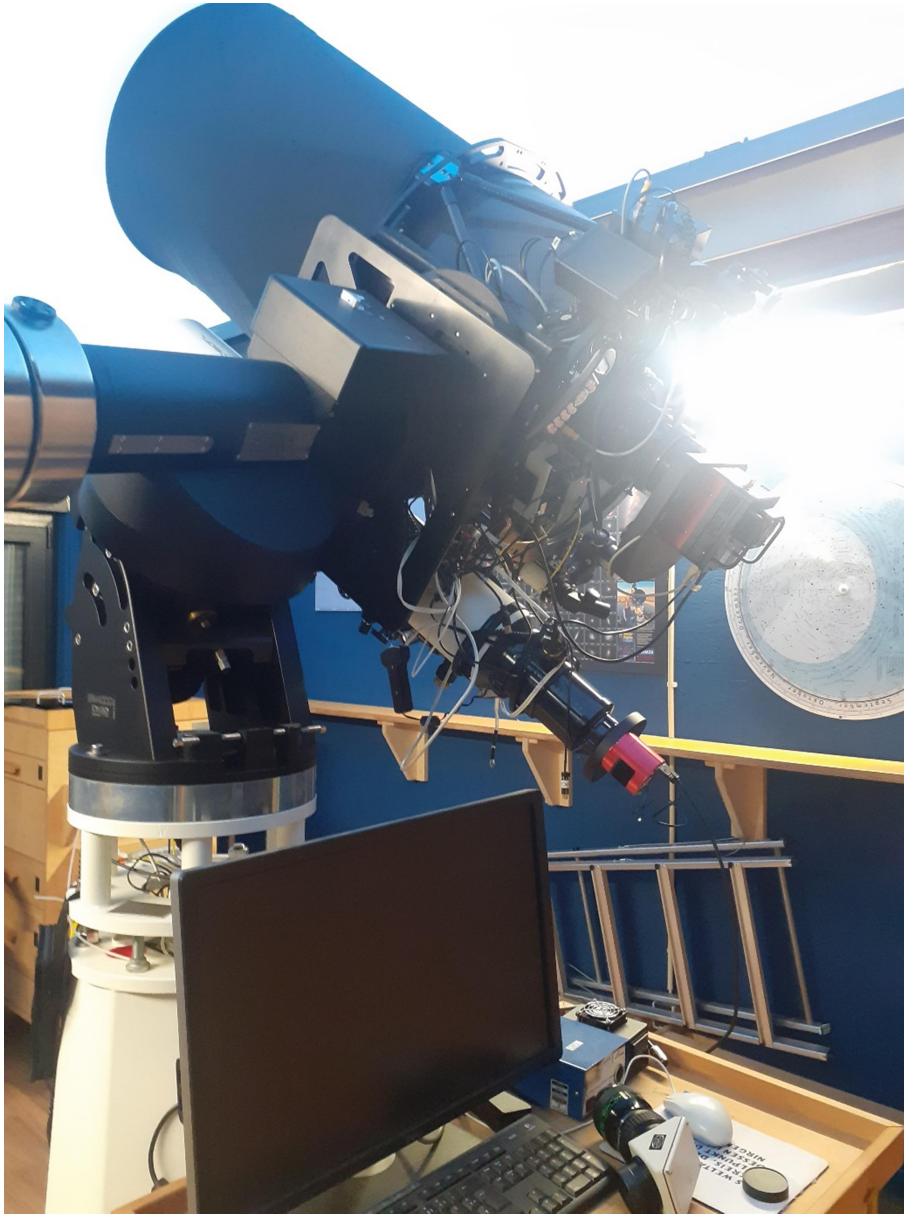


Abb.13: das Teleskop an der Sternwarte; Eigene Aufnahme

Bevor ich dann mit dem Aufnehmen beginnen konnte, musste ich alles überprüfen.



Abb.14: Steuern des Teleskops; eigene Aufnahme

Zuerst prüfte ich, ob ich die Kamera spiegelverkehrt angebracht habe. Dann schwenkte ich die Kamera zuerst auf den Mond, um einen Anhaltspunkt zu haben und damit ich die Schärfe der Kamera überprüfen konnte.

