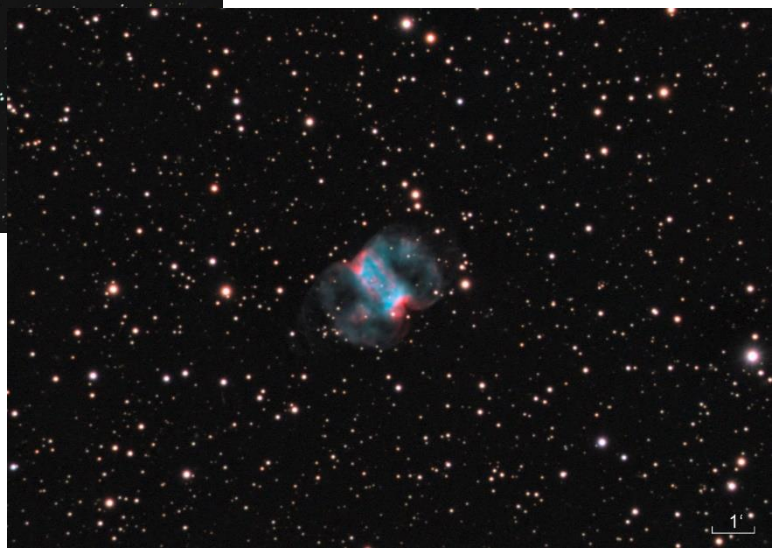
2017/18




# Supernovae und Planetarische Nebel

## SPEKTAKULÄRE ENDSTADIEN DER STERNENTWICKLUNG

VON PHILIP WEINEM UND FRANKA STALLMANN

PROJEKTARBEIT IM RAHMEN DES PROJEKTKURSES ASTRONOMIE

ABGABEDATUM: 30.05.2018

KURSLEITER: BERND KOCH

# Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung ..... 3
2.0 Was ist ein Stern? ..... 4
2.1 Entwicklung der Sterne ..... 4
2.1.1 Das Hertzsprung-Russell Diagramm ..... 4
2.1.2 Stabile Sterne ..... 5
2.2 Kernfusion ..... 5
2.3 Massereiche Sterne ..... 6
2.4 Massearme Sterne ..... 6
2.5 Pulsar ..... 7
3.0 Supernova ..... 8
3.1.1 Der Begriff Supernova ..... 8
3.1.2 Allgemein ..... 8
3.1.3 Supernova Typ I ..... 9
3.1.4 Supernova Typ II ..... 10
3.2 Supernova-Überrest ..... 10
4.0 Planetarische Nebel ..... 12
4.1 Allgemein ..... 12
4.2 Entdeckung ..... 12
4.3 Entstehung eines Planetarischen Nebels ..... 12
4.4 Form und Eigenschaften Planetarischer Nebel ..... 13
4.5 Bedeutung Planetarischer Nebel ..... 14
5.0 Equipment zur Astrofotografie ..... 15
5.1 50 cm Teleskop PlaneWave CDK20 ..... 15
5.1.2 Technische Daten[25] ..... 15
5.2 Kamera STX-16803 ..... 16
5.2.1 Technische Daten ..... 16
5.3 Filterrad FW7-STX ..... 17
5.3.1 Technische Daten[26] ..... 17
5.4 Teleskopmontierung 10Micron GM4000 HPS II ..... 17
5.4.1 Technische Daten ..... 17
6.0 Astrofotografie Deep Sky Objekte ..... 18
6.1 Beobachtungsabend ..... 18
6.2 Bildbearbeitung ..... 23
6.2.1 Datensatz ..... 23
6.2.2 Kalibrierung ..... 24

6.2.3 Bildnachbearbeitung mit Photoshop ..... 26
6.2.4 Bearbeitung mit Excalibrate ..... 28
7.0 Der Messier – Katalog ..... 30
7.1 Allgemein ..... 30
7.2 Leben ..... 30
8.0 M1- Der Krebsnebel ..... 32
8.1 Allgemeine Informationen ..... 32
8.2 Entdeckung ..... 32
8.3 Entstehung ..... 33
8.4 Expansion des Nebels ..... 33
8.5 Der Pulsar-Nebel ..... 34
8.5.6 Entdeckung des Pulsar Nebels ..... 34
8.6 PSR 0531+21 ..... 34
9.0 M76 –Kleiner Hantelnebel ..... 36
9.1 Allgemein ..... 36
9.2 Erscheinungsbild ..... 36
9.3 Entdeckung ..... 37
10.0 Fazit ..... 38
11.0 Anhang ..... 38
11.1 Danksagung ..... 38
12.0 Abschlusserklärung ..... 39

