Endstadien der Sternentwicklung

Planetarische NEBEL und Supernovae

von Kim Bassalay und Niko Wehner —

Carl-Fuhlrott-Gymnasium Wuppertal — Jahrgangstufe Q1

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses
Astronomie 2020/2021 am CFG Wuppertal
Kursleitung: Bernd Koch
Abgabe: 19.05.2021

Endstadien der Sternentwicklung – Planetarische Nebel und Supernovae
Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie 2020/2021 am CFG Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3

2 Die Definition eines Sterns 3

2.1 Das Hertzsprung-Russell-Diagramm 3

2.2 Die Namen der Spektralklassen 4

2.3 Die Entstehung eines Sterns 5

2.3.1 Die Kernfusion 5

2.4 Die Entwicklung eines Sterns 6

2.4.1 Massearme Sterne 6

2.4.2 Massereiche Sterne 6

3 Supernova 8

3.1 Die Entstehung des Begriffs 8

3.2 Supernova allgemein 8

3.3 Thermonukleare Supernova vom Typ Ia 9

3.4 Hydrodynamische Supernova 10

3.5 Neutronensterne 12

3.6 Schwarzes Loch 13

4 Planetarische Nebel 14

4.1 Die Entstehung des Begriffs 14

4.2 Planetarischer Nebel allgemein 14

4.3 Die Entdeckung der Planetarischen Nebel 15

4.4 Die Entstehung Planetarischer Nebel 15

4.5 Der Weiße Zwerg 16
4.6 New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars (NGC) 17
4.6.1 Messier-Katalog 17
5 Unsere fotografierten Objekte 18
5.1 Kleiner Hantelnebel M76 18
5.2 Blauer Schneeball 19
5.3 Kamelaugennebel 20
5.4 Krebsnebel M1 21
6 Equipment zur Fotografie der Objekte 22
6.1 Teleskop 50 cm Planewave CDK 20 22
6.1.1 Farb-CMOS-Kamera ZWO ASI 183 MC Pro 23
6.2 Beobachtungsabend 25
6.3 Bildverarbeitung 27
6.4 Bildbearbeitung 29
6.5 Die fertigen Bilder 31
7 Fazit 33
8 Danksagung 34
9 Abschlusserklärung 34

1 Einleitung

Nachdem wir uns für den Projektkurs Astronomie entschieden haben, hatten wir bis zu den Herbstferien Zeit, ein Thema für unsere Projektarbeit auszuwählen. Als Hilfestellung hat uns unser Kurslehrer Herr Koch einige Beispiele genannt und wir hatten auch Zugriff auf alte Projektarbeiten, die schon geschrieben wurden. Wir haben uns dann dazu entschieden in die Richtung des Tods eines Sterns zu gehen, da uns das persönlich sehr interessiert und wir mehr darüber lernen wollten. Dabei gehen wir hauptsächlich auf die Planetarischen Nebel sowie die Supernovae ein, weil sie zu den schönsten Objekten im Nachthimmel gehören, die man beobachten kann. Wir entschieden uns für vier Objekte, welche wir für unsere Projektarbeit fotografieren wollten. Dabei handelte es sich um den Krebsnebel M1 (NGC1952), den kleinen Hantelnebel M76 (NGC650), den Blauen Schneeball (NGC7662) und den Kamelaugennebel (NGC1501).

2 Die Definition eines Sterns

Ein Stern ist astronomisch gesehen ein massereicher, selbstleuchtender Himmelskörper, welcher aus Gas und Plasma besteht. Der wohl bekannteste Stern ist die Sonne, die uns jeden Tag Licht und Wärme spendet und somit das Leben auf unserem Planeten ermöglicht. Es ist logisch, dass nicht jeder Stern dieselbe Größe hat, dies liegt an der unterschiedlichen Masse der Sterne. In den meisten Fällen kann man sagen, dass ein Stern mit mehr Masse auch größer ist als ein Stern mit weniger Masse. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, wie zum Beispiel einen Weißen Zwerg, dieser ist nur wenige Kilometer ausgedehnt, kann aber die ungefähre Masse unserer Sonne besitzen. Somit handelt es sich hierbei um einen sehr dichten Himmelskörper mit viel Masse aber einer geringen Ausdehnung. Im Vergleich zu den anderen Sternen ist die Sonne nur eher durchschnittlich groß, es gibt Sterne, die mehr als 100-mal die Masse unserer Sonne haben. Diese Sterne verhalten sich dann auch anders, denn ein sehr massereicher Stern fusioniert in derselben Zeit deutlich mehr Wasserstoff zu Helium als ein masseärmerer Stern. Aufgrund dessen ist ein solcher Stern auch deutlich heller und heißer als ein kleinerer Stern. Die Sterne können im sogenannten Hertzsprung-Russell-Diagramm kategorisiert werden. Unsere Sonne befindet sich in diesem Diagramm ungefähr in der Mitte der Hauptreihe .[1, 2]

2.1 Das Hertzsprung-Russell-Diagramm

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm *(Abb. 1)* ist ein Diagramm, welches die Entwicklung eines Sterns aufgrund seiner Masse und Eigenschaften darstellt. Dabei werden sowohl die Spektralklassen als auch die absolute Helligkeit eines Sterns berücksichtigt. Die meisten Sterne befinden

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Stern
[2] https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/groesse-von-sternen/

sich in der in der Nähe der sogenannten Hauptreihe. Diese Hauptreihe erstreckt sich diagonal von links oben nach rechts unten. Links unter der Hauptreihe befinden sich die sogenannten Weißen Zwerge, die aufgrund ihrer sehr geringen Größe nicht viel Leuchtkraft besitzen. Die Weißen Zwerge befinden sich etwa in den Spektralklassen von O bis F, damit sind sie in den früheren oder mittleren Spektralklassen. Rechts über der Hauptreihe befinden sich die sogenannten Riesen und Überriesen, welche eine enorme Leuchtkraft aufweisen können. Diese Riesen befinden sich in den mittleren oder späteren Spektralklassen. Entwickelt wurde dieses Diagramm von dem amerikanischen Astronom Henry Norris Russell und es baut auf der vorherigen Arbeit des dänischen Astronomen Enjar Hertzsprung auf. Aus diesem Grund hat dieses Diagramm auch den Namen bekommen, dieser beruht auf den beiden Entwicklern des Modells. [3]

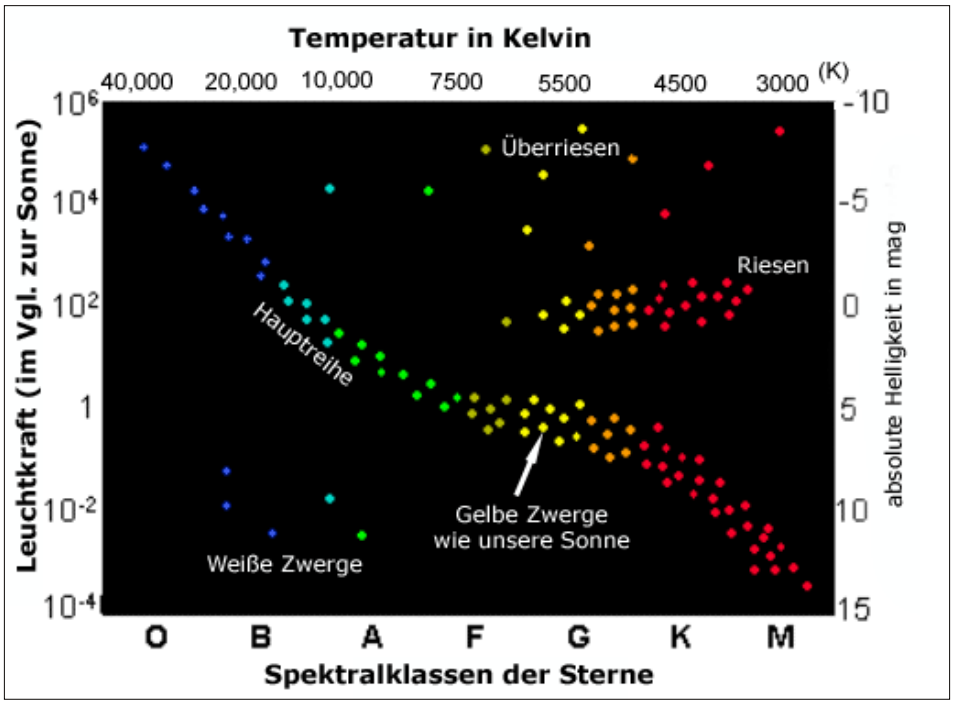


Abb. 1: Hertzsprung-Russell-Diagramm
https://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/deepsky/hrd-gr.html

2.2 Die Namen der Spektralklassen

Man kann die unterschiedlichen Spektralklassen in drei unterschiedliche Kategorien unterteilen. Die Spektralklassen O bis A sind als frühere Spektralklassen bekannt, die Spektralklassen F bis G sind auch als die mittleren Spektralklassen bekannt und die übrigen Spektralklassen sind auch als späte Spektralklassen bekannt. Diese Bezeichnungen der Spektralklassen beruhen jedoch auf einem Missverständnis. Das liegt daran, dass man in der früheren Zeit, als die Technik noch nicht so weit fortgeschritten war, davon aus ging, dass die Spektralklasse etwas über den aktuellen Entwicklungsstand eines Sterns aussagen würde. Und auch wenn dies mittlerweile widerlegt wurde, werden diese Bezeichnungen auch heute noch verwendet. [4]

[3] https://de.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russell-Diagramm
[4] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Spektralklasse

2.3 Die Entstehung eines Sterns

Nicht alle Sterne nehmen im Verlauf ihres Daseins dieselbe Entwicklung, es kommt auf die Masse des Sterns an, wie er sich entwickelt. Die Sterne kommen nicht einfach so aus dem nichts. Sie bilden sich aus riesigen Wolken, die aus Staub aber vor allem aus Wasserstoff und anderen Gasen bestehen, diese werden auch Nebel genannt. Ein bekannter solcher Nebel ist der Orionnebel in unserer Galaxie. Der Prozess von einer Wolke, die hauptsächlich aus Gasen besteht, bis hin zu einem Stern dauert mehrere Millionen Jahre. Der Hauptgrund dafür ist die Schwerkraft, denn die sorgt dafür, dass sich die Gase innerhalb der Wolke anziehen. Somit wird die Wolke immer dichter und nimmt so allmählich die Form einer großen und sehr massiven Gaskugel an. Somit stehen die Teilchen im Inneren der Wolke unter immer größer werdenden Druck und mit dem steigenden Druck, steigt auch die Temperatur immer weiter an. Irgendwann ist es im Zentrum so heiß, dass die Wasserstoff-Atome anfangen, miteinander zu verschmelzen, so entsteht Helium und Energie wird freigesetzt. Bei dieser Reaktion wird so viel Energie frei, dass der Stern zu leuchten beginnt. Durch diese Kernfusion im Zentrum des Sterns wird ein Gegendruck erzeugt, welcher gegen die Schwerkraft wirkt und somit dafür sorgt, dass sich der Stern nicht weiter zusammenzieht. Jetzt hat sich der Stern zu einer stabilen, leuchtenden Gaskugel geformt. [5]

2.3.1 Die Kernfusion

Die Kernfusion macht erst möglich, dass Sterne leuchten, hierbei werden leichte Atomkerne zu schwereren Kernen umgewandelt. Die Sonne fusioniert jede Sekunde bei 15,6 Millionen Kelvin etwa 567 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 562,8 Millionen Tonnen Helium. Der Masseunterschied von etwa 4,2 Millionen Tonnen ist der Grund für die exotherme Reaktion, also die frei werdende Energie. Der Prozess der Kernfusion kann nur unter extremen Druck und Hitze stattfinden, denn nur so kann die sogenannte Coulombbarriere überwunden werden, das ist die elektrische Abstoßung der positiv geladenen Kerne. Wenn diese Barriere also überschritten wurde, überwiegt die Anziehungskraft durch die starke Wechselwirkung und die Kerne verschmelzen miteinander *(Abb. 2).* [6]

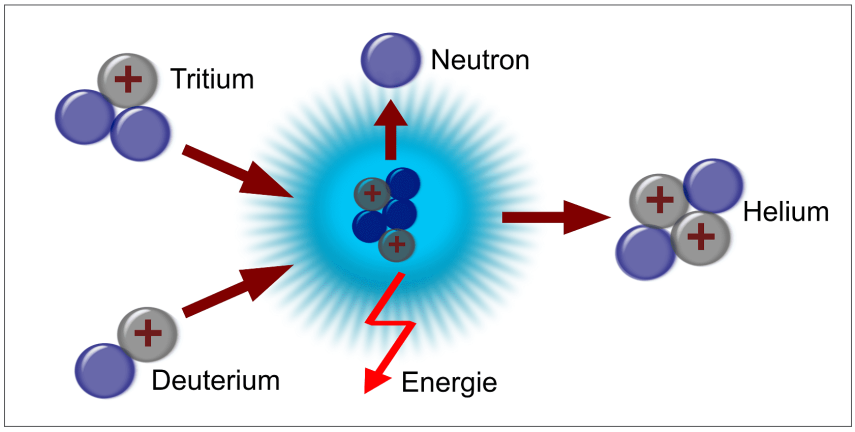


Abb. 2: Kernfusion
https://www.spektrum.de/wissen/die-kalte-fusion-wunsch-oder-wirklichkeit/1315962

[5] https://www.planet-schule.de/mm/die-erde/Barrierefrei/pages/Wie_entstehen_Sterne.html
[6] https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/kernfusion

2.4 Die Entwicklung eines Sterns

2.4.1 Massearme Sterne

Wenn ein Stern etwa 10-20% seines Wasserstoffs verbraucht hat, hört die Fusion im Zentrum des Sterns auf, die Schwerkraft kann den Stern nun wieder ungehindert kollabieren lassen. Bei Sternen mit weniger als 0,9 Sonnenmassen ist die Entwicklung somit abgeschlossen und der Stern wird zu einem Weißen Zwerg. Bei Sternen mit mehr als 0,9 Sonnenmassen ist die Entwicklung noch nicht vollständig abgeschlossen. Diese Sterne kollabieren nämlich so stark unter ihrer eigenen Schwerkraft, dass die nächste Fusionsstufe, das Heliumbrennen, erreicht wird. Das passiert aufgrund der extremen Hitze und der Geschwindigkeit der Atome im Zentrum des Sterns. In der nächsten Stufe werden schwerere Elemente fusioniert. Helium fusioniert zu Kohlenstoff und Sauerstoff. Die bei diesem Prozess erzeugte Hitze sorgt dafür, dass sich die Außenhülle des Sterns auseinandertreibt, der Stern wird zum sogenannten Roten Riesen. Die äußere Hülle des Sterns ist nicht mehr so stark an die Schwerkraft des Sterns gebunden, deshalb breitet sie sich in den interstellaren Raum aus. Wenn der Vorrat an Helium nun auch so klein geworden ist, dass keine Heliumfusion mehr stattfinden kann, ist die Entwicklung für Sterne mit weniger als vier Sonnenmassen vorbei. Der Kern aus Kohlenstoff und Sauerstoff verglüht langsam als Weißer Zwerg und die Hülle aus Wasserstoff und Helium breitet sich als Planetarischer Nebel ins All aus *(Abb. 3).* [7]