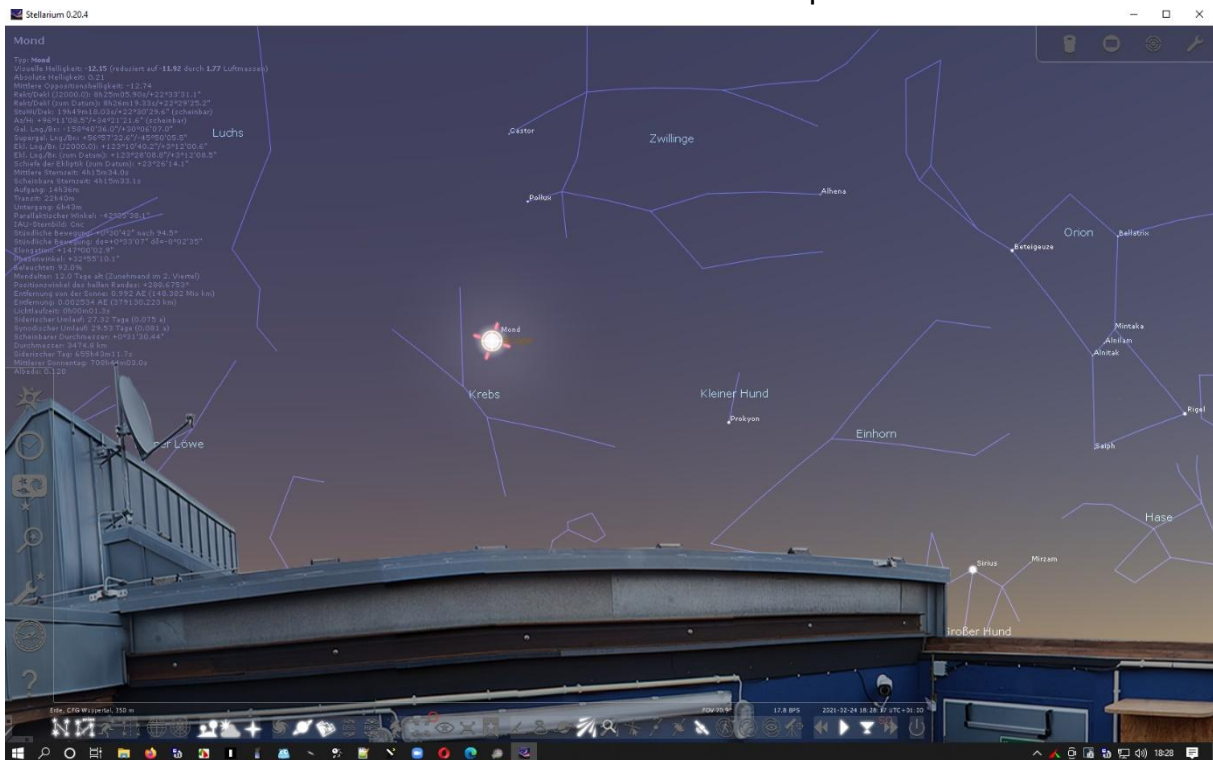


Abb.15: Abbildung des Himmels von Stellarium; Selbsterstellter Screenshot

Danach suchte ich NGC2392 bei Stellarium und ließ das Teleskop automatisch zu dem Planetarischen Nebel schwenken.

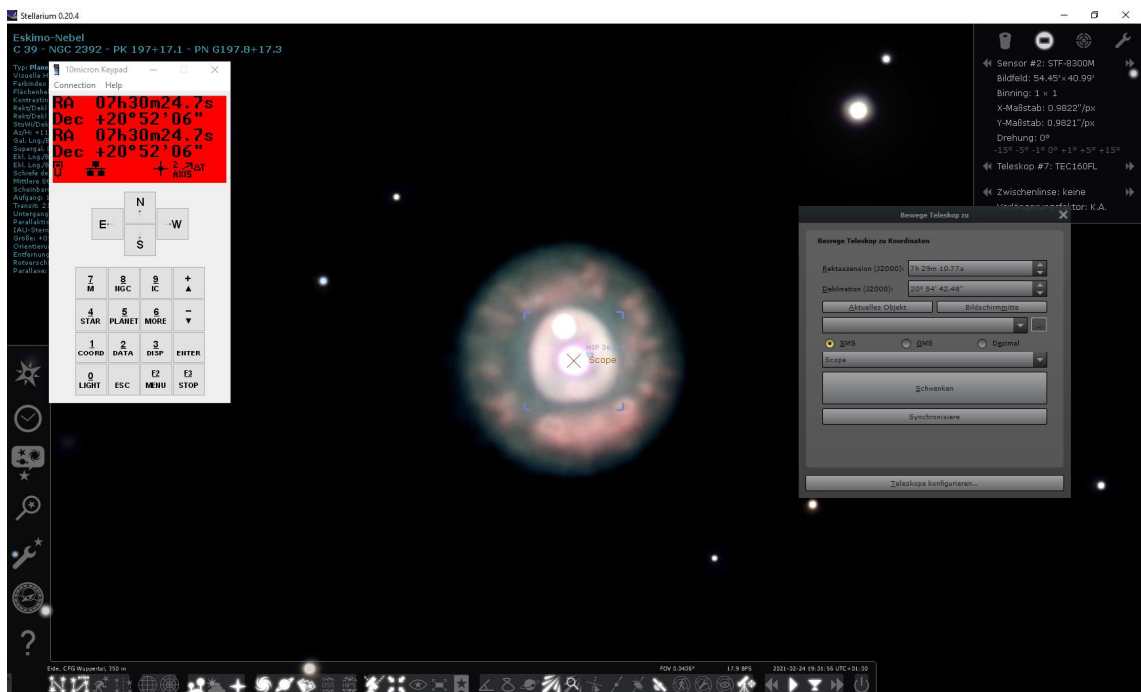


Abb.16: Eskimonebel auf Stellarium; Screenshot

Ich habe die Einstellungen, wie z.B. den Filter, den ich benutzte, ausgewählt und dann konnte die Beobachtung beginnen.