# 1.0 Einleitung

Nach unserer Wahl des Projektkurses Astronomie wurden wir in die Themen von Woche zu Woche eingeleitet und haben dabei unter anderem das Fotografieren für uns entdeckt. Schließlich sollten wir uns bis Ende der Herbstferien für ein Thema entschieden haben. Zur Hilfe der Themenwahl haben wir wissenschaftliche Magazine dazu gezogen und uns mehrere Themengebiete angeschaut. Außerdem haben wir ältere Projektarbeiten, die an der Schule geschrieben wurden, als Beispiele zur Umsetzung angeschaut. Unsere Interessen liegen im spektakulären Tod eines Sterns, zum einem in Planetarischen Nebeln und zum anderen in Supernovae. Außerdem sind diese Objekte einer der Schönsten und atemberaubendsten Anblicke des Nachthimmels.

Unser Ziel war es, diese Vorgänge zu verstehen und deren Überreste zu fotografieren. Damit hatten wir ein anspruchsvolles Ziel für unsere Arbeit. Schließlich suchten wir nach Planetarischen Nebeln und Supernova-Überresten, die für unsere Arbeit in Frage kommen konnten. Wir entschieden uns für den Planetarischen Nebel M76 und den Supernova-Überrest M1.

Im Folgenden haben wir uns die Fragen gestellt, welche Unterschiede zwischen dem Planetarischen Nebel und einem Supernova-Überrest bestehen. Welche besonderen Eigenschaften unsere Objekte aufweisen und wie man Deep-Sky Objekte fotografiert und im Anschluss bearbeitet.

Diese Fragen haben wir in unserer Arbeit versucht zu beantworten.

## 2.0 Was ist ein Stern?

Einer der bekanntesten Sterne ist die Sonne. Sie gibt uns jeden Tag Licht und Wärme, aber wie funktioniert das?

Sterne sind helle Punkte, die wir am Nachthimmel sehen. Sie sind auch riesige Gaskugeln mit einem Fusionsfeuer im Inneren.

## 2.1 Entwicklung der Sterne

Die Entwicklung eines Sterns ist zum größten Teil von seiner Masse abhängig. Die Masse macht es möglich, welche Stoffe der Stern fusioniert.

### 2.1.1 Das Hertzsprung-Russell Diagramm

Das Hertzsprung-Russell Diagramm verknüpft die Spektralklassen der Sterne mit deren Leuchtkraft. Auffällig dabei ist, dass sich die meisten Sterne auf einer Diagonalen von links oben nach rechts unten befinden. Es gibt nur wenige Objekte, die von dieser Hauptreihe abweichen. Aus dem Diagramm lassen sich auch individuelle Entwicklungen der Sterne erschließen.

Wenn die Sterne sich jedoch ihren Spätstadien nähern verlassen sie diese Hauptreihe.

Abhängig von ihrer Masse wandern diese dann z. B. in den rechts über der Hauptreihe liegenden Riesenast. Diese Sterne haben eine sehr hohe Leuchtkraft. Links unterhalb der Hauptreihe befindet sich die Klasse der Weißen Zwerge. Sie besitzen eine sehr geringe Leuchtkraft.[1] (Siehe Abb. 1)