2.4.2 Massereiche Sterne

Ein Stern, welcher mehr als vier Sonnenmassen hat, wird an dieser Stelle nicht zu einem Weißen Zwerg. Wenn das Heliumbrennen abgeschlossen ist, kollabiert der Stern bis der Druck und die Temperatur im Inneren so hoch sind, dass die nächste Fusionsstufe einsetzen kann, das Kohlenstoffbrennen. Jetzt wird Kohlenstoff zu Neon, Natrium, Sauerstoff und Magnesium fusioniert. Die äußere Hülle des Sterns bläht sich auf und der Stern verliert viel Masse durch Sternwinde, es bildet sich eine Hülle, die wir als Planetarischen Nebel bezeichnen. Wenn ein Stern allerdings weniger als acht Sonnenmassen hat, verglüht auch er langsam als Weißer Zwerg am Ende seines Lebens. Bei Sternen mit mehr als acht Sonnenmassen, ist nach dem Kohlenstoffbrennen noch so viel Masse übrig, dass weitere Fusionsstufen erreicht werden. Jede weitere Stufe nimmt nun immer weniger Zeit in Anspruch. Jetzt setzt bei dem Stern das Neon- und Sauerstoffbrennen ein und es entstehen Magnesium, Silizium, Phosphor und Schwefel. Der letzte Fusionsprozess ist das Siliziumbrennen. Dort entsteht bei über drei Milliarden Grad Eisen. Der mittlerweile sehr instabile Stern hat im Laufe seines Lebens einen Großteil seiner Masse durch Sonnenwinde verloren. Die Fusionsprozesse laufen mit fortschreitender Zeit immer schneller ab. Der erste Prozess ist das Wasserstoffbrennen, dieses dauert bei einem Stern der Größe unserer Sonne etwa 10

[7] https://physik.wissenstexte.de/sterne.htm#:~:text=Entstehung%20und%20Lebensweg%20von%20Sternen%201%20Entstehung%20und,...%205%20Weitere%20Fusionsstufen%20%E2%80%93%20massereiche%20Sterne.%20

Milliarden Jahre, das Heliumbrennen hingegen ist nach etwa einer Milliarde Jahren abgeschlossen. So laufen alle späteren Prozesse deutlich schneller ab, bis die letzte Stufe, bei der Eisen entsteht, nur noch wenige Stunden oder Tage dauert. Im inneren eines Sterns kann nichts schwereres als Eisen entstehen, weshalb es jetzt zwei Möglichkeiten gibt, wie das Leben des Sterns endet. Der Stern kann als Neutronenstern enden, oder er explodiert in einer gewaltigen Supernova *(Abb. 3).* [8]

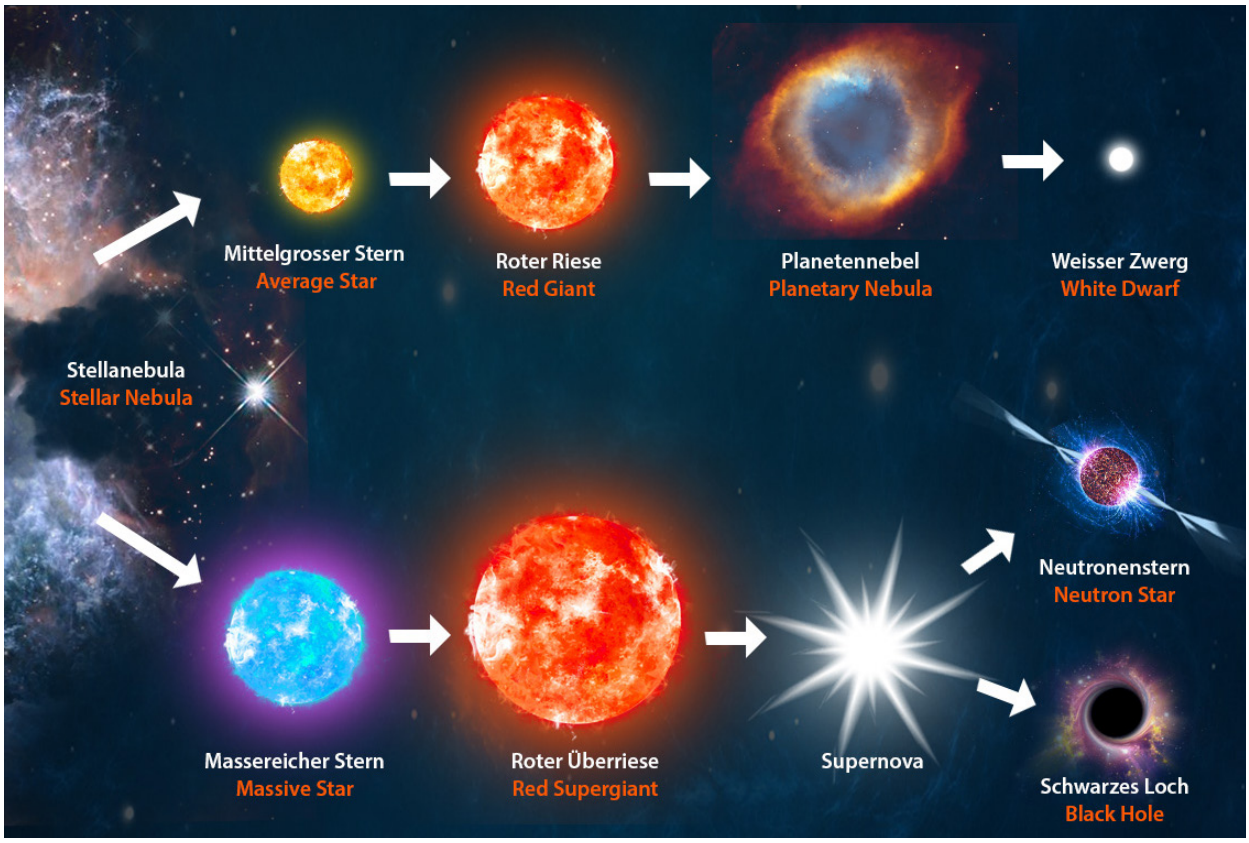


Abb. 3: Lebenszyklus eines Sterns
http://marsatschool.ethz.ch/mission/1/img/star-cycle-de.jpg

[8] https://physik.wissenstexte.de/sterne.htm#:~:text=Entstehung%20und%20Lebensweg%20von%20Sternen%201%20Entstehung%20und,...%205%20Weitere%20Fusionsstufen%20%E2%80%93%20massereiche%20Sterne.%20

3 Supernova

3.1 Die Entstehung des Begriffs

Der Name Supernova ist paradox, denn der Begriff heißt so viel wie neuer Stern (Latein: Stella nova = neuer Stern).

Bei einer Supernova handelt es sich allerdings um einen Stern, der am Ende seines Lebens explodiert. Das wussten die Menschen früher aber noch nicht. Sie gingen davon aus, dass bei einer Supernova das genaue Gegenteil passiert, sie dachten ein neuer Stern würde dort geboren werden. Daher ist der Name zu erklären, welcher sich bis heute gehalten hat. [9]

3.2 Supernova allgemein

Eine Supernova *(Abb. 4)* ist die Explosion eines Sterns am Ende seines Lebens. Dabei nimmt die Helligkeit des sterbenden Sterns millionen- oder sogar milliardenfach zu, somit leuchtet der Stern kurzzeitig so hell wie eine ganze Galaxie. Die enorme Energie, die bei einer Supernova innerhalb von Sekunden freigesetzt wird, übertrifft die Energie, welche unsere Sonne seit ihrer Existenz freigesetzt hat. Supernovae werden allerdings noch unterteilt in Typ 1 und Typ 2 Supernovae. Der Unterschied zwischen den zwei Typen ist der, dass im Frühstadium einer Typ 1 Supernova keine Spektrallinien des Wasserstoffs in deren Licht sichtbar sind, während eine Typ 2 Supernova diese Spektrallinien des Wasserstoffs aufweist. Neben dieser Unterscheidung der Supernovae gibt es eine weitere Möglichkeit, Supernovae zu unterscheiden. Zum einen gibt es sehr massereiche Sterne mit mindestens acht Sonnenmassen, dessen Kern nach dem Verbrauch des nuklearen Brennstoffs kollabiert. Aus einem solchen Stern wird dann ein sehr kompaktes Objekt, entweder ein Pulsar oder ein schwarzes Loch. Dieser Vorgang wird als hydrodynamische Supernova bezeichnet. Die andere Möglichkeit betrifft Sterne, die weniger als die achtfache Masse der Sonne haben, denn auch sie können theoretisch in einer Supernova enden. Wenn ein Stern

Abb. 4: Supernova 1994D
https://www.eso.org/public/germany/images/ann11014a/?lang

[9] https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova

Masse von einem anderen Objekt akkretiert, kann der Stern durch seine eigene Gravitation kollabieren. Die Akkretion (lat. Accretio = Zunahme) ist ein Vorgang, bei dem ein kosmisches Objekt Masse aufgrund der eigenen Gravitation aufnimmt. Eine solche Supernova wird als Supernova vom Typ Ia oder als thermonukleare Supernova bezeichnet. [10, 11]

3.3 Thermonukleare Supernova vom Typ Ia

Nach heutigem Wissen kann eine solche Supernova nur in einem Doppelsternsystem vorkommen. Ein Doppelsternsystem ist ein Sternsystem mit zwei Sternen, die sich auf einer engen Umlaufbahn umkreisen. Die Konstellation für eine Typ Ia Supernova *(Abb. 5)* ist immer gleich, es gibt einen Stern, welcher sich schon in seinem vorläufigen Endstadium als Weißer Zwerg befindet und einen Roten Riesen. Der Rote Riese breitet sich nun so weit aus, dass Materie, überwiegend Wasserstoff, vom Roten Riesen auf den Weißen Zwerg übergehen kann. Die neu gewonnene Materie des Weißen Zwergs wird auf der Oberfläche erhitzt und die Kernfusion findet plötzlich wieder statt. Der Wasserstoff fusioniert zu Helium und das Helium dann zu Kohlenstoff. Durch die Rückstände der Fusionsprozesse, vor allem Kohlenstoff, gewinnt der Stern langsam an Masse. Wenn der Stern nun die sogenannte Chandrasekhar-Massegrenze erreicht, die bei etwa 1,44 Sonnenmassen liegt, kann der Stern nicht mehr stabil bleiben und kollabiert. Hierbei gibt es einen interessanten Unterschied zu einer hydrodynamischen Supernova, denn bei dieser Supernova besteht der Kern überwiegend aus Eisen, welches nicht mehr fusionsfähig ist. Der Weiße Zwerg hingegen hat bei seinem Kollaps noch eine Menge an fusionsfähigem Material. Durch den Kollaps des Sterns und die damit verbundenen extrem hohen Temperaturen setzt schlagartig die Fusion von Kohlenstoff im Inneren des Weißen Zwergs ein. Durch diesen Vorgang kommt es zu einer gewaltigen Explosion, also der Supernova. Dabei wird der Weiße Zwerg komplett zerstört und dessen vorherige Masse im Kosmos verteilt. Durch die gewaltige Explosion und

Abb. 5: Supernova vom Typ Ia
https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova_vom_Typ_Ia

[10] https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova
[11] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Supernova

den nicht mehr vorhandenen Masseschwerpunkt wird der Rote Riese ins All geschleudert. Nach der Explosion bleibt nur noch ein sich ausbreitender Explosionsnebel. [12, 13]

3.4 Hydrodynamische Supernova

Die hydrodynamische oder auch Kernkollaps-Supernova kann nur dann vorkommen, wenn es sich um einen sehr massereichen Stern mit einer Masse von mindestens acht bis zehn Sonnenmassen handelt. Der Stern wird sich verändern, sobald das Wasserstoffbrennen abgeschlossen ist. Das bedeutet, dass der Stern fast den gesamten Wasserstoff im Inneren des Kerns in Helium umgewandelt hat. Wenn das so geschehen ist, lässt der Gasdruck, welcher nach außen wirkt, nach und der Stern fällt unter dem Einfluss seiner eigenen Gravitation zusammen. Die Temperatur und der Druck im Inneren des Kerns steigt stark an, und wenn im Kern eine Temperatur von etwa 100 Millionen Grad Celsius erreicht wird, kommt es zur nächsten Fusionsstufe, bei der das Helium in Kohlenstoff umgewandelt wird. Dadurch dass nun extrem viel Energie frei wird, nimmt der Druck nach außen wieder zu und der Kollaps wird somit erst mal gestoppt. Zur selben Zeit dehnt sich der Stern beziehungsweise seine äußeren Schichten nach außen aus und er wird zu einem Roten Riesen *(Abb. 6).* Im äußeren Bereich des Kerns wird aufgrund der hohen Temperaturen der noch vorhandene Wasserstoff in Helium umgewandelt. Nach einiger Zeit wird nun aber auch das Helium knapp und der Stern durchläuft denselben Vorgang erneut. Die Fusion von Helium zu Kohlenstoff kommt aufgrund des Mangels an Helium langsam zum Erliegen, weshalb der Druck nach außen wieder nachlässt und die eigene Schwerkraft so stark wird, dass der Kern erneut in sich zusammenfällt. Durch das erneute zusammenschrumpfen des Sterns werden der Druck und die Temperatur wieder so stark erhöht, dass nun die nächste Fusionsstufe einsetzen kann. Dieser Vorgang wird nun mit den weiteren Fusionsstufen Neon, Sauerstoff und Silizium wiederholt und dabei bilden sich im Inneren des Sterns dann sogenannte Schalen. Ganz außen befindet sich die Wasserstoffschale, danach kom-

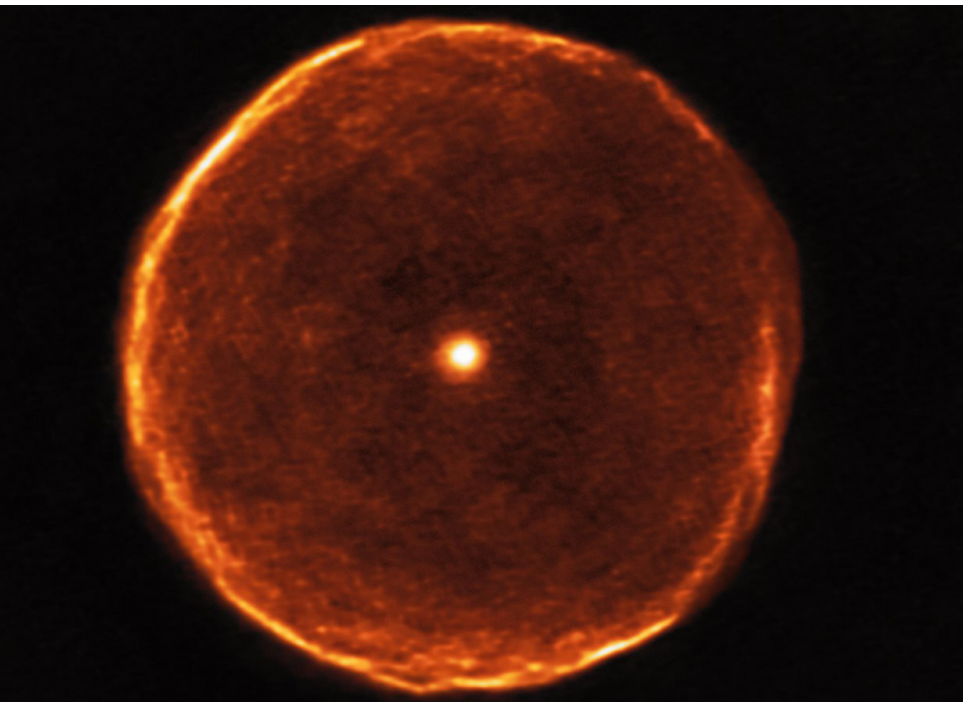


Abb. 6: roten Stern U Antliae
https://www.eso.org/public/germany/images/eso1730a/

[12] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Supernova
[13] http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_supernova.htm#:~:text=Thermonukleare%20Supernova.%20Eine%20Supernova%20vom%20Typ%20Ia%20entsteht,Riese%20und%20der%20Partnerstern%20ein%20Wei%C3%9Fer%20Zwerg%20ist.