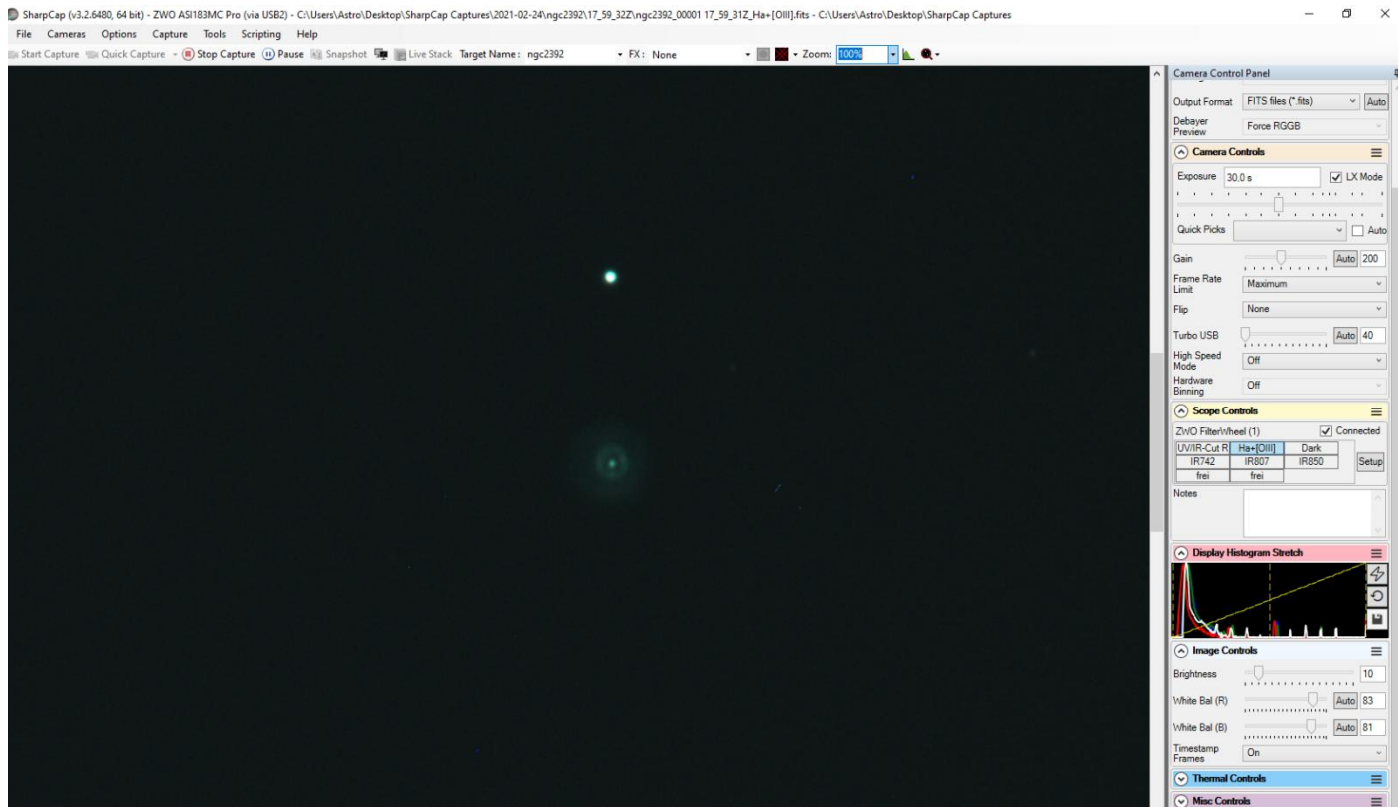


Abb.17: Einstellungen von Filter, Kamera etc.; Screenshot

Ich machte einige 30s-Aufnahmen mit Rohformat FITS und außerdem noch einige 20s Darkframes.

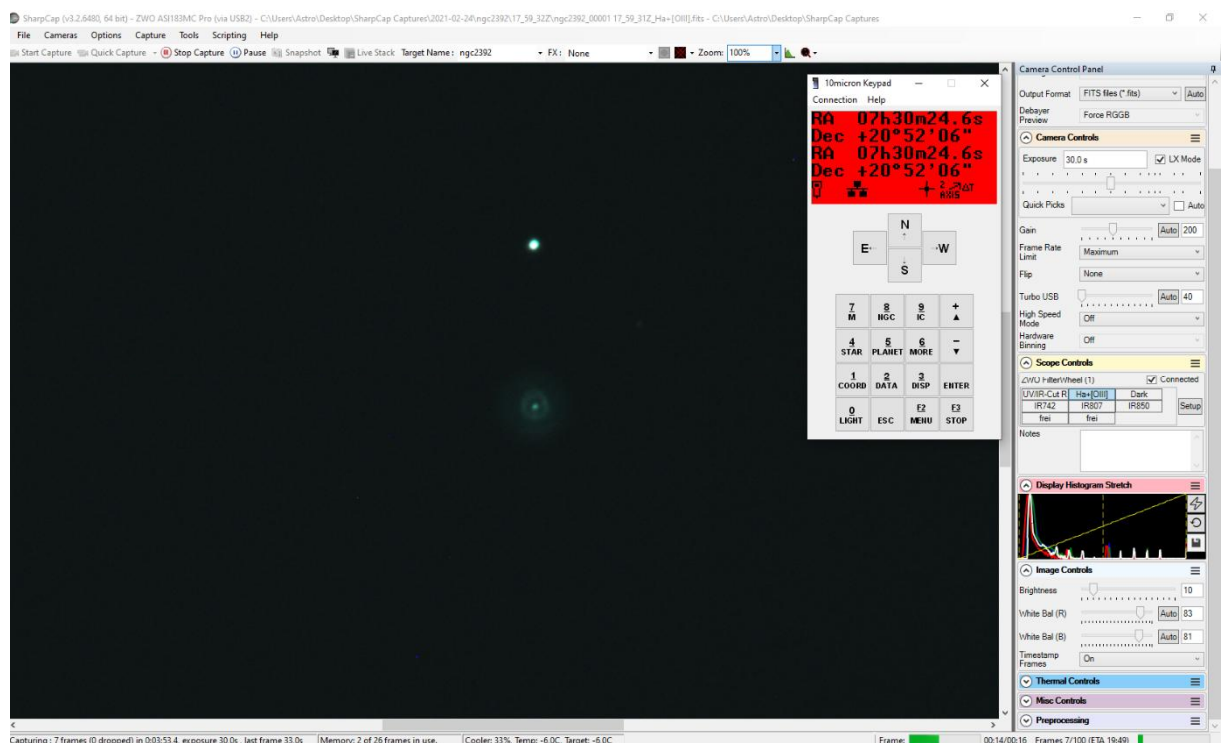


Abb.18: Rohformat Aufnahme; Screenshot

5.2 Bildbearbeitung

Zur Bildbearbeitung nutzte ich die Programme Astroart 7 und Photoshop.

5.2.1 Bildbearbeitung mit Astroart 7

Zuerst musste ich das Bildformat und die Größe des Bildes einstellen.