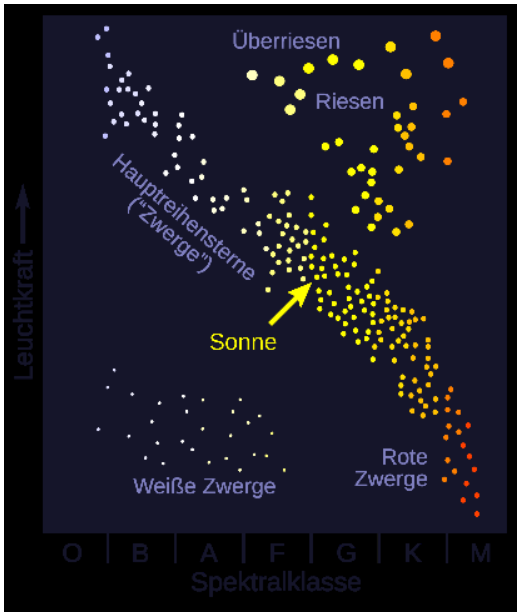



*Abbildung 1 Hertzsprung-Russell Diagramm https://de.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russell-Diagram Zugriff: 28.03.18*

Das Hertzsprung-Russell Diagramm wurde 1913 von dem amerikanischen Astronom Henry Norris Russell entwickelt und beruht auf Arbeiten von Ejnar Hertzsprung. Von den Entwicklern kommt dementsprechend der Name des HRDs[2] zustande.[3]

[1] Buch: Vom Urknall zum Menschen S. 105
[2] Abkürzung für das Hertzsprung-Russell Diagramm
[3] http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2010/07/21/vom-leben-und-sterben-der-sterne-das-hertzsprungrusselldiagramm/ Zugriff.28.03.18

### 2.1.2 Stabile Sterne

Sterne, welche sich u.a. auf der Hauptreihe befinden sind stabil. Nach dem Wandern auf der Hauptreihe verlassen diese den stabilen Zustand und entwickeln sich auf den weiteren Ästen.

Stabile Sterne strahlen im hydrostatischen Gleichgewicht, das Gleichgewicht zwischen Strahlungsdruck und Gravitation. Der Strahlungsdruck wirkt nach außen und die Gravitation wirkt nach innen.

Durch die ausgesandte Strahlung muss der Stern sein Gleichgewicht immer halten. Die Energie wird nachgeliefert entweder durch Gravitationsenergie oder Kernenergie. Die Gravitationsenergie wird durch Verkleinern der Masse des Sterns ausgeglichen und dies geschieht durch eine Massenverteilung. Diesen Prozess nennt man Kontraktionsprozess. Bei diesem Prozess kann sich der Stern zu einem „Roten Riesen“ verwandeln. In der Hauptreihe der Sterne ist dies nicht der Fall, denn der Stern hat eine statische Materie, die sich nicht verändern lässt, dann ist der Ausgleich nur durch Kernfusion möglich.[4]

## 2.2 Kernfusion

Die Kernfusionsprozesse laufen im Inneren des Sterns ab. „Normale Sterne“ in der Hauptreihe durchziehen ein Wasserstoffbrennen. Dieses Brennen ist ein Proton-Proton Prozess, in diesem werden Wasserstoff-Kerne (H) durch Protonen zu einem Helium-Kern (He) fusioniert. (Siehe Abb.2) Da die Masse des Heliumkerns kleiner ist als die Gesamtmasse beider fusionierten H-Kerne vor der Fusion, wird eine enorme Menge Energie in einem stark exothermen Vorgang freigesetzt. Die längste Zeit verbringt der Stern in der Hauptreihe, in der er den Wasserstoff verbrennt. Je größer die Masse ist, desto kürzer ist das Wasserstoffverbrennen. Ein massereicher Stern verbraucht seinen Energievorrat schneller als Sterne mit geringerer Masse.

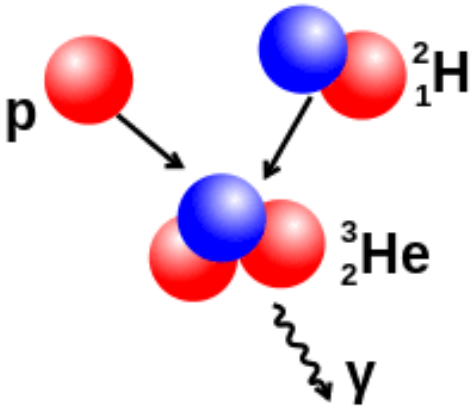



*Abbildung 2 Proton-Proton Reaktion https://de.wikipedia.org/wiki/Proton-Proton-Reaktion Zugriff: 01.04.18*