men die Heliumschale, Kohlenstoffschale, Neonschale, Sauerstoffschale und zu guter Letzt der Kern, in dem sich Silizium befindet. Bei diesem Phänomen spricht man von dem sogenannten Schalenbrennen *(Abb. 7)*. Auffällig bei diesen Schalen ist, dass die Elemente, welche sich näher am Kern befinden im Vergleich schwerer sind als die Elemente in den äußeren Schalen. Je weiter der Stern in der Fusionskette ist, desto kürzer dauern auch die einzelnen Fusionsprozesse. Das bedeutet, dass die Fusion von Wasserstoff zu Helium deutlich länger dauert als die Fusion von Helium zu Kohlenstoff, meistens dauert der nachfolgende Fusionsprozess etwa nur 10% so lange wie der vorherige. Wenn also nun die ganze Fusionskette bis zum Silizium gekommen ist, kommt es zum letzten Fusionsprozess, dabei wird dann Silizium zu Eisen fusioniert. Es kann keinen weiteren Fusionsprozess mehr geben, da beim Fusionieren von Eisen keine Energie mehr freigesetzt, sondern nur noch welche verbraucht wird. Es bildet sich also ein Eisenkern, der durch die Fusion immer massiver wird. Wenn der Eisenkern die Chandrasekhar-Massegrenze von etwa 1,44 Sonnenmassen überschreitet, ist er nicht mehr stabil und kann jede Sekunde kollabieren. Der Kern des Sterns kollabiert zu einem Neutronenstern. Bei diesem Kollaps, welcher nur wenige Millisekunden dauert, werden extreme Mengen an Energie frei und die äußeren Schalen stürzen aufgrund der Schwerkraft in Richtung des Kerns. Der Kollaps wird allerdings abrupt durch die Neutronen in den Atomkernen gestoppt, weshalb die gesamte nach innen stürzende Masse vom Kern abprallt und mit einer unvorstellbaren Explosion zurück ins All geschleudert wird. Der Stern ist nun in einer sogenannten Kernkollaps-Supernova explodiert. [14]

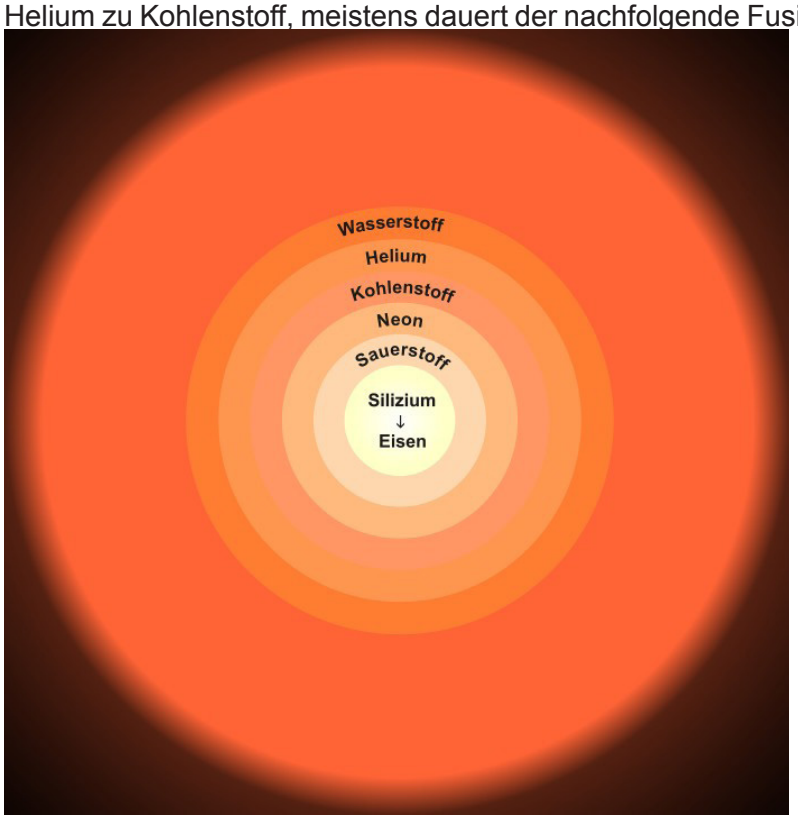


Abb. 7: Schalenbrennen
http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_supernova.htm#kernkollapslaps

[14] http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_supernova.htm#:~:text=Thermonukleare%20Supernova.%20Eine%20Supernova%20vom%20Typ%20Ia%20entsteht,Riese%20und%20der%20Partnerstern%20ein%20Wei%C3%9Fer%20Zwerg%20ist.

3.5 Neutronensterne

Die Fusionskette, bei der immer schwerere Elemente hergestellt wurden, ist nun endgültig abgeschlossen, weil ein Stern keine schwereren Elemente als Eisen bilden kann. Der Prozess ist also abgeschlossen. Die Photonen im Inneren des Eisenkerns sind aufgrund der extremen Temperatur in der Lage, die Atomkerne in Protonen und Neutronen zu zertrümmern. Durch den Zerfall der Atomkerne wird der Stern instabil und kollabiert wieder in sich. Aufgrund der extremen Schwerkraft und Dichte im Inneren des Sterns werden die Protonen und Elektronen zu Neutronen. Im Inneren des Sterns existieren jetzt nur noch Neutronen, somit ist dieser Stern jetzt zu einem Neutronenstern geworden. Das Fehlen der Elektronen hat nun aber Auswirkungen auf den Stern, da jetzt ein großer Teil des Druckes fehlt. Der Stern kollabiert also erneut und dieses Mal wird dieser Kollaps erst dann gestoppt, wenn die Neutronen direkt aufeinandertreffen. Neutronensterne sind die dichtesten bekannten Objekte im Universum, die keinen Ereignishorizont aufweisen. Die Masse eines Neutronensterns liegt meistens zwischen einer, zwei und drei Sonnenmassen und das, obwohl sie nur etwa 10-13 Kilometer im Durchmesser haben *(Abb. 8)* .[15, 16 ,17, 18]

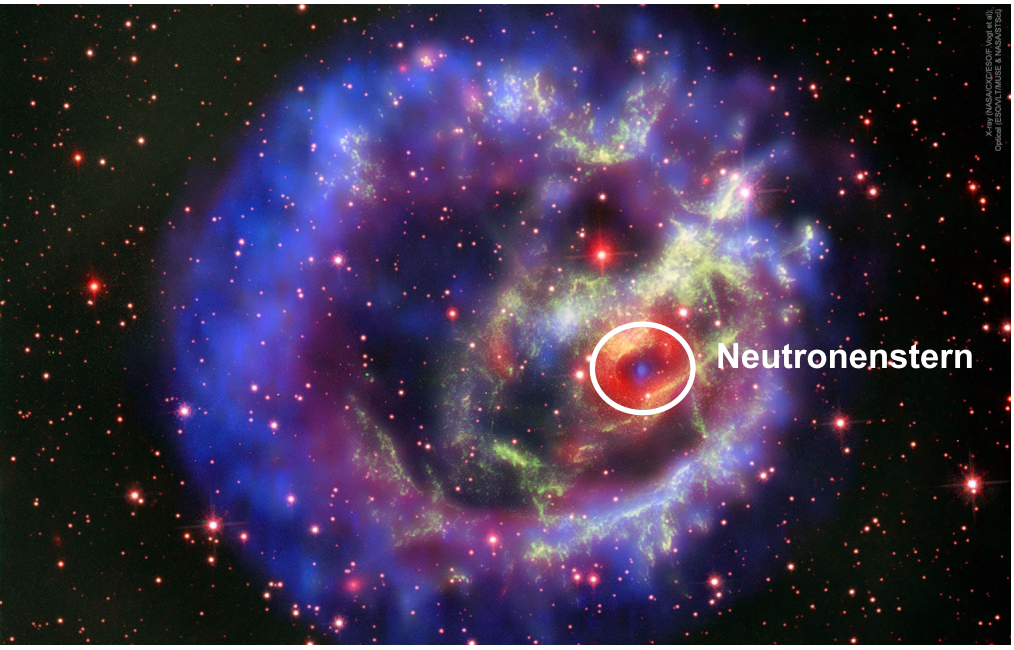


Abb. 8: Neutronenstern im Supernovaüberrest E0102-72.3
https://www.starobserver.org/ap180930/

Der Aufbau eines Neutronensterns kann in vier Abschnitte eingeteilt werden. Zunächst die äußere Kruste, welche ca. 0,3-0,5 km dick ist und aus Eisenatomkernen und Elektronen bestehen. Diese bilden ein sogenanntes Kristallgitter oder auch Eisengitter. In der inneren Kruste befinden sich sowohl kristalline Eisenatomkerne, als auch Elektronen und Neutronen. Je tiefer man in das Innere des Neutronensterns schaut, desto mehr nimmt der Eisenanteil ab und der Anteil der Neutronen zu. Dieser Abschnitt hat eine Dicke von ca. 1-2 km. Über den Kern ist bis heute recht wenig bekannt, jedoch kann man diesen in den äußeren- und den

[15] https://physik.wissenstexte.de/sterne.htm#:~:text=Entstehung%20und%20Lebensweg%20von%20Sternen%201%20Entstehung%20und,...%205%20Weitere%20Fusionsstufen%20%E2%80%93%20massereiche%20Sterne.%20
[16] https://www.youtube.com/watch?v=udFxKZRyQt4 [17] https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern
[18] https://quant.uni-graz.at/quant-module/neutronensterne-und-schwarze-loecher/25-artikel-2-pauli-prinzip-und-entartungsdruck

inneren Kern einteilen. Der äußere Kern, welcher bis zu 9 km dick sein kann, enthält viele Neutronen, unter anderem auch Neutron-Proton Fermi-Flüssigkeit. Diese zählt zu den Quantenflüssigkeiten, welche gewisse Eigenschaften haben, die nicht mit der klassischen statischen Mechanik in der Physik beschrieben werden können. Der innere Kern besteht vermutlich aus Quark-Gluon-Plasma. Quarks ist der Bestandteil, aus denen Neutronen und Protonen gebildet werden und Gluon sorgt dafür, dass diese durch eine starke Wechselwirkung zusammengehalten werden. Dieser Kern ist ca. 0-3 km dick *(Abb. 9)*.[19, 20]

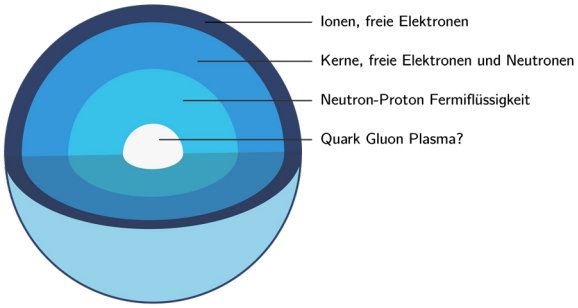


Abb. 9: Aufbau eines Neutronensterns
https://quant.uni-graz.at/quant-module/neutronensterne-und-schwarze-loecher/25-artikel-2-pauli-prinzip-und-entartungsdruck

3.6 Schwarzes Loch

Ein schwarzes Loch *(Abb. 10)* kann entstehen, wenn ein massereicher Stern in einer Supernova explodiert und dabei unter seiner eigenen Schwerkraft kollabiert oder auch, wenn zwei Sterne miteinander kollidieren. Bei einer solchen Kollision zweier Sterne vereinigen sich die Massen der Sterne, sodass die neue Masse einen kritischen Wert übertrifft und der Stern zu einem Schwarzen Loch kollabiert. Schwarze Löcher besitzen eine so starke Gravitationskraft, die auch Singularität genannt wird, dass nichts mehr aus dem Schwarzen Loch entkommen kann. Ein Schwarzes Loch ist umgeben von dem sogenannten Ereignishorizont, welche die Grenze des Schwarzen Lochs darstellt. Sobald irgendetwas diese Grenze überschritten hat, gibt es kein Entkommen mehr, egal ob es sich dabei um Materie oder auch um Licht handelt. Die Gravitationskraft ist von diesem Punkt an zu stark. Schwarze Löcher saugen also Materie aus ihrer Umgebung ein und werden auf diese Weise auch noch massereicher. Befindet sich ein Objekt jedoch außerhalb des Ereignishorizonts, verhält sich das Schwarze Loch genauso wie alle anderen Massekörper im Universum auch. Würde die Sonne jetzt durch ein Schwarzes Loch mit derselben Masse ersetzt werden, würde uns das Schwarze Loch nicht verschlingen, sondern wir könnten es genauso umrunden, wie wir vorher auch die Sonne umrundet haben. Das liegt daran, dass wir uns außerhalb des Ereignishorizonts befinden würden. Schwarze Löcher sind aufgrund ihrer Masse und der daraus resultierenden Gravitation in der Lage, den Raum um sich herum zu krümmen. Diese Krümmung hatte Albert Einstein mit seiner allgemeinen Relativitätstheorie auch bereits vorhergesagt, jedoch konnte die Existenz von Schwarzen Löchern erst 1972 zweifelsfrei bestätigt werden. [21, 22, 23]

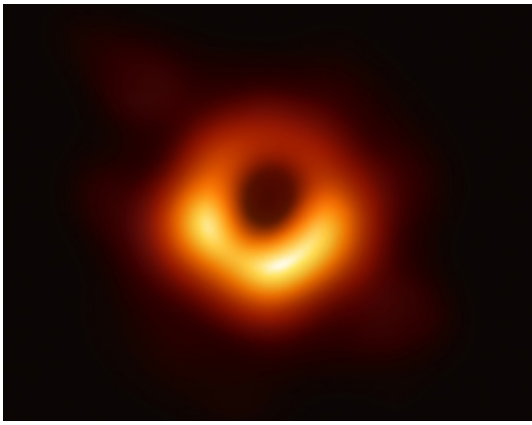


Abb. 10: Schwarze Loch der Galaxie M87
https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch#/media/Datei:Black_hole_-_Messier_87_crop_max_res.jpg

[19] https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenfl%C3%BCssigkeit [20] https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern
[21] https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/
[22] https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch
[23] https://astrokramkiste.de/schwarzes-loch

4 Planetarische Nebel

4.1 Die Entstehung des Begriffs

Wie auch schon bei dem Begriff der Supernova entstand auch der Begriff des Planetarischen Nebel aus der Unwissenheit der Menschen von früher. Der Name von Planetarischen Nebeln ist deshalb irreführend, weil ein Planetarischer Nebel nichts mit einem Planeten zu tun hat. Den Namen haben wir Wilhelm Herschel zu verdanken. Herschel entdeckte nämlich im Jahr 1781 den Uranus, und da der Nebel dem Planeten aufgrund der runden Form ähnelte, führte Herschel im Jahr 1785 zum ersten Mal die Bezeichnung des Planetarischen Nebel ein, welche bis heute noch seine Gültigkeit hat. Jedoch bedeutet das nicht, dass alle Planetarischen Nebel rund seien. [24, 25]

4.2 Planetarische Nebel allgemein

Ein Planetarischer Nebel ist ein Nebel, welcher hauptsächlich aus Gas und Plasma besteht. Das Gas und Plasma wurde von einem Stern am Ende seiner Entwicklung abgestoßen und wird nur noch von dem Kern des vorherigen Sterns angeleuchtet. D,as ist der Grund warum diese Nebel für uns durch Teleskope sichtbar sind. Den übrig gebliebenen Kern des Sterns, welcher den Nebel jetzt zum leuchten bringt, nennt man einen Weißen Zwerg. Die Sichtbarkeit eines solchen Planetarischen Nebels nimmt mit der Zeit ab. Das liegt daran, dass sich ein solcher Nebel mit einigen Kilometern in der Sekunde vom Weißen Zwerg weg ins All ausbreitet. Aus diesem Grund sinkt die Dichte und der Planetarische Nebel verblasst irgendwann. Allgemein sind Planetarische Nebel meist ein paar zehntausend Jahre lang zu sehen. Vergleicht man das aber beispielsweise mit unserer Sonne, die schon seit mehreren Milliarden Jahren leuchtet, merkt man, was für eine kleine Zeitspanne das eigentlich ist. Planetarische Nebel können bis zu einem oder zwei Lichtjahre groß werden. [24, 25]

Sterne sind Selbstleuchter und senden (Emission) kontinuierliches Licht im sichtbaren Spektralbereich aus. (Weißes Licht aller Wellenlängen zwischen etwa 400 und 700 Nanometern). Da Planetarische Nebel ihr Licht selber erzeugen nennt man sie auch Emissionsnebel aber sie senden nur Licht ganz bestimmeter Wellenlängen (Emissionslinien) aus. Jedes chemische Element hat eigene, typische Wellenlängen *(Abb. 11)*. Die Farbe von Planetarischen Nebeln wird dadurch bestimmt, welche Linien emittiert werden und wie stark diese sind. Da Wasserstoff das häufigste Element im Weltall ist, senden Planetarische Nebel überwiegend diese Emissionslinie aus. [26, 27]