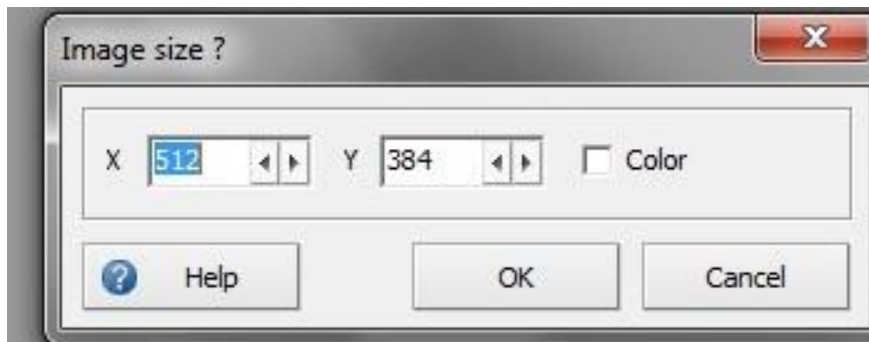


Abb.19: Einstellung des Bildformats; Screenshot

Ich habe anschließend alle meine Aufnahmen und ein zusätzliches Masterdark in das Programm eingefügt. Dieses wird hinterher vom Programm von den Eigentlichen Aufnahmen abgezogen, damit die Helligkeit herausgefiltert wird. Ich habe außerdem den Filter angegeben, den ich nutze.

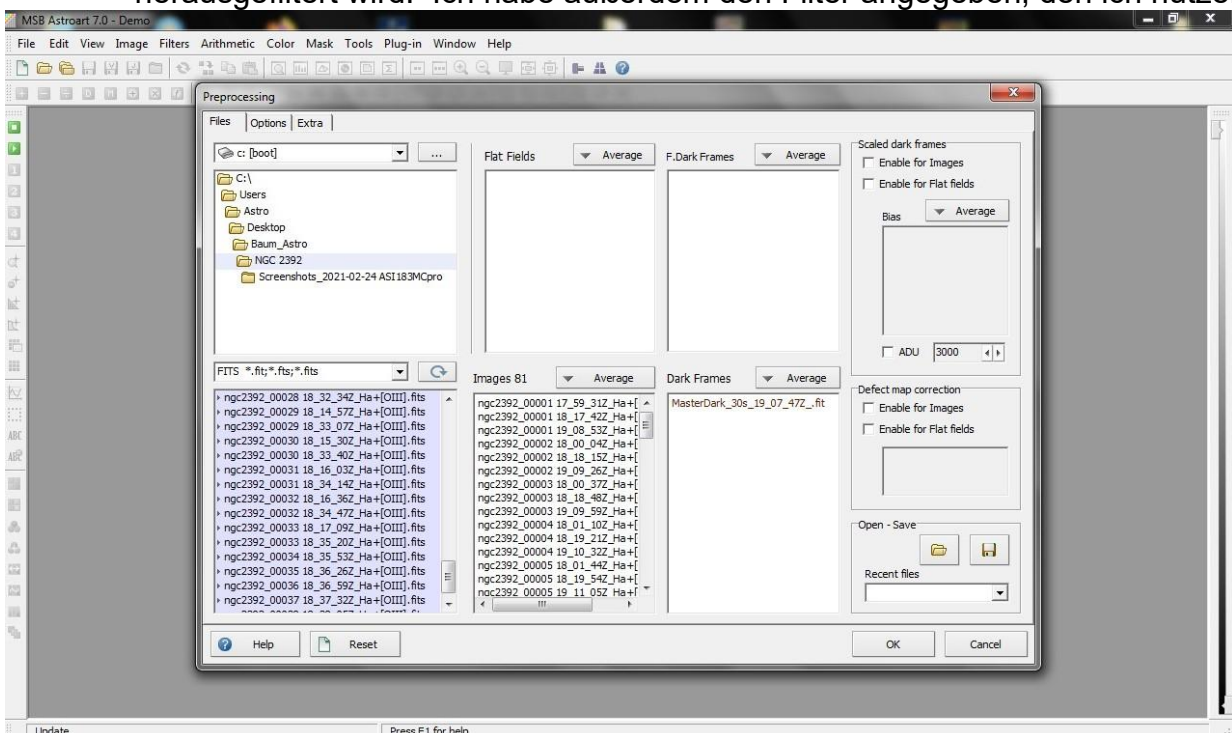


Abb.20: getätigte Einstellungen; Screenshot

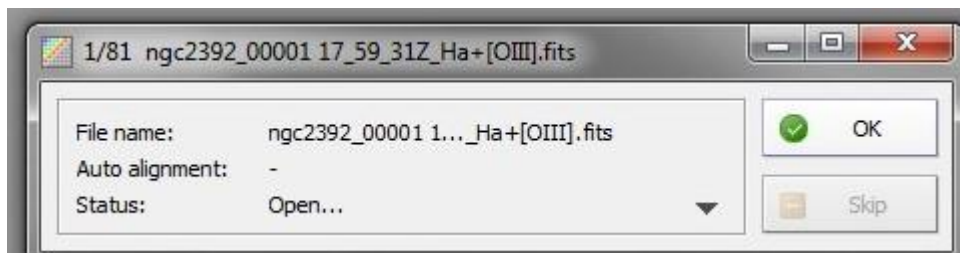


Abb.21: Bilder einfügen; Screenshot

Daraufhin stellte ich ein, dass die Sterne übereinandergelegt werden und das negative Pixel entfernt werden sollen.