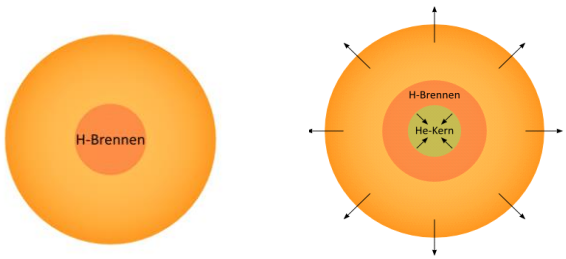



*Abbildung 3 Aufbau eines Sterns nach der Wasserstoffverbrennung https://lp.uni-goettingen.de/get/text/7168 Zugriff: 01.04.18*

Wenn der Stern 10-15 % des Wasserstoffs zu Helium verbrannt hat, kann er nicht mehr das Gleichgewicht zwischen Strahlungsdruck und Gravitation aufrechterhalten, denn seine Energiequelle ist erloschen. Die Gravitation überwiegt den Strahlungsdruck. Schließlich fällt der Stern zusammen. Dadurch wird die Gravitationsenergie freigesetzt. Dies erhöht die Dichte, was zu einer massiven Erhöhung der Temperatur führt.

[4] Buch: Vom Urknall zum Menschen S. 108,111

Die Temperatur steigt schließlich so stark an, dass sich um die Heliumzone eine erneute Wasserstoff-Fusionszone entwickelt.
Diesen Prozess nennt man Wasserstoff-Schalenbrennen. Die Temperaturerhöhung und die gewonnene Energie aus dem Wasserstoffschalenbrennen bewirken einen Energieüberschuss nach außen, daraus folgt eine Expansion der Randbereiche. Diese Gashülle des Sterns bläst sich auf und der Stern kühlt ab, entwickelt sich zu einem Roten Riesen.
Im Kern ist die Temperatur auf ca. 100 Millionen K angestiegen. Die Grundlage für das Heliumverbrennen, welches nun beginnt, ist entstanden. Der Stern hat eine neue Energiequelle geschaffen und kann sein hydrostatisches Gleichgewicht aufrechterhalten.[5]

## 2.3 Massereiche Sterne

Bei massereichen Sternen mit mehr als 8 Sonnenmassen verläuft die Entwicklung anders als bei massearmen Sternen. Diese Sterne verlieren ihre Masse durch ausgeprägte Sternwinde. Diese werden durch den Strahlungsdruck angetrieben.

Die massereichen Sterne haben nach dem Wasserstoffbrennen noch genügend Masse um Helium zu verbrennen sowie Kohlenstoff zu zünden.

Bei Sternen mit über 10 Sonnenmassen entstehen auch schwerere Elemente als Kohlenstoff. Das Kohlenstoffbrennen setzt ein, wenn der Kern eine Temperatur von 600-700 Mio. Kelvin aufweist. Dieses Verbrennen des Kohlenstoffs dauert nur ca. 100 Jahre. Diese kurze Zeitspanne beruht auf hohen Neutrino-Verlusten. In dieser Zeit bleibt das hydrostatische Gleichgewicht des Sterns bestehen. Durch das Verbrennen ist die Dichte im Kern des Sterns sehr hoch 100kg/cm$^3$ dieser besteht aus Sauerstoff, Magnesium und Neon. Wenn der Stern vorher tatsächlich eine Masse von 10 Sonnenmassen hatte, kann dieser durch Kontraktion auch das Neon[6]-, Sauerstoff[7]-brennen. Die Endprodukte des Verbrennens sind Silizium, Schwefel und Argon. Aufgrund dieser hohen Temperatur und des Neutrino-Verlustes läuft das Neonbrennen nur 10 Jahre ab und das Sauerstoffbrennen sogar nur ein Jahr. Übrig bleibt ein Silicium-Schwefel-Kern, dieser wird bei 3 Milliarden K verbrannt und dauert nur wenige Stunden. Das Endprodukt ist ein Eisen-Nickelkern, durch den anschließenden Zerfall von Nickel über Cobalt bleibt ein Eisenkern übrig. Der Eisenkern ist das Ende der exothermen Kernfusion, die gesamte Fusionsenergie wurde verbraucht.[8]