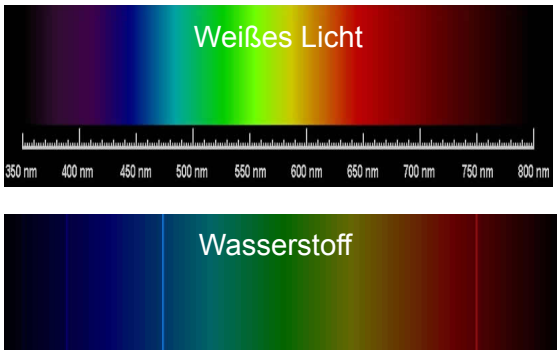


Abb. 11: Spektralfarben
https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/versuche/linienspektren-von-gas-entladungsroehren

[24] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel [25] https://www.youtube.com/watch?v=0RRU0sdgoQI&t=164s
[26] http://www.farbenundleben.de/titel/weltraum.htm [27] http://spektroskopie.vdsastro.de

4.3 Die Entdeckung der Planetarischen Nebel

Planetarische Nebel werden nur von einem kleinen Weißen Zwerg zum Leuchten angeregt, deshalb ist es nicht möglich diese schönen Objekte im Nachthimmel mit bloßen Augen zu beobachten. Des weiteren ist die Zeit, in der ein solcher Nebel beobachtet werden kann, aufgrund seine Ausdehnung begrenzt. Der erste Planetarische Nebel, der im Jahr 1764 von Charles Messier entdeckt wurde, war der Hantelnebel M57. In unserer Galaxie, der Milchstraße, wurden bisher etwa 1500 Planetarische Nebel entdeckt. [28]

4.4 Die Entstehung Planetarischer Nebel

Planetarische Nebel *(Abb. 12)* sind das Endstadium eines sonnenähnlichen Sterns. Ein typischer Planetarischer Nebel hat nicht mehr als die doppelte Masse unserer Sonne. Durch die Kernfusion im Inneren des Sterns, bei der Wasserstoff zu Helium umgewandelt wird, entsteht ein sogenannter Strahlungsdruck. Dieser ist nach außen gerichtet und wirkt der Gravitationskraft des Sterns entgegen. Diesen Ausgleich der Kräfte nennt man das hydrodynamische Gleichgewicht. Der Strahlungsdruck sorgt mit dem nach außen gerichteten Druck dafür, dass der Stern nicht unter seiner eigenen Gravitation kollabiert. Über Millionen, oftmals sogar Milliarden Jahre bleibt der Stern aufgrund dieser beiden gegensätzlich wirkenden Kräfte stabil.

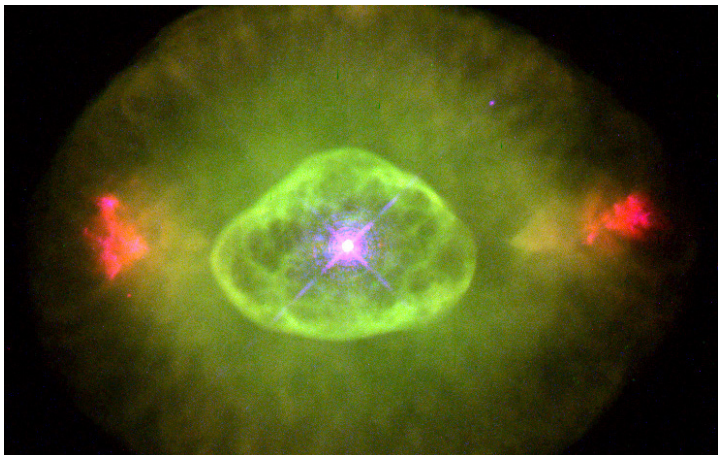


Abb. 12: NGC 6826
https://esahubble.org/images/opo9738d/

Wenn nun aber nach ein paar Milliarden Jahren der Vorrat an Wasserstoff knapp wird, überwiegen die Kräfte der Gravitation, da nicht mehr genug Strahlungsdruck durch die Fusion erzeugt wird. Aufgrund dessen wird der Kern komprimiert und heizt sich auf. Die Temperaturen im Inneren des Kerns steigen von 15 Millionen Kelvin auf bis zu 100 Millionen Kelvin an. Durch diesen extremen Temperaturanstieg kann nun das über Milliarden Jahre erzeugte Helium zu Kohlenstoff und Sauerstoff fusioniert werden. Der Stern hat nun also die zweite Stufe der Fusionskette erreicht. In den sogenannten Schalen, welche sich um den Kern herum befinden, wird jetzt noch vorhandener Wasserstoff zu Helium fusioniert. Es kommt periodenartig zu Helium-Blitzen (Englisch: Helium flash). Diese Druckwellen sorgen dafür, dass sich der Stern immer weiter aufbläht und zum sogenannten Roten Riesen wird. Der Stern ist nun auch instabil, das liegt vor allem an der extremen Temperaturempfindlichkeit der Heliumfusion. Schon eine Erhöhung der Temperatur um 2,3% würde dafür sorgen, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeiten im Inneren des Sterns verdoppeln. Die äußeren Regionen des Sterns verlieren durch starke Sternenwinde an Masse. Dadurch, dass die äußeren Hüllen abgestoßen wurden, haben sie an Temperatur verloren und der Stern

[28] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel

zieht sich wieder zusammen. Der Stern pulsiert nun und wirft langsam seine Hüllen ab, wodurch sich der Kern immer mehr und mehr vom Rest des Sterns löst. Während dieses Prozesses wird der Stern immer kleiner und wenn auch der letzte Kohlenstoff fusioniert ist, zieht sich der Stern zusammen und wird zu einem Weißen Zwerg. Der Ursprungsstern hatte zwar noch etwa den hundertfachen Durchmesser, jedoch hat der Weiße Zwerg aufgrund seiner extremen Dichte noch etwa die Hälfte der Masse des Ursprungssterns. Aufgrund der extremen Hitze des Weißen Zwerges wird die Energie des Sonnenwindes verstärkt. Dieser sorgt dafür, dass das umliegende Gas ionisiert, und damit sichtbar gemacht wird. Somit ist ein neuer Planetarischer Nebel geboren, welcher nun für ein paar zehntausend Jahre sichtbar sein wird. [28]

4.5 Der Weiße Zwerg

Bei einem Weißen Zwerg *(Abb. 13)* handelt es sich um ein Relikt beziehungsweise den Kern eines vorherigen, größeren Sterns. Im Laufe seiner Entwicklung hat der Stern seine äußeren Hüllen abgestoßen, sodass nur noch der Kern übriggeblieben ist. Ein Weißer Zwerg beschreibt also das Endstadium der Entwicklung eines Sterns, bei dem keine Fusionsprozesse mehr stattfinden. Die meisten Weißen Zwerge sind etwa so groß wie die Erde, haben jedoch noch etwa die Hälfte der Masse des Vorläufersterns, somit gehören die Weißen Zwerge auch zu den dichtesten Objekten im Universum. Auch wenn Weiße Zwerge nicht mehr in der Lage sind zu fusionieren, weisen sie dennoch eine sehr hohe Temperatur auf, die Leuchtkraft ist im Gegensatz dazu allerdings eher gering. Aus diesem Grund befinden sie sich im Hertzsprung-Russell-Diagramm auch links unterhalb der Hauptreihe. Die Bedingung für einen Weißen Zwerg ist, dass die übriggebliebene Restmasse des Sterns die sogenannte Chandrasekhar-Grenze von etwa 1,44 Sonnenmassen nicht übertrifft. [29, 30]

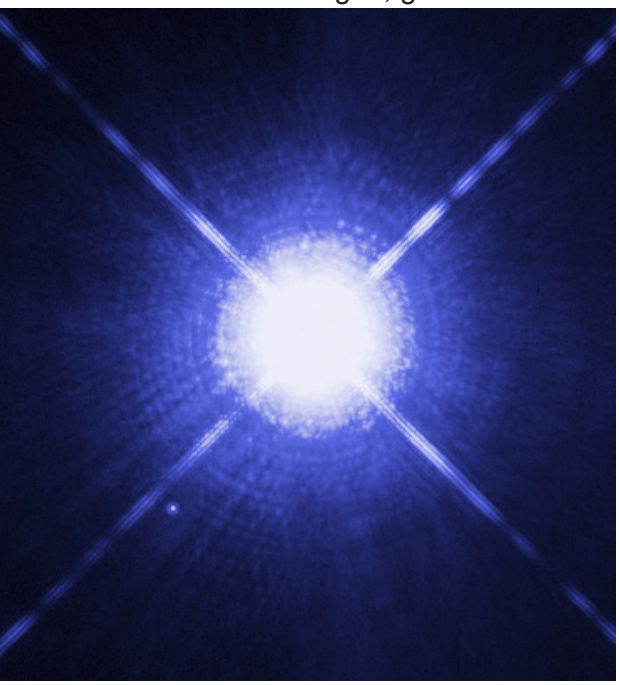
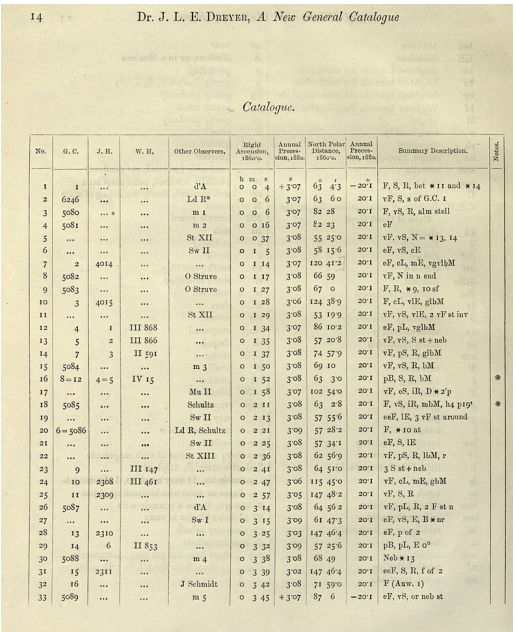


Abb. 13: Sirius A
https://cdn.spacetelescope.org/archives/images/large/heic0516a.jpg

[28] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel
[29] https://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/deepsky/typen-extreme-zwerge-weisse.html
[30] https://de.m.wikipedia.org/wiki/Wei%C3%9Fer_Zwerg

4.6 New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars (NGC)

Dieser Katalog von galaktischen Nebeln, Sternhaufen und Galaxien ist Ende des 19. Jahrhunderts entstanden. Er wurde 1888 von Johann Ludwig Emil Dreyer veröffentlicht und ist heute noch für die Astronomie von großer Bedeutung. Entstanden ist er auf Grundlage der Beobachtungen des Astronomen Wilhelm Herschel. Er enthält rund 7840 Objekte des Nord- und Südhimmels *(Abb. 14).* [31]



14 Dr. J. L. E. Dreyer, *A New General Catalogue*

Catalogue.

No.	G.C.	J. H.	W. H.	Other Observers.	Right Ascension, 1860·0.	Annual Precession, 1880.	North Polar Distance, 1860·0.	Annual Precession, 1880.	Summary Description.	Notes.
					h m s	s	° ′	″		
1	1	...	...	d'A	0 0 4	+3·07	63 4·3	−20·1	F, S, R, bet * 11 and * 14	
2	6246	...	...	Ld R*	0 0 6	3·07	63 6·0	20·1	vF, S, s of G.C. 1	
3	5080	... *	...	m 1	0 0 6	3·07	82 2·8	20·1	F, vS, R, alm stell	
4	5081	...	...	m 2	0 0 16	3·07	82 2·3	20·1	eF	
5	...	...	...	St XII	0 0 37	3·08	55 25·0	20·1	vF, vS, N = * 13, 14	
6	...	...	...	Sw II	0 1 5	3·08	58 15·6	20·1	eF, vS, eE	
7	2	4014	...	...	0 1 14	3·07	120 41·2	20·1	eF, eL, mE, vgrlbM	
8	5082	...	...	O Struve	0 1 17	3·08	66 5·9	20·1	vF, N in n end	
9	5083	...	...	O Struve	0 1 27	3·08	67 0	20·1	F, R, * 9, 10 sf	
10	3	4015	...	...	0 1 28	3·06	124 38·9	20·1	F, eL, vlE, glbM	
11	...	...	...	St XII	0 1 29	3·08	53 19·9	20·1	vF, vS, vlE, 2 vF st inv	
12	4	1	III 868	...	0 1 34	3·07	86 10·2	20·1	eF, pL, vglbM	
13	5	2	III 866	...	0 1 35	3·08	57 20·8	20·1	vF, vS, S st + neb	
14	7	3	II 591	...	0 1 37	3·08	74 57·9	20·1	vF, pS, R, glbM	
15	5084	...	...	m 3	0 1 50	3·08	69 1·0	20·1	vF, vS, R, bM	
16	8 = 12	4 = 5	IV 15	...	0 1 52	3·08	63 3·0	20·1	pB, S, R, bM	*
17	...	...	...	Ma II	0 1 58	3·07	102 54·9	20·1	vF, eS, lB, D * 2′ p	
18	5085	...	...	Schultz	0 2 11	3·08	63 2·8	20·1	F, vS, lR, mbM, h4 p19′	*
19	...	...	...	Sw II	0 2 13	3·08	57 55·6	20·1	eeF, lE, 3 vF st around	
20	6 = 5086	...	...	Ld R, Schultz	0 2 21	3·09	57 28·2	20·1	F, * 10 st	
21	...	...	...	Sw II	0 2 25	3·08	57 34·1	20·1	eF, S, lE	
22	...	...	...	St XIII	0 2 36	3·08	62 56·9	20·1	vF, pS, R, lbM, r	
23	9	...	III 147	...	0 2 41	3·08	64 51·0	20·1	3 S st + neb	
24	10	2308	III 461	...	0 2 47	3·06	115 45·0	20·1	vF, eL, mE, gbM	
25	11	2309	...	...	0 2 57	3·05	147 48·2	20·1	vF, S, R	
26	5087	...	...	d'A	0 3 14	3·08	64 56·2	20·1	vF, pL, R, 2 F st n	
27	...	...	...	Sw I	0 3 15	3·09	61 47·3	20·1	eF, vS, E, B * nr	
28	13	2310	...	...	0 3 25	3·03	147 46·4	20·1	eF, p of 2	
29	14	6	II 853	...	0 3 32	3·09	57 25·6	20·1	pB, pL, E 0°	
30	5088	...	...	m 4	0 3 38	3·08	68 4·9	20·1	Neb * 13	
31	15	2311	...	...	0 3 39	3·02	147 46·4	20·1	eeF, S, R, f of 2	
32	16	...	...	J Schmidt	0 3 42	3·08	71 59·0	20·1	F (Auw. 1)	
33	5089	...	...	m 5	0 3 45	+3·07	87 6	−20·1	eF, vS, or neb st	

Abb. 14: New General Catalogue
https://de.wikipedia.org/wiki/New_General_Catalogue

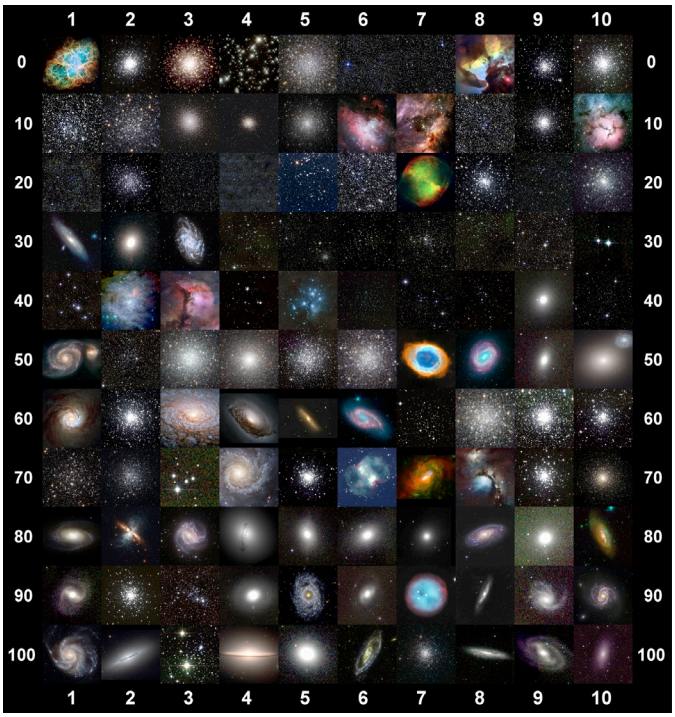


Abb. 15: New General Catalogue
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/4/45/Bildtafel_Messierobjekte.jpg

4.6.1 Messier-Katalog

Dieser Katalog ist einer der ersten seiner Art, dem später viele folgten. Er beinhaltet 110 astronomische Objekte, die ortsfest sind. Darunter 40 Galaxien, 28 offene Sternhaufen, 29 Kugelsternhaufen, vier Planetarische Nebel, sechs galaktische Nebel, eine Sternwolke und zwei Sternmuster. Veröffentlicht wurde der Katalog vom französischen Astronomen Charles Messier 1771 mit circa 45 Objekten. Laut dem Astronom Jérôme Lalande hat Messier mit dem französischen Astronomen Pierre Méchain zusammengearbeitet und den Katalog bis 1784 auf 103 Objekte erweitert. Bis heute ist der Katalog mit den von ihm vergebenen Nummern von hoher Bedeutung *(Abb. 15).* [32, 33]

[31] https://de.wikipedia.org/wiki/New_General_Catalogue [32] https://de.wikipedia.org/wiki/Messier-Katalog
[33] https://www.astro-manni.de/messier-katalog.html

5 Unsere fotografierten Objekte

Wir haben vier Objekte beobachtet und auch fotografiert. Drei der vier Objekte sind Planetarische Nebel und zwar der kleine Hantelnebel M76 (NGC650), der Blaue Schneeball (NGC7662) und der Kamelaugennebel (NGC1501). Das vierte Objekt ist der Überrest einer Supernova, der Krebsnebel M1 (NGC1952).