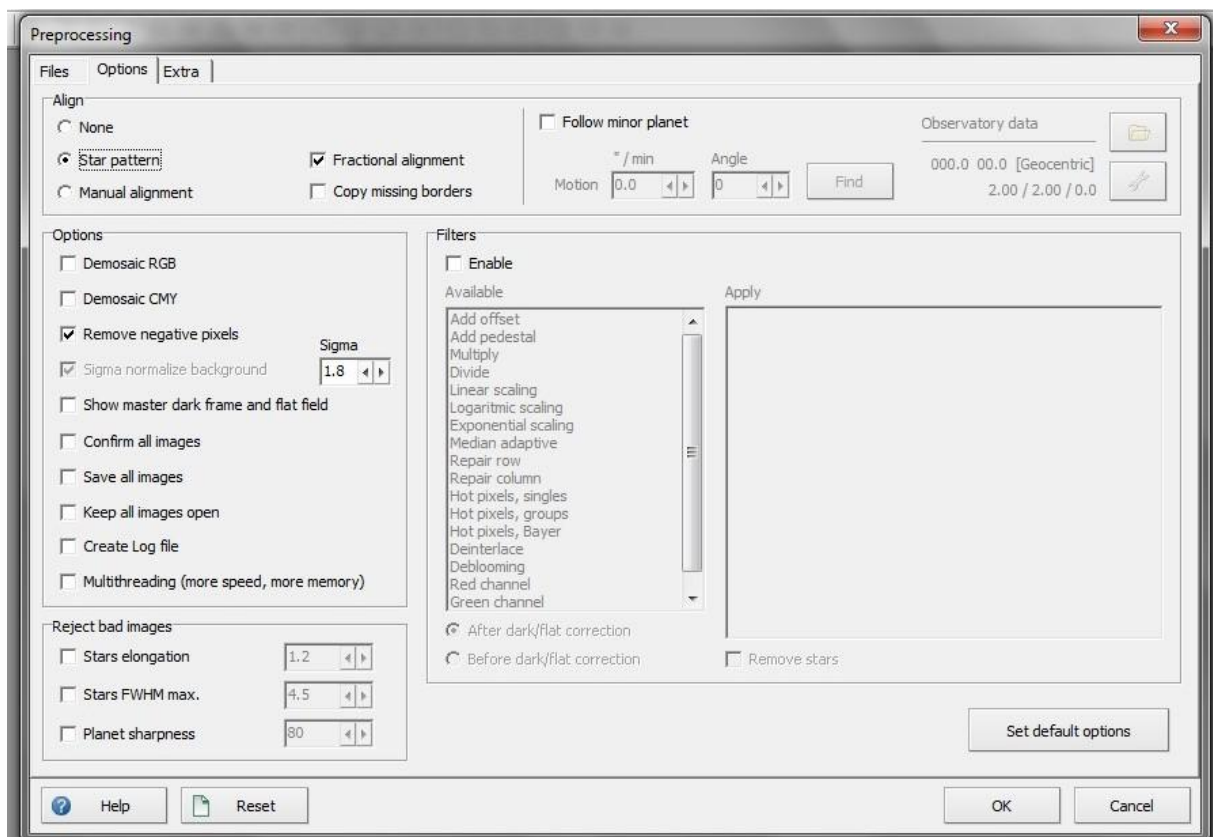


Abb.22: Einstellungen; Screenshot

So sahen die ersten Bilder aus, die ich eingefügt habe. Die Farben waren noch sehr verzerrt, aber gut zu bearbeiten.



Abb.23: Unbearbeitete Aufnahme; Screenshot

Ich überarbeite die Farben des Bildes und änderte den Hintergrund und die Helligkeit der Aufnahmen.

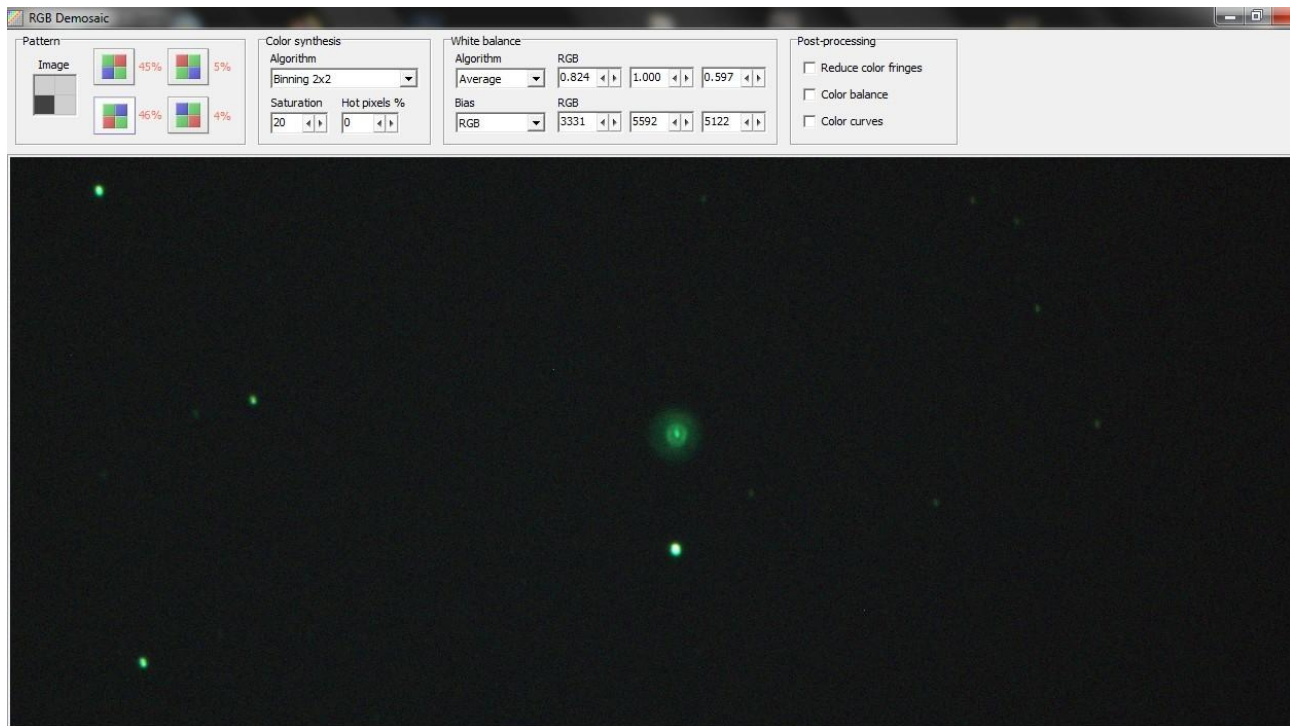


Abb.24: Überarbeitung von Farben und Helligkeit; Screenshot

So sieht eine erste starkvergrößerte Bearbeitung aus.