## 2.4 Massearme Sterne

Im Gegensatz zu den massereichen Sternen haben massearme Sterne eine viel längere Lebensdauer.
Bei massearmen Sternen mit einer Masse von mehr als 2 Sonnenmassen setzt eine Heliumfusion ein, in dieser stabilen Fusion befindet sich der Stern eine sehr lange Zeit und bleibt ständig ein Roter Riese.
Wenn ein Stern weniger Masse als 2 Sonnenmassen hat, setzt ein Heliumflash ein, dieser Prozess ist blitzartig. Beim Heliumflash wird das Helium explosionsartig fusioniert. Die erzeugte Energie wird nach außen abgeführt, der Stern hält sein Gleichgewicht und bleibt stabil. Seine Leuchtkraft und seine Temperatur verändern sich, somit springt der Stern vom Roten Riesen zu dem Horizontalast im

[5] Buch: Vom Urknall zum Menschen S.111 f.
[6] Bei etwa 1,2 Milliarden K
[7] Bei etwa 2 Milliarden K
[8] Buch: Vom Urknall zum Menschen S. 114 f.

Hertzsprung-Russell Diagramm. Dort bleibt der Stern so lange bis er das Helium vollständig zu Kohlenstoff verbrannt hat. Jetzt kann der Stern sein hydrostatisches Gleichgewicht nicht mehr halten, er kontrahiert und die Außenhülle beginnt wieder zu expandieren. Aber da in diesem Fall der Stern kaum kühler wird, erhöht sich die die Leuchtkraft. Somit wandert der Stern auf dem HRD auf den Riesenast weiter und entwickelt sich zu einem Überriesen.[9]

## 2.5 Pulsar

Ein Pulsar ist eine besondere Form eines Neutronensterns. Er strahlt wie ein Leuchtturm, nur heller und nicht immer sichtbar. Ein Neutronenstern ist von einem extrem starken Magnetfeld umgeben, da das Magnetfeld des vorherigen Sterns in dem kleinen Neutronenstern komprimiert wurde. Darüber hinaus wird das Drehmoment des großen Sterns eins zu eins auf den Neutronenstern übertragen (Drehimpulserhaltung) dadurch nimmt seine Rotationsgeschwindigkeit zu und seine Rotationsdauer ab. Das heißt der Neutronenstern dreht sich unglaublich schnell in einem kompakten Magnetfeld.

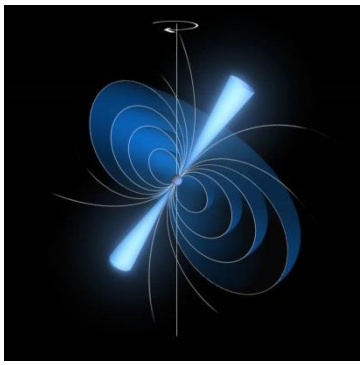


*Abbildung 4 Pulsar ESA/ATG medialab https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/sterne/pulsare/ Zugriff: 22.05.18*

Der Neutronenstern dreht sich um seine Rotationsachse. Beim Pulsar darf die magnetische Achse des Magnetfeldes nicht so liegen wie die Rotationsachse des Neutronensterns. Wenn sie in einem bestimmten Winkel zueinander liegen, bewegen sich die Magnetfeldlinien schnell durch den ionisierten Gasnebel. Die hier liegenden elektrisch geladenen Teilchen werden durch das rotierende Magnetfeld mitgenommen und erzeugen elektromagnetische Strahlung, welche kegelförmig ins Universum geworfen wird. Da der Kegel auch rotiert, scheint die Strahlung zu pulsieren, wie das Licht eines Leuchtturms.[10,11]Der Pulsar strahlt permanent elektromagnetische Strahlung in zwei Kegeln aus. Diese werden auch Doppelkegel genannt. Die Strahlung entsteht durch das Magnetfeld. (Siehe Abb. 4)

[9] Buch: Vom Urknall zum Menschen S.113 f.
[10] https://de.wikipedia.org/wiki/Pulsar Zugriff: 22.05.18
[11] https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/sterne/pulsare/ Zugriff: 22.05.18

# 3.0 Supernova

## 3.1.1 Der Begriff Supernova

Der Begriff Supernova entstand zuerst aus einem Irrtum, denn Himmelsbeobachter dachten für lange Zeit, dass bei einer Supernova ein neuer Stern geboren wird. Deswegen lat. Nova übersetzt Neu. Und das Wort Super kommt aus der höchsten, spektakulärsten Beobachtung und Entwicklung. Somit wurde der Begriff „Supernova“ kreiert.