5.1 Kleiner Hantelnebel M76

Der kleine Hantelnebel M76 (Englisch: Little dumbbell nebula) *(Abb. 16, 17)* befindet sich im Sternbild Perseus am nördlichen Sternenhimmel. Entdeckt wurde er am 5. September 1780 von dem französischen Astronom Pierre Méchain. Der Planetarische Nebel bekam seinen Namen durch die Ähnlichkeit mit dem Hantelnebel M27. Um den Nebel herum befindet sich ein so genannter „Halo“ oder auch Lichthof genannt. Ein Halo ist ein kugelförmiger Bereich um eine Galaxie herum und ist somit größer als die Galaxie selbst. Durch die lichtschwächere Struktur hat er eine Form, welche einem Schmetterling ähnelt und wird daher auch Schmetterlingsnebel genannt. Er hat eine Helligkeit von circa 10,1 Magnituden mit einem helleren Kernbereich der auch als „Korken“ bezeichnet wird. Bis Ende des 19. Jahrhunderts dachte man, es sei ein doppelt angelegter Nebel und somit hatte er bis dahin zwei NGC Nummern. Jedoch stimmt es, dass die südliche Komponente etwa 20000 Lichtjahre hinter dem Nebel liegt. Die Zentralsterne, welche ein Doppelsternsystem bilden, haben eine Entfernung von 1,4 Bogensekunden (Winkel-Maßeinheit). Er hat eine Helligkeit von etwa 16,6 Magnituden und

Abb. 16: Kleiner Hantelnebel M76; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

Abb. 17: Messier 76 / Kleiner Hantelnebel
https://de.wikipedia.org/wiki/Kleiner_Hantelnebel#/media/Datei:M76s.jpg

[34] https://de.wikipedia.org/wiki/Kleiner_Hantelnebel
[35] http://www.sternwarte-eberfing.de/Aktuell/2015/November/November2015.html
[36] https://de.linkfang.org/wiki/Kleiner_Hantelnebel

eine Oberflächentemperatur von über 60000 Kelvin. Durch die Sternexplosion hat er heute eine absolute Ausdehnung von circa 21 Lichtjahre. Wenn man dies mit anderen Nebeln vergleicht, gehört der kleine Hantelnebel trotzdem zu den kleineren Planetarischen Nebeln am Himmel. Entfernt ist er von der Erde ungefähr 3400 Lichtjahre. [34, 35, 36]

Bildvergleich Hubble-Weltraumteleskop und Teleskop 50 cm Planewave CDK 20, CFG Wuppertal

Bei der Aufnahmen vom Hantelnebel sticht sofort die unterschiedliche Farbe heraus. Unsere Aufnahme sieht grünlich aus, während das Bild aus dem Internet bläulich erscheint. Außerdem ist die äußere lichtschwächere Struktur nicht so klar definiert. Jedoch ist die rote Farbe bei beiden gut erkennbar.

5.2 Blauer Schneeball

Der Blaue Schneeball NGC 7662 (Englisch: Blue snowball) *(Abb. 18, 19)* befindet sich im Sternbild Andromeda, welches ebenfalls am nördlichen Sternenhimmel erscheint. Er wurde von dem deutsch-britischen Astronom Wilhelm Herschel am 6. Oktober 1784 entdeckt. Seinen Spitznamen bekam er allerdings vom Amateurastronomen Leland S. Copeland. Entfernt von dem Sonnensystem ist er circa 5000-6000 Lichtjahre. Er hat eine Ausdehnung von ungefähr 50-60000 astronomischen Einheiten. Das ist etwa so viel wie das 50000-fache der mittleren Entfernung von Sonne zu Erde. Da er zum größten Teil aus Sauerstoff besteht, leuchtet er in einer blau-grünen Farbe. Mitten im Zentrum ist der Zentralstern (HD 220733) oder auch Weißer Zwerg genannt. Dieser hat eine Oberflächentemperatur von circa 75000 Kelvin und die scheinbare Helligkeit des Planetarischen Nebel beträgt circa 8,3 Magnituden. [37, 38]

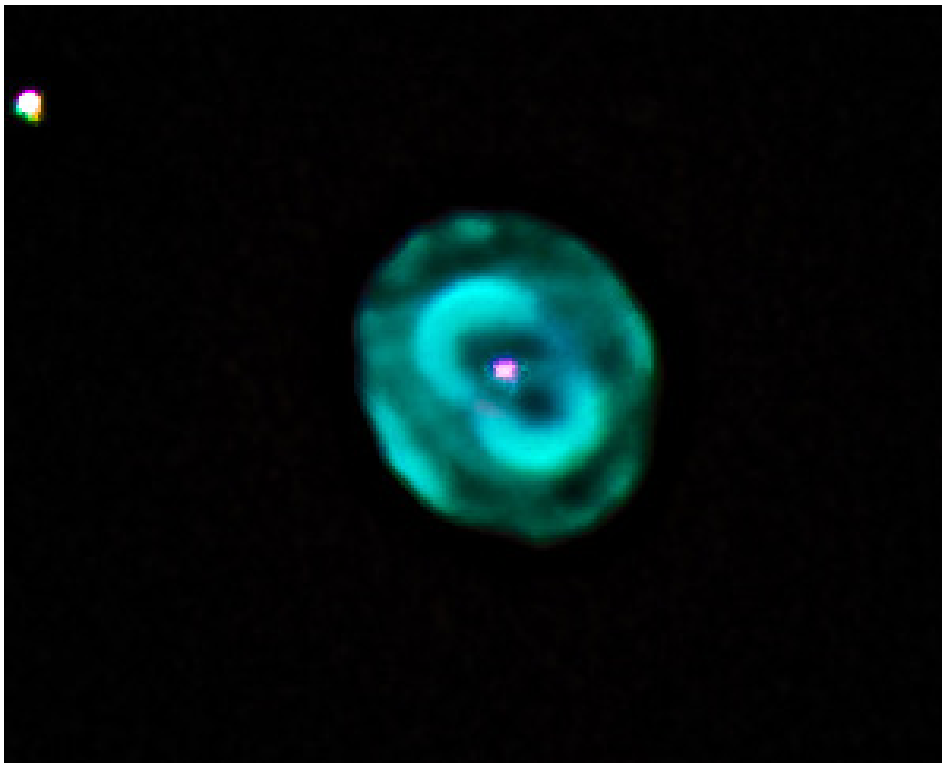


Abb. 18: Blaue Schneeball NGC 7662; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

Bildvergleich Hubble-Weltraumteleskop und Teleskop 50 cm Planewave CDK 20, CFG Wuppertal

Abb. 19: Blaue Schneeball NGC 7662
https://de.wikipedia.org/wiki/NGC_7662#/media/Datei:NGC_7662_%22Blue_Snowball%22.jpg

[37] https://de.wikipedia.org/wiki/NGC_7662
[38] https://astronomie-magdeburg.de/blauer-schneeball-ngc-7662.html

Es fällt auf, dass die Form des Nebels sowohl bei unserer Aufnahme, als auch bei dem Bild aus dem Internet sehr ähnlich ist. Außerdem kann man die unterschiedlichen Bereiche gut wahrnehmen. Was die Farbe angeht, zeigen die Nebel Unterschiedlichkeiten. Bei unserer Aufnahme kommt die Farbe rot nicht zum Vorschein

5.3 Kamelaugennebel

Der NGC 1501 (englisch: Camel's eye) *(Abb. 20, 21)* auch bekannt als Kamelaugennebel oder Austernebel, befindet sich im Sternbild Giraffe. Entdeckt wurde er am 3. November 1797, wiederum vom deutsch-britischen Astronom Wilhelm Herschel. Er ist circa 4200 Lichtjahre von unserer Erde entfernt und hat einen Durchmesser von circa einem Lichtjahr. Auch er hat einen Zentralstern, der mittig gelegen ist. Dieser ist ein kohlenstoffreicher Stern, der auch Wolf-Rayet-Stern genannt wird. Diese auch abgekürzt WR-Sterne sind freigelegte Kerne von früher existierenden massereichen Sternen mit der Eigenschaft, dass sie zum Teil wärmer sind als andere Sterne. Dies ist auch bei dem NGC 1501 zu beobachten, hier hat der Zentralstern eine Temperatur von circa 130000 Kelvin. Etwa 10 % der Zentralsterne von Planetarischen Nebeln werden aufgrund der morphologischen Ähnlichkeit des Spektrums als Wolf-Rayet-Sterne bezeichnet. [39, 40]

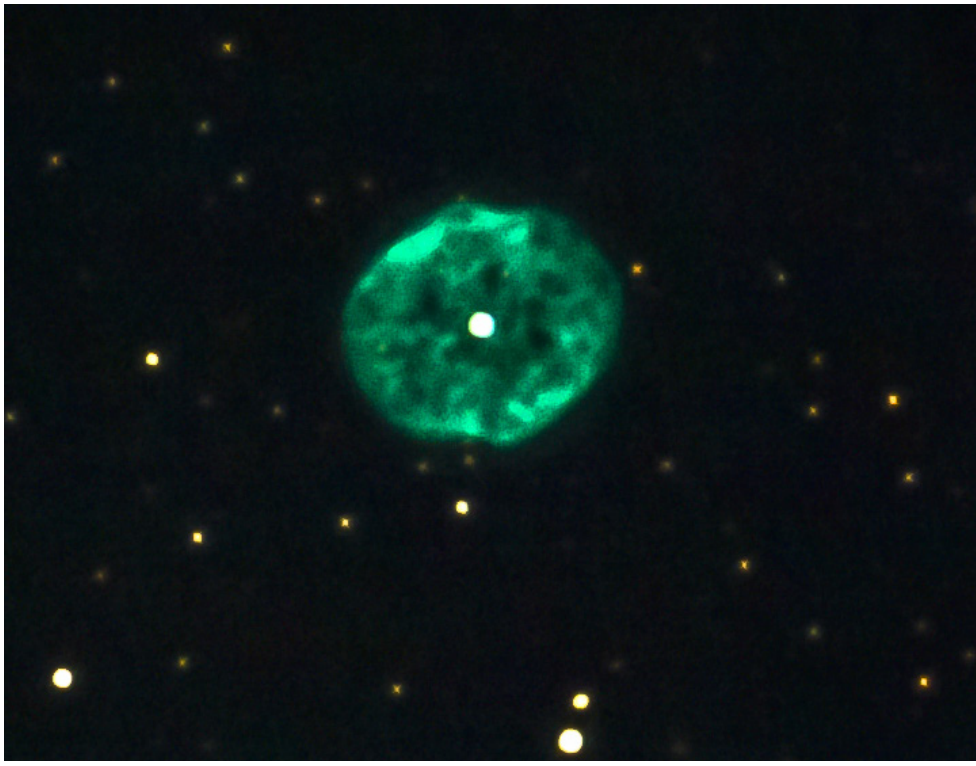


Abb. 20: Kamelaugennebell NGC 1501; Foto;

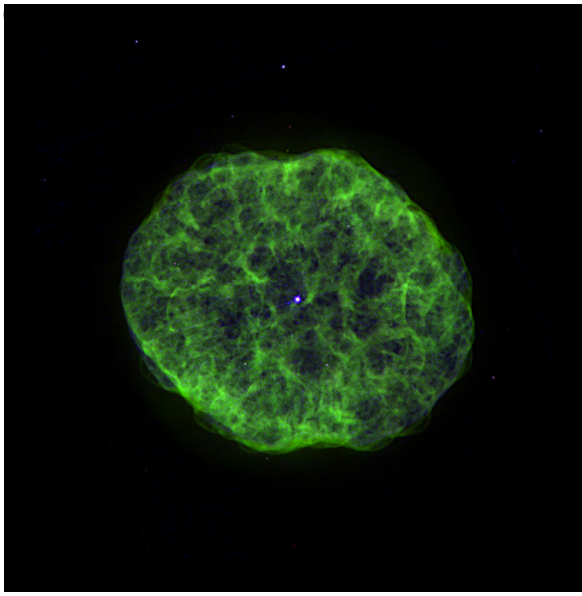


Abb. 21: Kamelaugennebell NGC 1501
https://esahubble.org/projects/fits_liberator/fitsimages/kyokugaisha1_ngc_1501/

Bildvergleich Hubble-Weltraumteleskop und Teleskop 50 cm Planewave CDK 20, CFG Wuppertal

Bei den Aufnahmen vom Kamelaugennebel sind deutliche Übereinstimmungen zu erkennen. Die Farbe ist auf beiden Abbildungen sehr ähnlich und der WR-Stern kommt stark zur Geltung. Außerdem kann man die Struktur sehr gut erkennen.

[39] https://de.wikipedia.org/wiki/NGC_1501
[40] https://astronomie-magdeburg.de/kamelaugennebel-ngc-1501.html

5.4 Krebsnebel M1

Der Krebsnebel M1 (englisch: crab nebula) *(Abb. 22, 23)* befindet sich im Sternbild Stier und ist im Perseus-Arm, etwa 2000 Parsec von uns entfernt in unserer Galaxie, der Milchstraße zu finden. Bei diesem Nebel handelt es sich um einen Supernovaüberrest, welcher von der Supernova stammt, die im Jahr 1054 gesichtet wurde. Der Nebel expandiert mit etwa 1500 Kilometern in der Sekunde in die Weiten des Weltalles und ist ungefähr 20 Lichtjahre groß. Im Zentrum des Nebels befindet sich ein sehr massereicher Neutronenstern, welcher sich etwa 30-mal pro Sekunde um seine eigene Achse dreht. Diese extreme Geschwindigkeit entspricht einer Periodenzeit einer Drehung von gerade einmal 0,033 Sekunden oder auch 33 Millisekunden. Der Nebel besteht hauptsächlich aus den äußeren Schalen des Ursprungsterns, somit sind die Hauptanteile ionisierter Wasserstoff und Helium. Dazu kommen aber auch noch kleine Anteile von Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Eisen und Neon, welche den Nebel komplettieren. Da dieser Nebel nicht sehr hell ist, kann man ihn nur durch ein Teleskop beobachten. [41, 42]

Abb. 22: Krebsnebel M1; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

Bildvergleich Hubble-Weltraumteleskop und Teleskop 50 cm Planewave CDK 20, CFG Wuppertal

Unsere Aufnahme vom Krebsnebel ist nicht so detailliert und scharf wie die Aufnahme vom Hubble Teleskop. Dadurch kommen die Überreste der Supernova optimal zur Geltung. Außerdem sticht die Farbe blau *(Abb. 23)* sehr deutlich heraus, was bei unserer Aufnahme nicht der Fall ist.