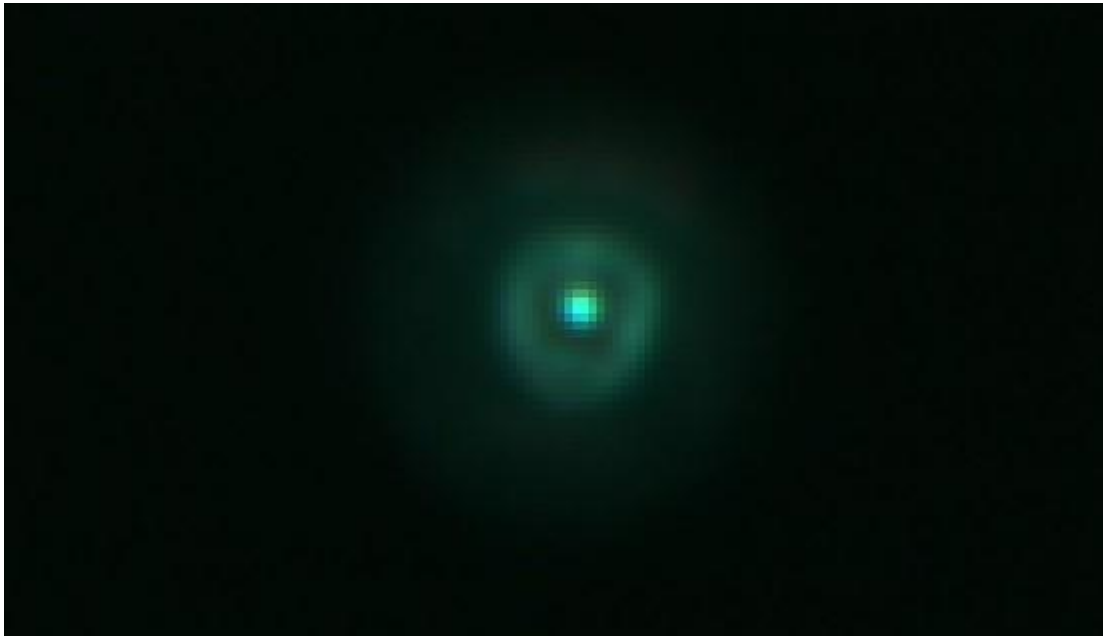


Abb.25: Starkvergrößerte Bearbeitung, Screenshot

An großen und hellen Sternen konnte ich die Farben ausbessern, sodass Sie weder rot noch grün verfärbt sind. Dieser Farbfehler wird durch die Erdatmosphäre hervorgerufen und wird chromatische Aberration genannt.

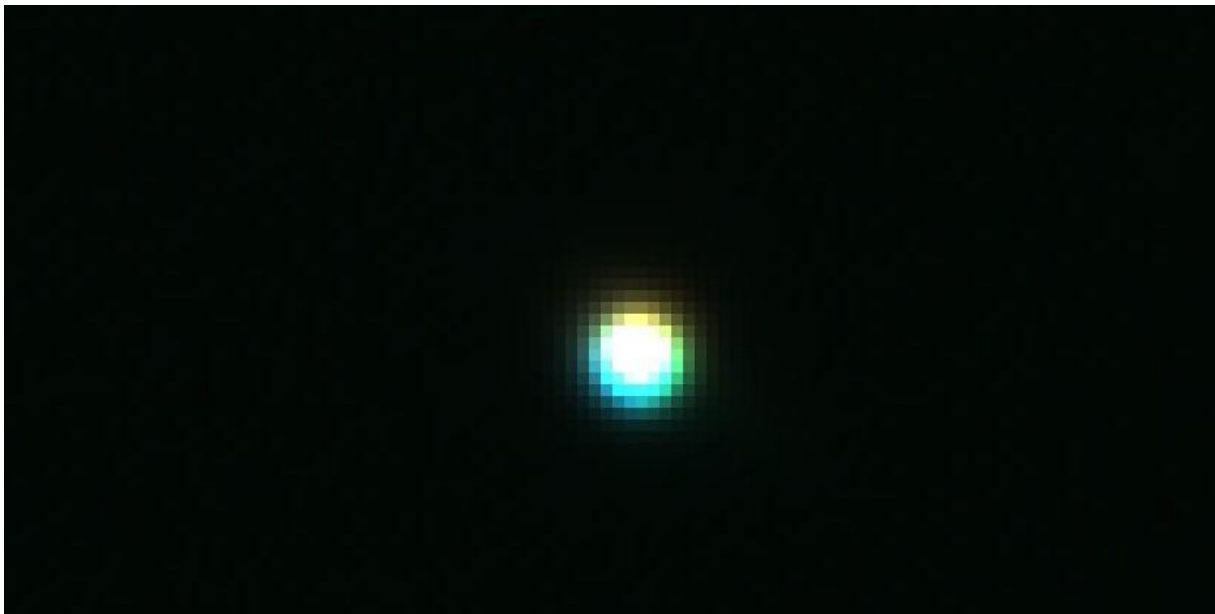


Abb.26: Ein heller Stern meiner Aufnahme; Screenshot

So sahen die Aufnahmen nach der Farbkorrektur aus.



Abb.27: Planetarischer Nebel nach Farbkorrektur; Screenshot

5.2.2 Bildnachbearbeitung mit Photoshop

Anschließend bearbeitete ich die Bilder noch mit Photoshop. Zuerst fügte ich das Ergebnis aus Astroart bei Photoshop ein.