## 3.1.2 Allgemein

Eine Supernova ist ein explodierender hell aufleuchtender, massereicher Stern am Ende seiner Entwicklung. Große Teile des Sterns werden in Energie umgesetzt, die freiwerdende Energie von ca. $10^{46}$kJ, die ausgestrahlt wird, entspricht der Energie von 10 Milliarden Galaxien in einer Sekunde. Der Stern wird milliardenfach heller als unsere Sonne und sendet so viel Licht aus wie 10 Milliarden Sterne. Somit strahlt eine Supernova in kurz möglichster Zeit so viel Energie aus wie die Sonne in bis zu 100 Milliarden Jahren.

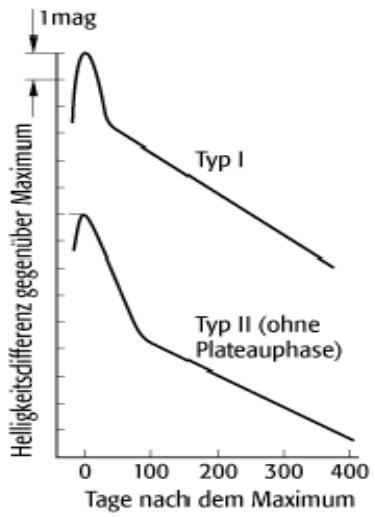



*Abbildung 5 Lichtkurve der Unterschiedlichen Supernova Typen https://www.spektrum.de/lexikon/physik/supernova/14186 Zugriff: 15.03.18*

Man unterteilt zwei Typen der Supernova, indem man sie durch die Lichtkurve und Spektren voneinander unterscheidet. Wie auf der Abbildung 5 zu erkennen.
Typ I hat eine größere scheinbare Helligkeit als Typ II.
Supernova Typ I hat keine Wasserstoff-Spektrallinie.
Jedoch hat der Supernova Typ II eine Wasserstofflinie.[12]

[12] Buch: Vom Urknall zum Menschen S.115 ff.

### 3.1.3 Supernova Typ I

Dieser Supernova Typ wird auch thermonukleare Supernova genannt.

Bei diesem Typ der Supernova explodiert ein Stern mit einer geringen Masse, mit bis zu 8 Sonnenmassen. Dies kann sich nur ereignen, wenn die Sterne sich in einem engen Doppelsternsystem befinden.

Ein Doppelsternsystem besteht aus zwei Sternen, die sich auf engem Raum umkreisen. In diesem Fall bekommt der Weiße Zwergstern von dem roten Riesen Brennmaterial, sodass der Stern wächst. Somit wird der Wasserstoff erhitzt und ein Fusionsfeuer zündet, Wasserstoff wird zu Helium fusioniert und weiter zu Kohlenstoff. Daraufhin befinden sich die beiden Sterne in einer Gashülle, welche über einen längeren Zeitraum abgestoßen wird. Wenn der Weiße Zwerg die Chandrasekhar-Masse 1,44 Sonnenmassen überschreitet wird der Stern instabil und kollabiert. Durch das einsetzten des Kohlenstoffbrennens wird der Stern zerrissen. Die Kraft der Explosion stößt den Roten Riesen weg (Siehe Abb.6).[13]