Abb. 23: Crab Nebula,
https://esahubble.org/images/heic0515a/

[41] https://www.starobserver.org/tag/krebsnebel/#:~:text=Der%20Krebsnebel%20ist%20etwa%2010%20Lichtjahre%20gro%C3%9F.%20Im,30%20Mal%20pro%20Sekunde%20um%20seine%20Achse.%2024.
[42] https://de.wikipedia.org/wiki/Krebsnebel

6 Equipment zur Fotografie der Objekte

6.1 Teleskop 50 cm Planewave CDK 20

Für alle Aufnahmen haben wir das 50cm-Teleskop Planewave CDK 20 *(Abb. 24)* benutzt. Das Großteleskop steht an Station 7 der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal und wurde 2016 von der Firma Baader Planetarium, Mammendorf geliefert. Befestigt ist es auf einer 10Micron GM4000HPS-Montierung, welches die Möglichkeit bietet, die Himmelsobjekte auf ein paar Bogensekunden genau anzusteuern. Der CDK 20 Astrograph, 20“ (500mm) hat eine Brennweite von 3454mm (f/6,8) und ein Bildfeld von 52mm. Außerdem hat er eine Quarzglas-Optik mit dem Standardspiegelmaterial Borosilikat. Modifiziert wurde es nach Dall-Kirkham mit einem auskorrigierten Bildfeld. [43, 44]

Abb. 24: Teleskop 50 cm Planewave CDK 20

Hinzu kommt der apochromatische TEC 160 FL Fluorit-Refraktor *(Abb. 25, 26)*, welcher für hervorragende Abbildungen und Farbkorrekturen sorgt. Er hat ein Öffnungsverhältnis von f/7, eine

Abb. 25: TEC 160 FL

Abb. 26: TEC 160 FL Objektiv

[43] https://www.schuelerlabor-astronomie.de/first-light-am-neuen-50cm-teleskop-planewave-cdk-20-des-cfg-wuppertal/
[44] https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik

Brennweite von 1120 mm und die freie Öffnung beträgt 160 mm (6.3“). Der FeatherTouch, welcher ein um 360° drehbarer Fokussierer ist, ermöglicht es sowohl normale als auch sehr feine Fokussierungen vorzunehmen. Dadurch, dass das Mittelelement des Apochromats aus echtem gezogenen Fluoritkristall besteht, werden deutlichere Aufnahmen erzielt. Das Glas bringt weitere Vorteile mit sich. Zum einen die weniger werdende Adsorption. Dies ist ein Prozess in der Physik, bei denen sich Stoffe an Oberflächen anderer Stoffe haften und diese anreichern. Zum anderen die größere Transmission, welches bedeutet, dass das Medium für mehr Wellen durchlässig ist. [45, 46 ,47]

6.1.1 Farb-CMOS-Kamera ZWO ASI 183 MC Pro

Für die fotografische Umsetzung haben wir die gekühlte Farb-CMOS-Kamera ZWO ASI 183 MC Pro *(Abb. 27, 28)* verwendet. Diese ist eine spezielle Kamera für astronomische Anwendungen wie zum Beispiel Aufnahmen von Deep-Sky-Objekten. Mit Rund 20 Millionen Pixeln (20,18 Megapixel) und einer Pixelgröße von 2,4 µm hat die Kamera eine hohe Auflösung (5496*3672) und eignet sich daher optimal für die Fotografie unserer Planetarischen Nebel. Hinzu kommt einer der lichtempfindlichsten CMOS-Sensoren von Sony (Exmor R BSI IMX183). Dieser hat eine Sensorgröße von 13,2x8,8 mm und eine Diagonale von 15,9 mm. Je größer ein Sensor ist, desto mehr Tiefenschärfe kann erzeugt werden und somit auch eine bessere Qualität der Aufnahmen. Da

Abb. 27: Farb-CMOS-Kamera ZWO ASI 183 MC Pro

Abb. 28: Farb-CMOS-Kamera ZWO ASI 183 MC Pro

[45] https://www.schuelerlabor-astronomie.de/first-light-am-neuen-50cm-teleskop-planewave-cdk-20-des-cfg-wuppertal/
[46] https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik
[47] https://www.baader-planetarium.com/de/teleskope/tec/tec-apo-160-fluorit-apochromat.html

auch die Kamera selbst sehr lichtempfindlich ist, hat sie eine Quanteneffizienz von 84 %, welches einen sehr hohen Wert darstellt und für gute Ergebnisse der fotografierten Objekte wie schwache Nebel oder Galaxien sorgt. Die Astrokamera wiegt 410 Gramm, hat eine Länge von 86 mm und einen Durchmesser von 78 mm. Des Weiteren muss man hier nicht mehr das L-RGB-Verfahren anwenden oder die Filter wechseln, um ein gelungenes Foto zu erzielen. Die Kamera kann bis zu 45°K unter die Umgebungstemperatur abgekühlt werden, was zu einer Reduzierung des Rauschens führt (Pixel weichen weniger in Helligkeit und Farbe ab). [48, 49, 50, 51]

Abb. 29

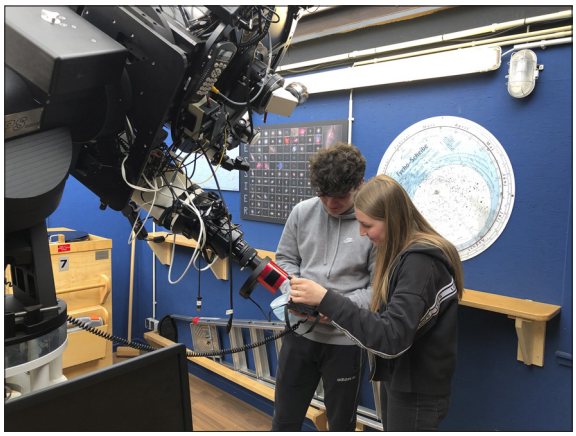


Abb. 28

Abb. 30

[48] https://de.wikipedia.org/wiki/Transmission_(Physik) [49] https://de.wikipedia.org/wiki/Adsorption
[50] https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p10231_ZWO-Color-gekuehlte-Astro-Kamera-ASI-183MC-Pro-Sensor-D-15-9-mm.html [51] https://de.wikipedia.org/wiki/Bildrauschen

6.2 Beobachtungsabend

Unsere Aufnahmen der drei Planetarischen Nebel und dem Supernova-Überrest sind am Mittwoch, den 09.12.2020 an der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums entstanden.

An diesem Abend war der Himmel klar, sodass wir die Aufnahmen erfolgreich durchführen konnten. Die Temperatur betrug ungefähr 2°C.

Wir hatten den Vorteil, dass wir die Aufzeichnungen an der Station 7 gemacht haben, welche man über die Computer des Nebenraums bedienen konnte *(Abb. 31)*.

Abb. 31

Abb. 34

Abb. 32

Abb. 33

Da das Teleskop Planewave CDK 20 nicht aufgebaut werden musste, haben wir am Anfang die Kamera ASI 183 MC pro am TEC 160 FL Fluorit-Refraktor des Teleskops angebracht. Nun hatten wir zwei Möglichkeiten, das Teleskop zu steuern. Entweder mit dem 10 Micron Keypad *(Abb. 32)*, welches an der 10 Micron GM4000 HSP-Montierung angeschlossen ist *(Abb. 33)*, oder digital per Computer *(Abb. 34)*.

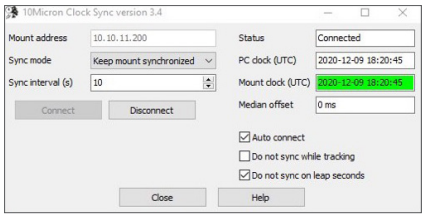


Abb. 35

Danach haben wir sowohl den Computer als auch das Teleskop auf die Weltzeit UTC (Coordinated Universal Time) synchronisiert um eine optimale Übereinstimmung der Geräte zu erzielen *(Abb. 35)*.

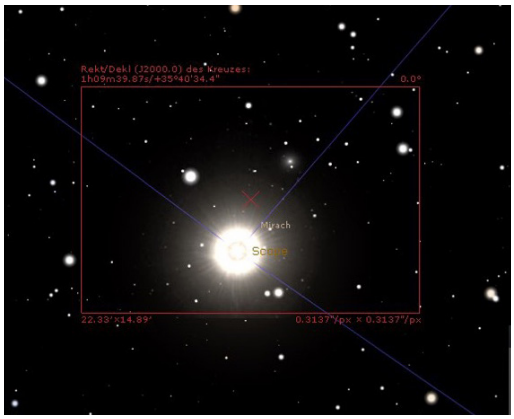


Abb. 36

Das Programm Stellarium zeigt ein virtuelles Planetarium auf dem Computer. Wir haben dieses Programm mit dem Teleskop verbunden, damit wir das Teleskop auf im Programm vorgewählte Objekte ausrichten konnten *(Abb. 36)*.

So kann man beispielsweise mit der Funktion „Bewege Teleskop zu“ das Teleskop automatisch auf ein gewünschtes Objekt schwenken lassen *(Abb. 37)*.

Abb. 37

Fotos Abb. 24 bis 33: CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner
Abb. 34 bis 57: screenshot

Abb. 38

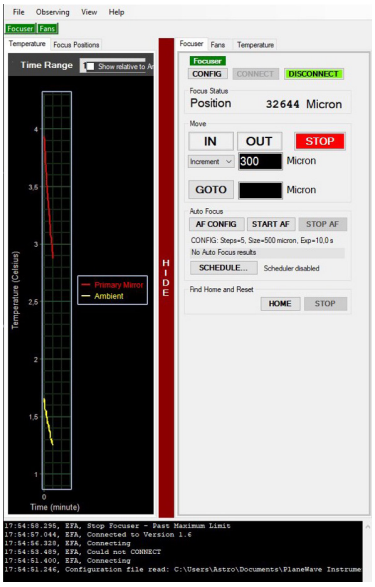


Abb. 39

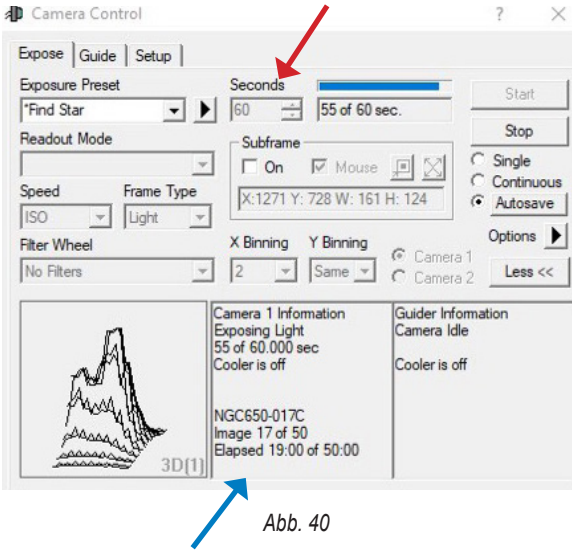


Abb. 40

Mit dem Scope sieht man, welches Objekt fokussiert wurde beziehungsweise auf welche Stelle das Teleskop genau gerichtet ist. Diesen kann man außerdem manuell justieren, um das Objekt mittig im gewünschten Bildausschnitt zu platzieren *(Abb. 38)*. Für eine genaue Fokussierung des Teleskops benutzten wir die Software PWI 3.4.0 von Planewave *(Abb. 39)*. Mit der Software Maxim DL Pro 5 konnten wir nun unsere Objekte des Nachthimmels aufnehmen. Im Fenster „Camera Control“ konnten wir unterschiedliche Belichtungszeiten für unsere Aufnahmen einstellen *(Abb. 40 roter Pfeil)*. Das ist wichtig, wenn Details mit signifikanten Helligkeitsunterschieden aufgenommen werden müssen. Als Beispiel nehmen wir den Blauen Schneeball NGC 7662. Hier haben wir sowohl 30 Sekunden als auch 60 Sekunden pro Bild belichtet. Für jede Belichtungszeit wurde dann über einen bestimmten Zeitraum eine Reihe von Aufnahmen gemacht, im Beispiel 50 Aufnahmen über einen Zeitraum von 25 Minuten bzw. 50 Minuten *(Abb. 40 blauer Pfeil)*. Während die Aufnahmen gemacht wurden, konnten wir diese in dem Fenster der Software Maxim DL betrachten *(Abb. 41)*.

Zur Weiterverarbeitung wurden schließlich sowohl die Rohbilder als auch die Dark Frames abgespeichert. Die Dark Frames dienen später der Korrektur der Fehlinformationen des Kamerasensors. Bei dieser Korrektur wird im Wesentlichen das erzeugte Dunkelbild vom Rohbild abgezogen.

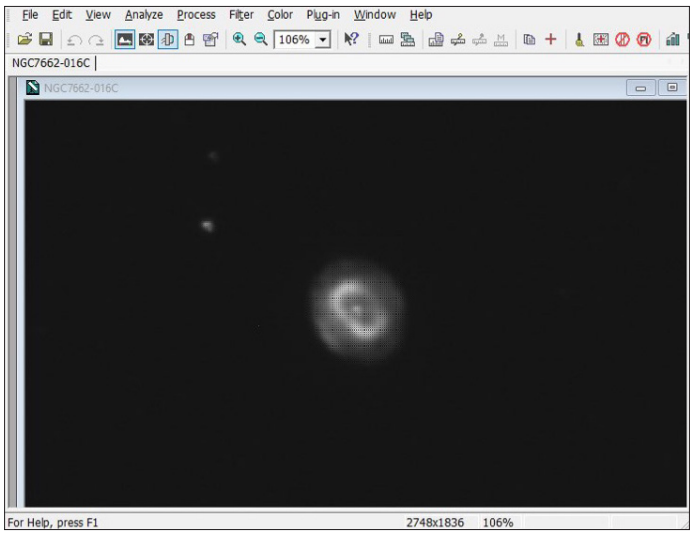


Abb. 41

6.3 Bildverarbeitung

Anhand des Krebsnebel M1 machen wir den Ablauf der weiteren Bearbeitung unserer Aufnahmen deutlich.