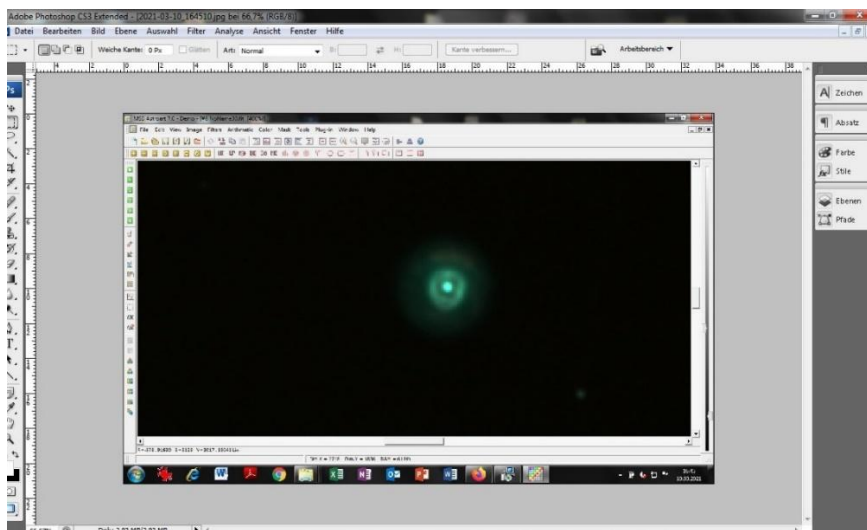


Abb.28: Einfügen des Bildes bei Photoshop; Screenshot

Es mussten sowohl die einzelnen Farben grün, blau und rot korrigiert werden und auch die Farbe des Hintergrunds überarbeitete ich erneut.

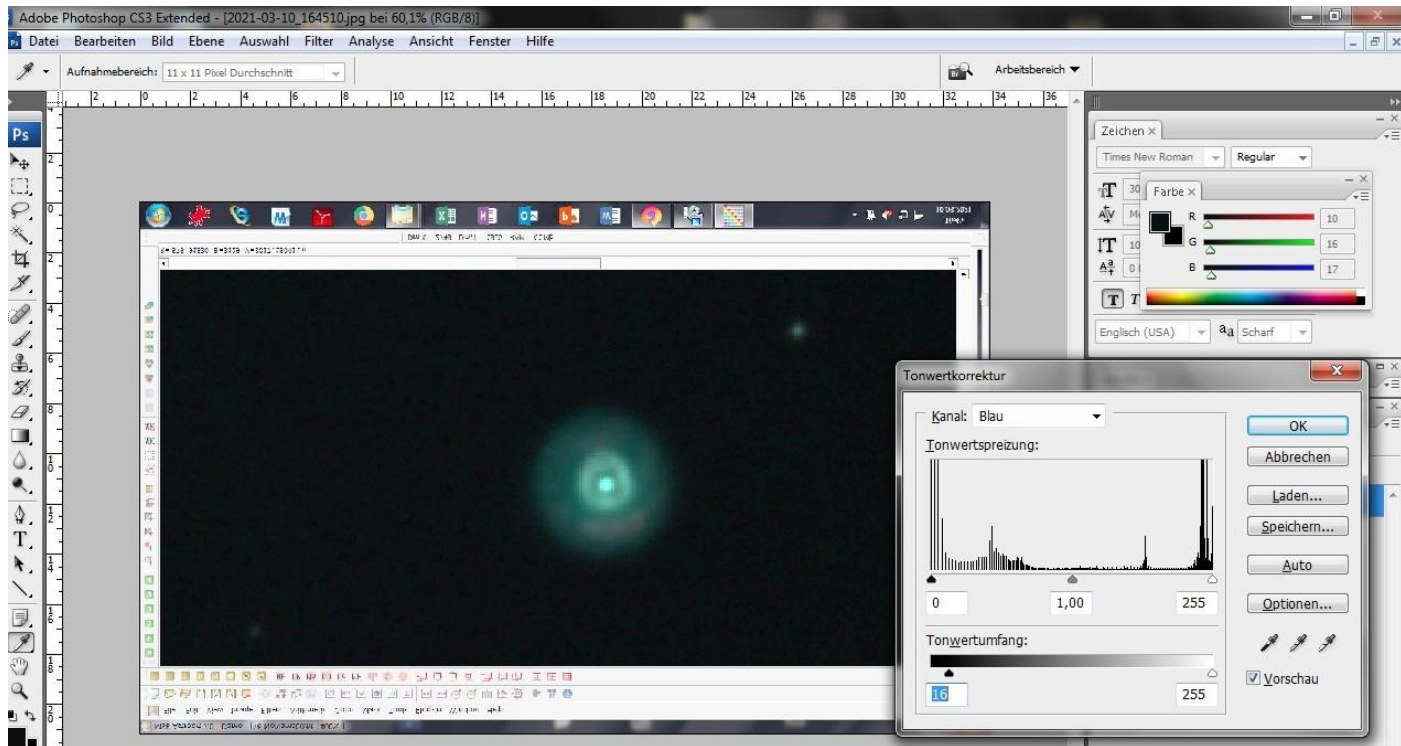


Abb.29: Überarbeitung der Farben; Screenshot

Das ist das endgültige Ergebnis meiner eigenen Aufnahmen, die ich in vielen Schritten überarbeitet habe.



Abb.30: endgültiges Ergebnis, Screenshot

Im Vergleich dazu ein Bild des Eskimonebels des Hubble-Weltraumteleskops.