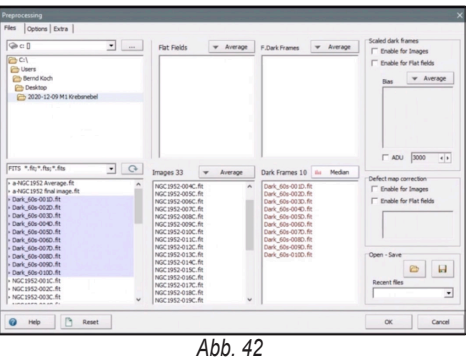


Abb. 42

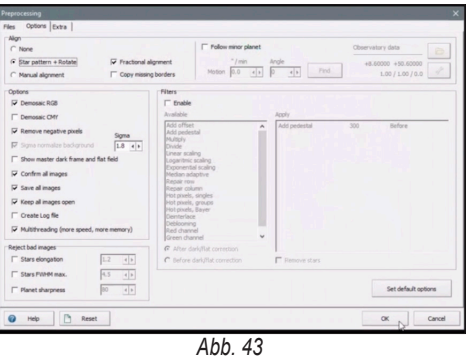


Abb. 43

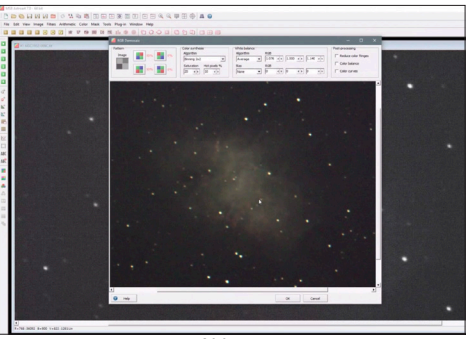


Abb. 44

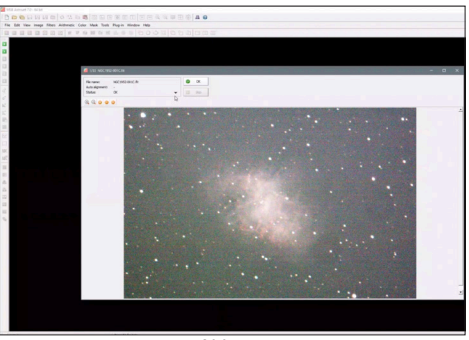


Abb. 45

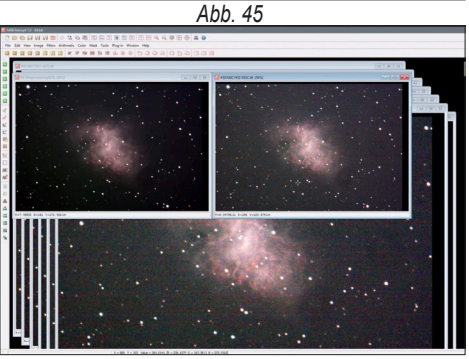


Abb. 46

Für die Weiterverarbeitung benutzen wir die Bildverarbeitungssoftware MSB AstroArt 7.0.

Zunächst haben wir das Tool „Reprocessing“ ausgewählt und hier die Aufnahmen und die Dark Frames eingefügt *(Abb. 42)*. Für die 33 Aufnahmen haben wir den Mittelwert (Englisch: Average) gebildet und für die 10 Dark Frames den Median. Der Unterschied zwischen Average und Median ist, dass beim Average alle Werte addiert werden und die Summe dann durch die Anzahl der Werte geteilt wird. Beim Median werden die Werte vom kleinsten bis zum größten sortiert und dann wird der Wert genommen, der in der Mitte liegt.

Unter Optionen haben wir die folgenden Einstellungen ausgewählt *(Abb. 43)*.

Bei der Auswahlmöglichkeit „RGB Demosaic“ haben wir „Binning 2 x 2“ ausgewählt. Unter Binning versteht man das Zusammenfassen von nebeneinanderliegenden Pixeln. Durch Binning wird zwar die Lichtempfindlichkeit eines Bildpunktes erhöht, allerdings geht das zu Lasten der Bildauflösung, das heißt das Bild wird gröber. Beim Weißabgleich haben wir den Mittelwert gebildet *(Abb. 44)*.

Nach dem Bestätigen unserer Einstellungen konnten wir uns nun Aufnahme für Aufnahme anschauen und entscheiden, welche Bilder unscharf geworden sind und diese dann gegebenenfalls entfernen. Am Ende stand eine Vorauswahl an Aufnahmen, die für das sogenannte Stacking verwendet werden. Das Stacking (Deutsch: Stapeln) ist in diesem Zusammenhang eine Überlagerung von einzelnen Aufnahmen, um lange Belichtungszeiten einer einzelnen Aufnahme zu vermeiden, aber trotzdem Details mit schwacher Lichtstärke in guter Qualität herausgearbeitet werden können *(Abb. 45)*.

Als Abschluss des Stackings, bekamen wir ein sehr gutes Ergebnis. Man kann einen signifikanten Unterschied zwischen einer einzelnen Aufnahme und dem Stacking-Ergebnis erkennen *(Abb. 46)*.

Danach haben wir den Krebsnebel vertikal gespiegelt, damit er der tatsächlichen Erscheinung entspricht.

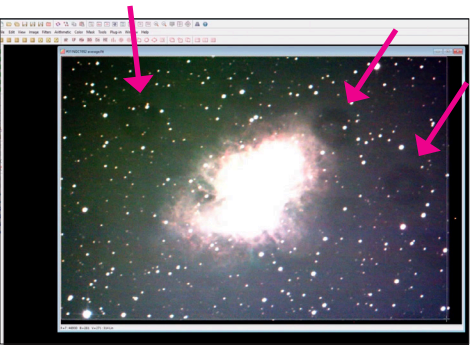


Abb. 47

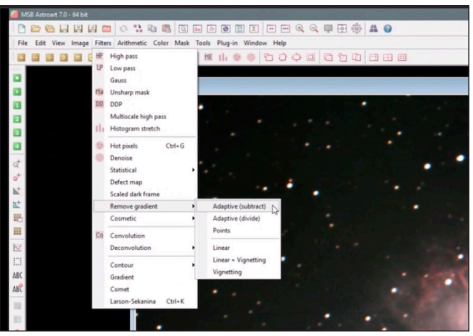


Abb. 48

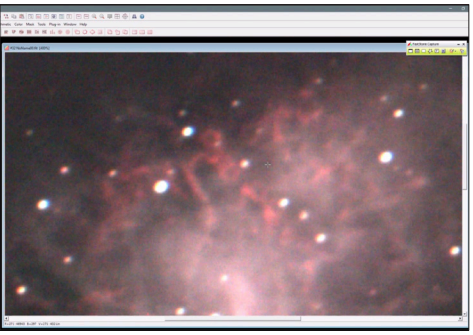


Abb. 49

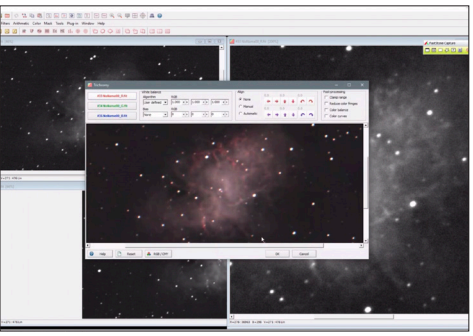


Abb. 50

Auf der Aufnahme sind ringartige Kreise zu erkennen. Hierbei handelt es sich um Staub *(Abb. 47 pinker Pfeil)*. Um diese Unregelmäßigkeiten zu reduzieren, haben wir die im folgenden Bild gezeigten Einstellungen ausgewählt *(Abb. 48)*.

Des Weiteren haben wir noch an der Korrektur der umliegenden Sterne gearbeitet. Wie in Abbildung *(Abb. 49)* gut zu erkennen ist, handelt es sich hier um eine atmosphärische Dispersion. Das Licht der verschiedenen Wellenlängen wird in der Atmosphäre unterschiedlich stark gebrochen. Da das kurzwellige blaue Licht stärker gebrochen wird als das langwellige rote Licht, entstehen somit rote und blaue Ränder an den Objekten.

Mit der Funktion „Split Color“ haben wir die Farben in die einzelnen Farbkanäle aufgeteilt. Die Option „Trichromy“ hat uns dabei geholfen, die Farbverschiebungen an den Sternen zu korrigieren *(Abb. 50)*.

Zum Schluss haben wir noch Feinkorrekturen durchgeführt. Unter „Compress stars“ hat das Programm die Sterne erkannt und wir konnten sie manuell bearbeiten *(Abb. 51)*.

Da sie zum Teil oval erschienen, haben wir sie so bearbeitet, dass sie am Ende gleichmäßig und rund waren *(Abb. 52)*.

Für die Intensität der Farben änderten wir ein wenig den Weißabgleich und die Sättigung.

Mit der bis hierhin beschriebenen Bearbeitung haben wir das im folgenden Bild dargestellte optimierte Ergebnis erzielt *(Abb. 53)*.

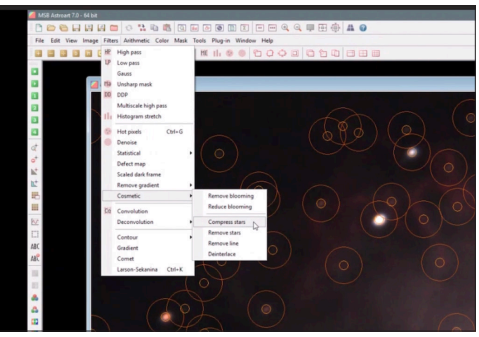


Abb. 51

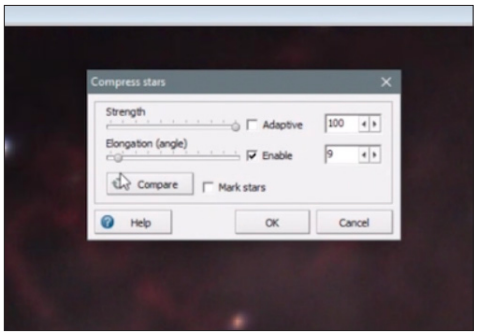


Abb. 52

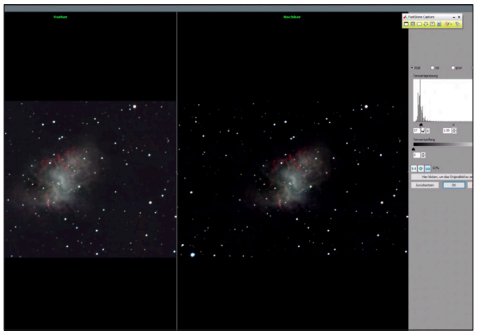


Abb. 53

6.4 Bildbearbeitung

Die finale Bildbearbeitung dient der optimalen Darstellung der erstellten und verarbeiteten Aufnahmen. Hierzu wurden zunächst die Dateien im png-Format in Adobe Photoshop geöffnet und als Dateien im jpg-Format mit dem Adobe RGB Farbprofil abgespeichert. Anschließend werden diese Dateien über Adobe Bridge in „In Camera Raw“ geöffnet und in den Grundeinstellungen (Abb. 54), in der Gradationskurve (Abb. 55) und im Detail (Abb. 56) bearbeitet und angepasst. Nach der Korrektur wurden sie dann unter neuem Namen abgespeichert.
Siehe Vorher-Nachher Vergleich am Beispiel Krebsnebel M1 (Abb. 57).

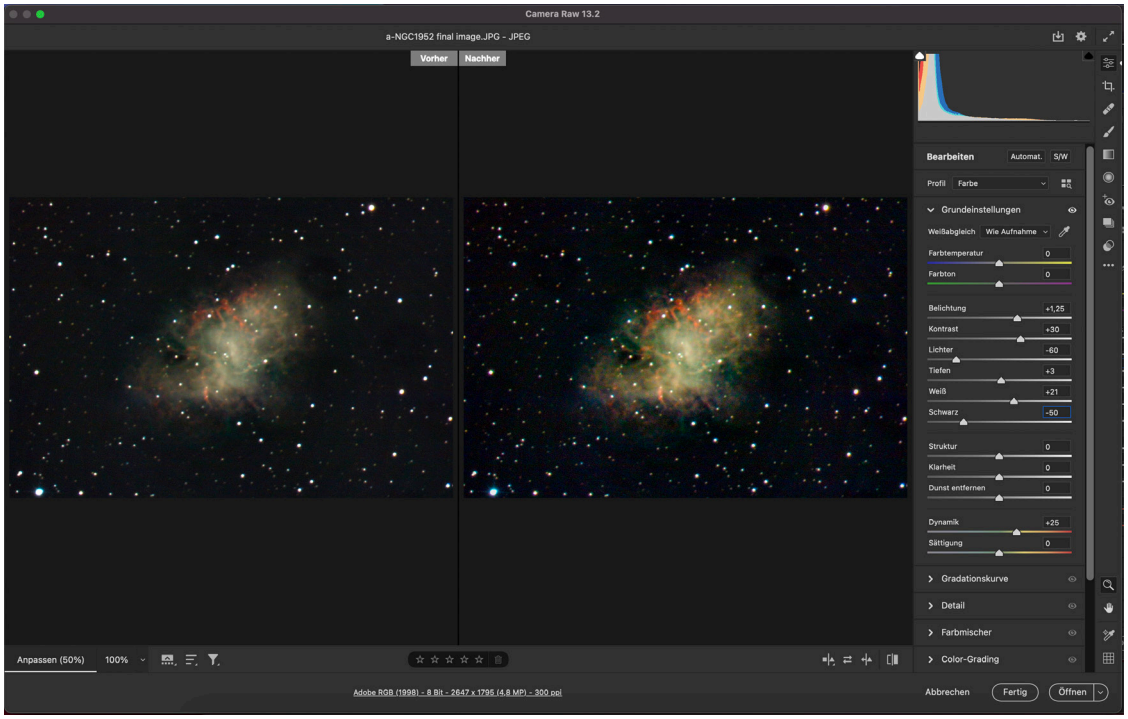


Abb. 54

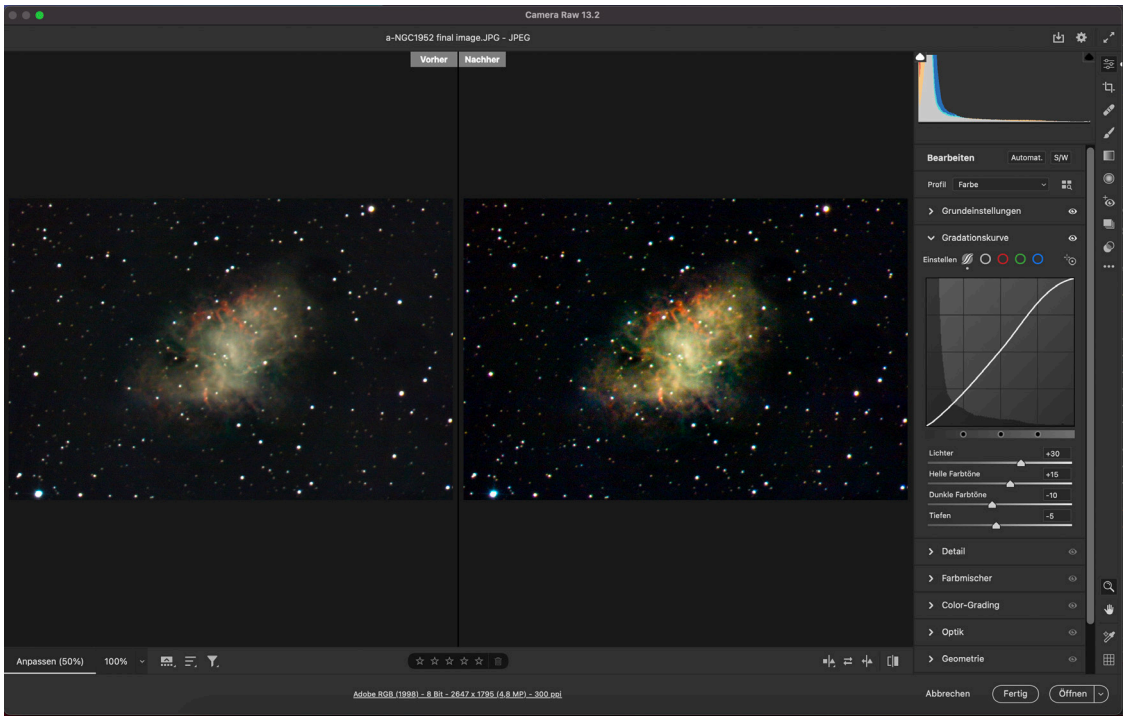


Abb. 55

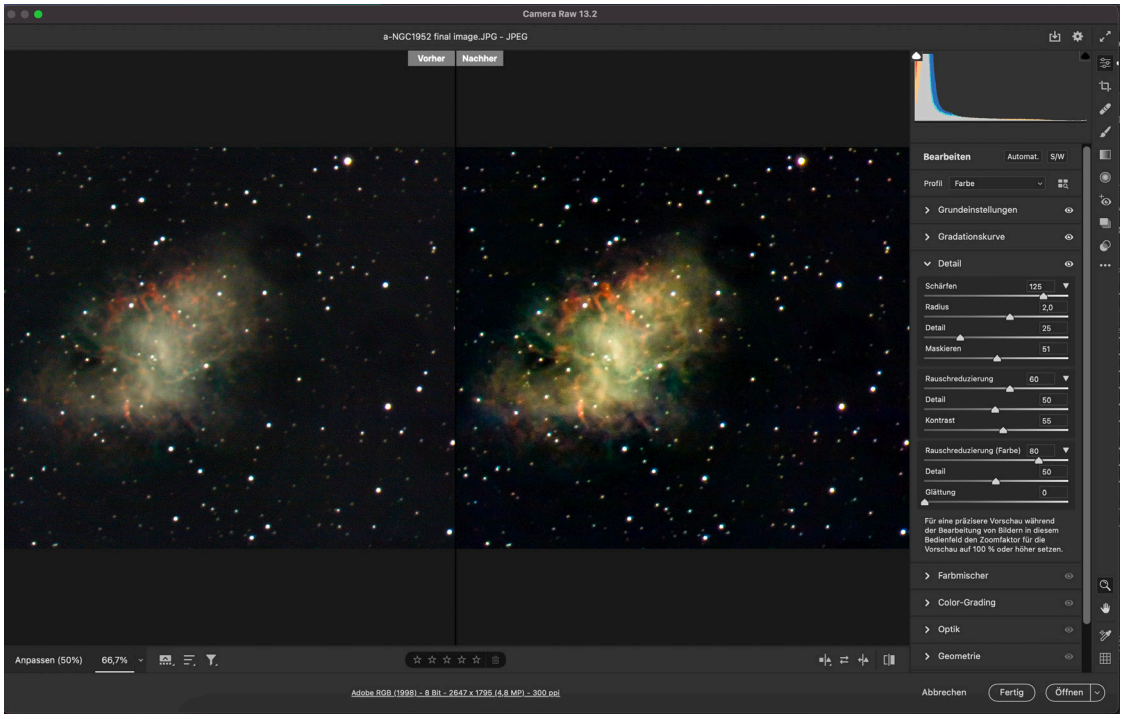

Camera Raw 13.2
a-NGC1952 final image.JPG - JPEG
Vorher
Nachher
Bearbeiten
Automat.
S/W
Profil
Farbe
Grundeinstellungen
Gradationskurve
Detail
Schärfen
125
Radius
2,0
Detail
25
Maskieren
51
Rauschreduzierung
60
Detail
50
Kontrast
55
Rauschreduzierung (Farbe)
80
Detail
50
Glättung
0
Für eine präzisere Vorschau während der Bearbeitung von Bildern in diesem Bedienfeld den Zoomfaktor für die Vorschau auf 100 % oder höher setzen.
Farbmischer
Color-Grading
Optik
Geometrie
Anpassen (50%)
66,7%
Adobe RGB (1998) - 8 Bit - 2647 x 1795 (4,8 MP) - 300 ppi
Abbrechen
Fertig
Öffnen

Abb. 56

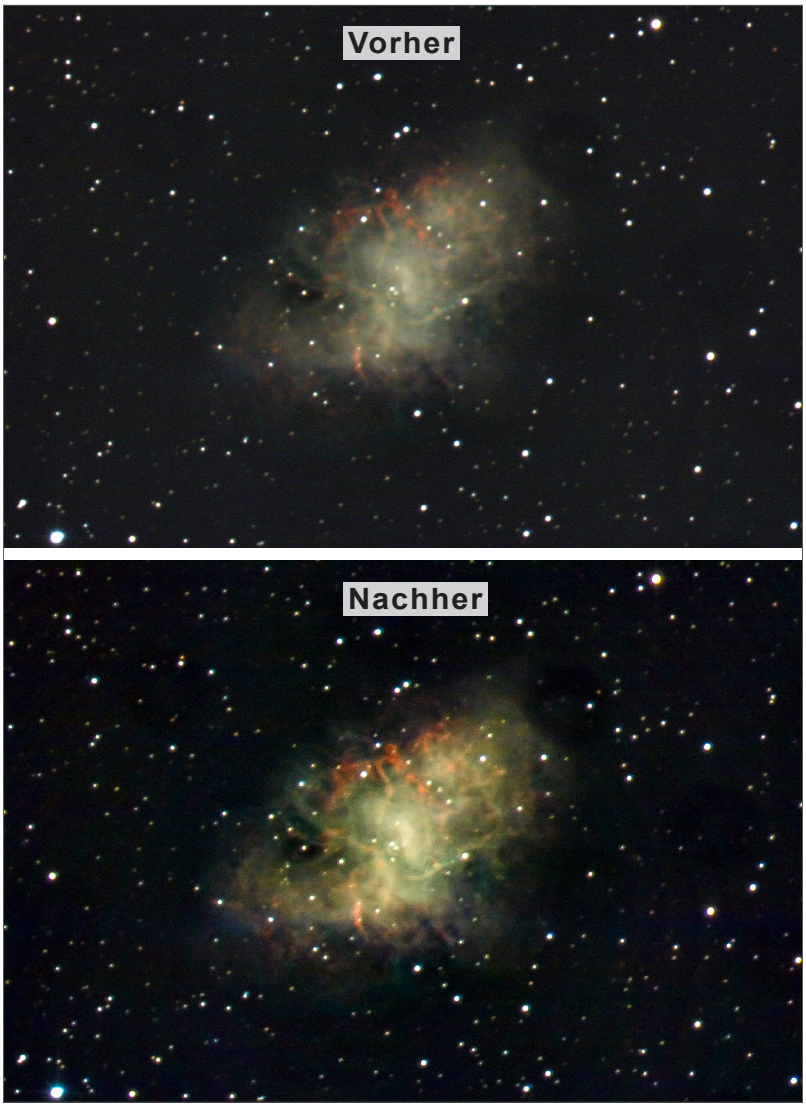

Vorher
Nachher

Abb. 57

6.5 Die fertigen Bilder

In der Folge werden die final bearbeiteten Bilder der vier von uns fotografierten Objekte – Krebsnebel M1, kleiner Hantelnebel M76, Blauer Schnellball und Kamelaugennebel – gezeigt (Abb. 58 – 61).

Abb. 58: Krebsnebel M1; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

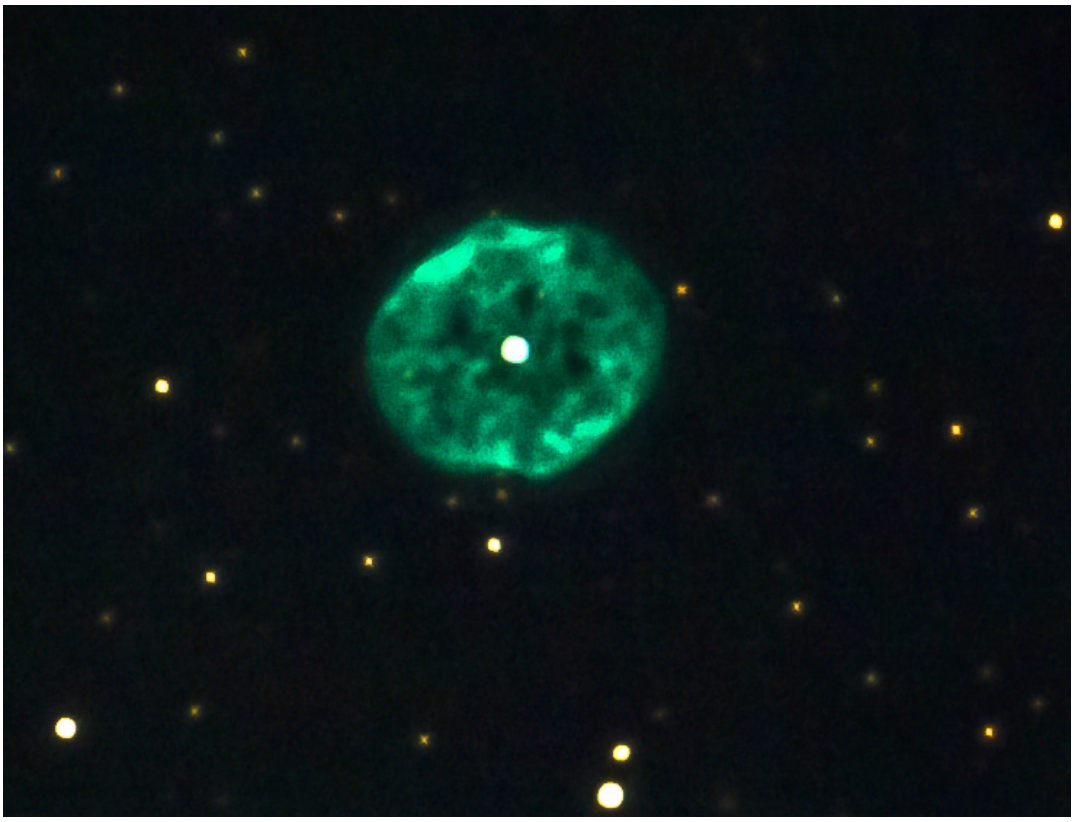


Abb. 59: Kamelaugennebell NGC 1501; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

Abb. 60: Kleiner Hantelnebel M76; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

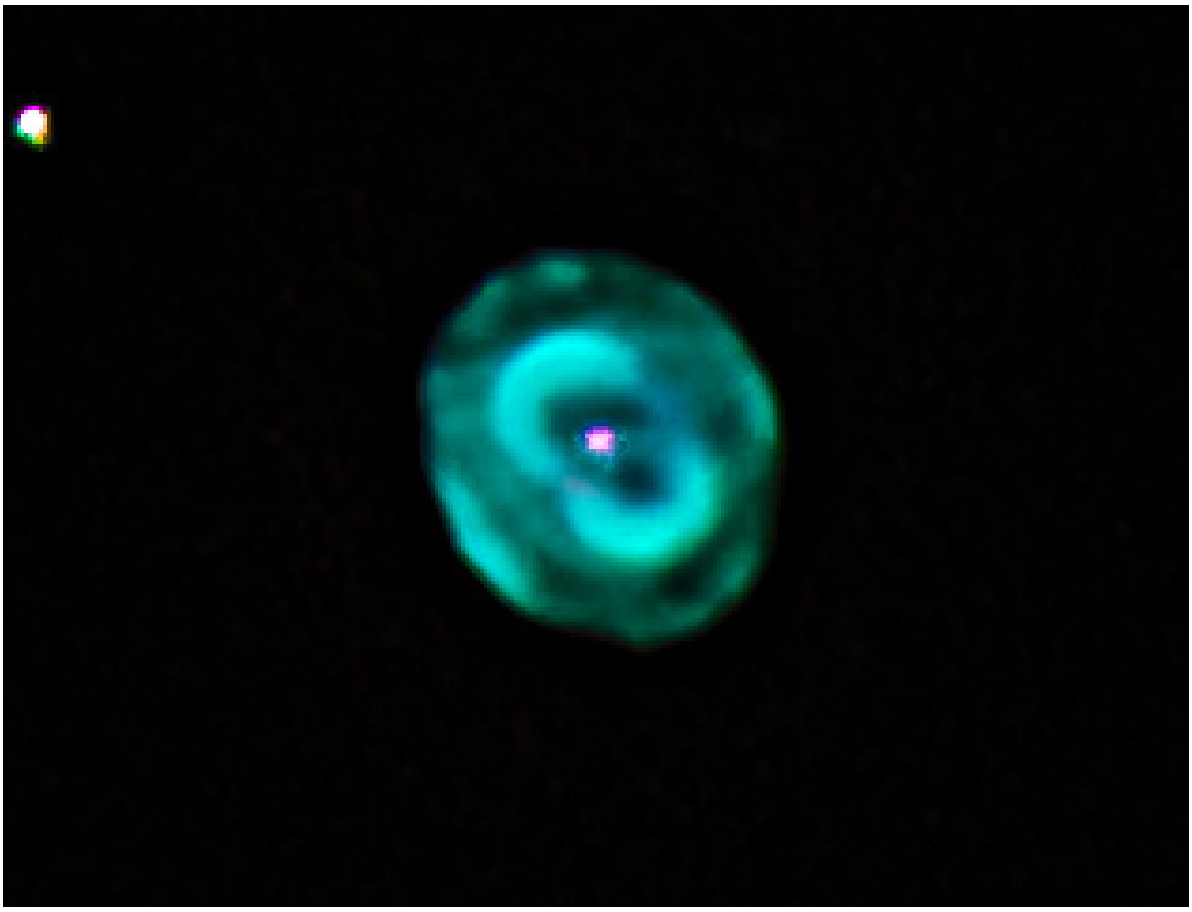


Abb. 61 Blaue Schneeball NGC 7662; Foto; CFG-Wuppertal, K. Bassalay, N. Wehner

7 Fazit

Die vorliegende Projektarbeit besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Nach einer kurzen Einleitung wird in den Kapiteln 1 - 5 Theorie zu Sternen, deren Entstehung, Entwicklung und Ende, aber auch deren Klassifizierung und Eigenschaften zusammengetragen. Insbesondere Planetarische Nebel und Supernovae, die den Kern dieser Arbeit darstellen, werden erklärt. Außerdem wird auf vier Objekte eingegangen, die wir in dieser Arbeit näher betrachtet haben – der kleine Hantelnebel M76, der Blaue Schneeball, der Kamelaugennebel und der Krebsnebel M1 – und es werden ein paar grundlegende Fakten zu diesen Objekten genannt.

Im zweiten Teil ab Kapitel 6 wird beschrieben, wie und mit welchen Hilfsmitteln wir die Objekte fokussiert, fotografiert, die entstandenen Aufnahmen verarbeitet und final bearbeitet haben. Diesbezüglich sind die großartigen Voraussetzungen hervorzuheben, die am Carl-Fuhlrott-Gymnasium gegeben sind, um Objekte im Weltall beobachten und fotografieren zu können.

Insgesamt können wir sagen, dass uns sowohl der Projektkurs mit den theoretischen und praktischen Einheiten als auch das Verfassen unserer Projektarbeit sehr viel Spaß bereitet hat. Wir konnten viel über die Sternwarte erfahren, was uns besonders fasziniert hat, als auch über das Thema Astronomie selbst. Wir haben gelernt, wie wir mit dem Teleskop umgehen und wie wir mit vielen interessanten Schritten die Deep-Sky-Objekte beobachten konnten. Des Weiteren konnten wir viel Wissen über die spezifischen Programme sowohl für die Aufnahmen unserer Objekte als auch für die Weiterverarbeitung und Bildbearbeitung mitnehmen. Da Astronomie etwas Neues für uns war, fanden wir es umso interessanter uns mit der Projektarbeit und deren Inhalten auseinander zu setzen. Da dies auch keinem typischen Unterrichtsfach entspricht, konnten wir eine Menge positiver Erfahrungen sammeln, welche auch hilfreich für unsere Zukunft sind.

Zusammenfassend sind wir sehr froh, dass wir den Projektkurs belegt haben und ein gelungenes Ergebnis der Projektarbeit erzielen konnten.

Abschließend können wir nur eine unbedingte Empfehlung an diejenigen aussprechen, die sich ebenfalls mit dem Gedanken tragen, sich mit der Astronomie zu beschäftigen. Die Astronomie bietet eine Vielzahl an faszinierenden Fakten und Daten und es übersteigt an vielen Stellen die Vorstellungskraft, mit welchen Zeiträumen, Massen, Dimensionen und Temperaturen – um nur einige Größen zu nennen – wir es in diesem Zusammenhang zu tun haben.

8 Danksagung

Wir möchten uns am Ende unserer Projektarbeit natürlich noch dafür bedanken, dass wir die Wahl hatten, eine Projektarbeit über ein Thema zu verfassen, welches uns persönlich interessiert und im weiteren Verlauf immer mehr auch fasziniert hat. Wir bedanken uns bei unserer Schule, dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium, dafür dass sie einen solchen Kurs anbieten. Des Weiteren bedanken uns natürlich bei unserem Kurslehrer, Herrn Bernd Koch, der uns von der Wahl unseres Themas, bis hin zur Abgabe und vor allem in der komplizierten Corona-Zeit immer unterstützt hat.

9 Abschlusserklärung

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

K. Bassalay

Kim Bassalay

N. Wehner

Niko Wehner

Wuppertal, 19.05.2021