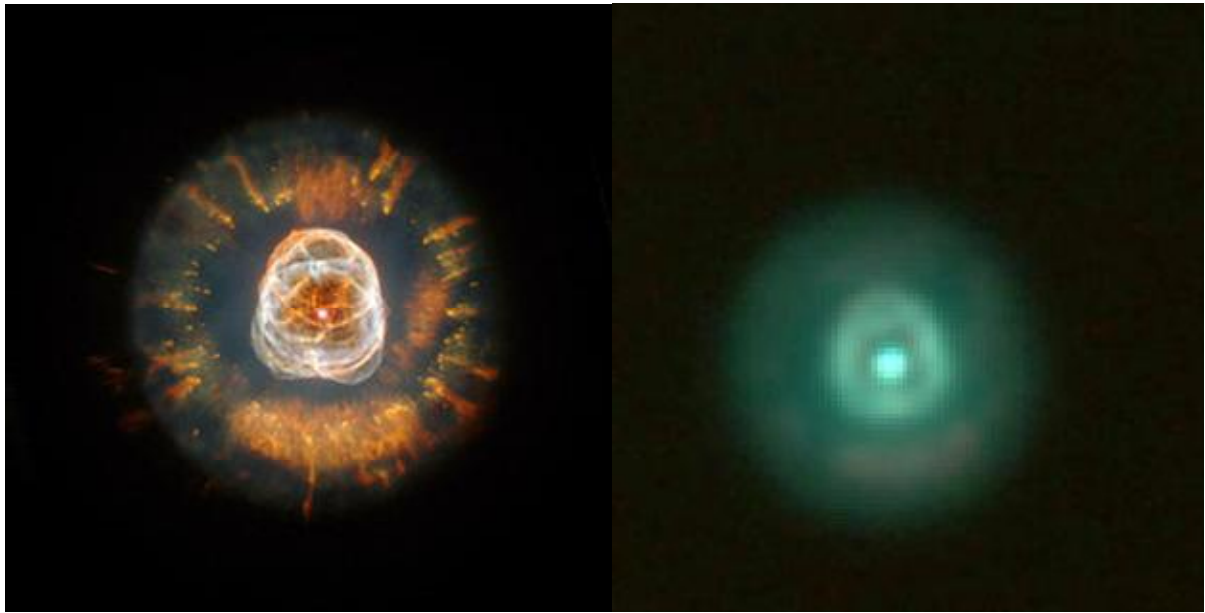


Abb.31: Der Eskimonebel: Vergleich zwischen meinem Ergebnis und eine Aufnahme des Hubble-Weltraum-Teleskops

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/16/Ngc2392.jpg/450px-Ngc2392.jpg>

6.0 Eskimonebel

6.1 Allgemeines

Der Eskimonebel (auch NGC 2392) ist der Planetarische Nebel, der sich im Sternbild Zwillinge befindet. Er ist ca. 3000 Lichtjahre entfernt und hat eine Ausdehnung von 0,7 Lichtjahren. Er ist 0,8' mal 0,7' groß und hat eine scheinbare Helligkeit von 9,1 mag. Man vermutet, dass der Eskimonebel in Wirklichkeit nicht so rund ist, wie es scheint, sondern bipolar, wobei seine Beobachter*Innen auf die Polarachse blicken.

Schon mit kleinen Teleskopen kann man die Besonderheiten des Nebels gut erkennen. Er ist in zwei Schalen und einen Bogen unterteilt. Dieser Bogen schenkt ihm auch seinen Namen, da er aussieht wie die pelzige Kapuze eines Inuits. Es gibt noch eine Besonderheit, und zwar die sogenannte „Brücke“, eine dunkle Stelle in einem Gasfragment. Diese ist allerdings nur mit einem Teleskop, mit einer Teleskopöffnung von über 50 und bei perfekten Bedingungen zu sehen.

6.2 Entstehung

Der Eskimonebel entstand vor ca. 10.000 Jahren, als sein Zentralstern seine äußere Hülle abwarf. Dieser sonnengroße Zentralstern ist von zwei Gashüllen umgeben, die sich unterschiedlich schnell ausdehnen und durch die starke Strahlung des Sterns leuchten. Der Zentralstern ist ein o8-Stern mit einer absoluten Helligkeit von ca. 0,7 mag, einer Oberflächentemperatur von ca. 40.000 K und hat ca. die 40fache Leuchtkraft der Sonne.¹³

6.3 Entdeckung

Der Eskimonebel wurde 1787 von Wilhelm Herschel als klein in der Ausdehnung, hell, rund und Stern mit 9 mag beschrieben.¹⁴



Abb.33: Wilhelm Herschel

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Wilhelm_Herschel_03.jpg

¹³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Eskimonebel> 13.05.2021 16.00 Uhr

¹⁴ <http://www.sternwarte-eberfing.de/Fuehrung/2009/Maerz2009.html> 13.05.2021 16.45 Uhr

7.0 Fazit

Insgesamt kann ich sagen, dass mir die Arbeit an meiner Projektarbeit viel Freude bereitet hat. Ich habe in der Vorbereitungsphase viel gelernt, und zwar sowohl über Theoretisches über die verschiedenen Objekte unseres Nachthimmels, aber auch die Praxis bei den Aufnahmen meines Nebels mit den Teleskopen und die Bildbearbeitung danach haben sehr viel Spaß gemacht. Besonders stolz bin ich darauf, dass ich den Filter, den ich nutze als erste Person oben an der Sternwarte testen durfte und wir feststellen konnten, dass er sowohl für die Aufnahmen als auch für die Bildbearbeitung sehr gut geeignet ist und meine Ergebnisse ein voller Erfolg waren.

Besonders viel habe über die Planetarischen Nebel gelernt. Ich finde es sehr interessant, dass auch Sterne „leben“ können und bin immer noch fasziniert, was passiert, wenn dieses „Leben“ zu Ende geht. Auch der Eskimonebel ist ein sehr besonderes Objekt und ich bin froh, dass ich die Gelegenheit hatte ihn aufzunehmen.

8.0 Anhang

8.1 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Koch, unserem Kursleiter, der uns alle, während unseren Arbeiten kräftig unterstützt hat. Sowohl bei theoretischen Fragen und Berechnungen, konnten wir ihn immer fragen als auch bei Problemen, während des praktischen Teils. Außerdem bedanke ich mich bei allen, die es möglich machen, dass es etwas so Besonderes, wie den Astronomie-Projektkurs an unserer Schule geben kann.

9.0 Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir verfasste Projektarbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

15.05.2021 Tara Gassel