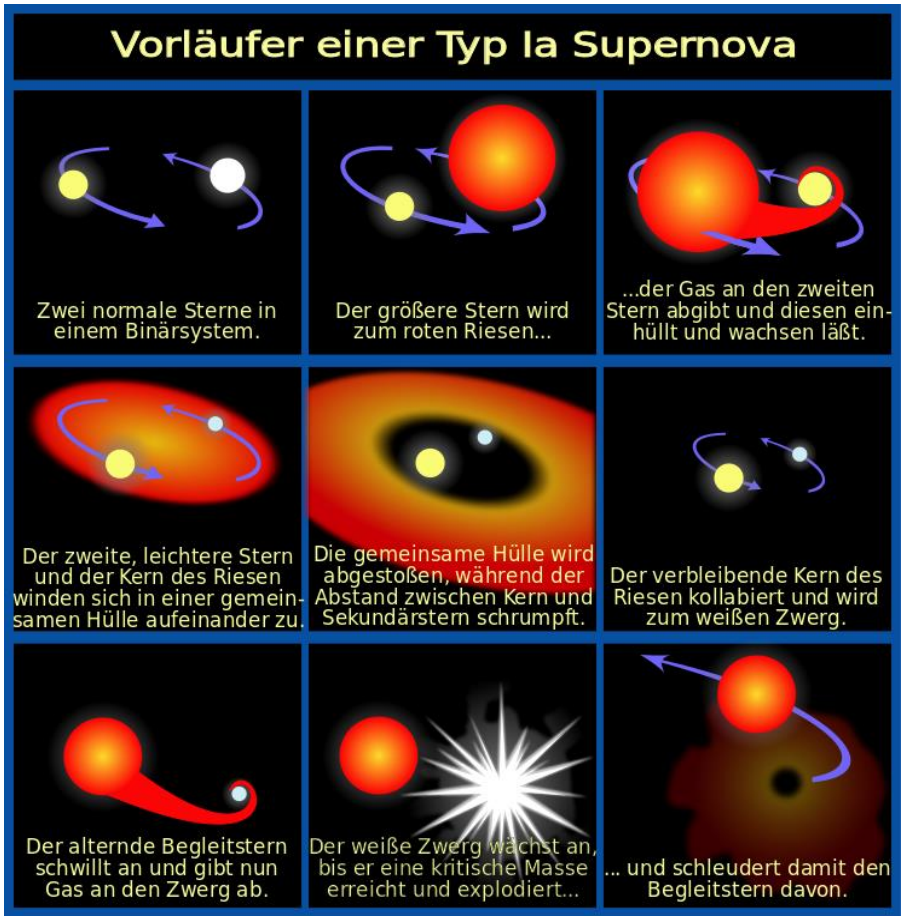



*Abbildung 6 Ablauf des Supernova Typs I*
*http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/supernova/2004/34/image/d/*
*Zugriff: 15.03.18*

[13] https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/supernova/465 Zugriff: 15.03.18

### 3.1.4 Supernova Typ II

Dieser Typ Supernova wird auch Kernkollaps Supernova genannt.

Dieser Typ ist der energiereichste Prozess in Zusammenhang mit einem Stern und auch der bekannteste Typ der Supernovae. Beim Tod eines Sterns, der vielfach so groß ist wie unsere Sonne (Roter Riese) explodiert er durch einen Gravitationskollaps. Nachdem der massereiche Stern den Zustand von einem ca. 1,44 Sonnenmassen Eisenkern erreicht hat, wird das hydrostatische Gleichgewicht gestört und kann kollabieren. Der Stern hat keine Reserven mehr um weitere Stoffe zu verbrennen, somit sinken die Fusionsprozesse und der Strahlungsdruck nimmt rapide ab. Der Gravitationsdruck überwiegt und der Stern wird zusammengedrückt. Schließlich fallen die äußeren Sternschichten ins Zentrum des Sterns. Jedoch prallen die Sternschichten (Schockwellen) vom heißen Eisen-Nickel Kern ab und werden zurück reflektiert. Der Stern stößt die äußeren Hüllen ab. (Siehe Abb.7) Übrig bleibt ein Neutronenstern der eine Masse von 1,44 - 3 Sonnenmassen besitzt. Dies hängt von der übrigbleibenden Masse ab. Ein Neutronenstern ist äußerst fest und hart. Die Oberfläche des Sterns besteht aus neutronenreichen Atomen, die bei dem Gravitationskollaps im Inneren des Ursprungssterns entstanden sind. Dabei haben sich Protonen und Elektronen durch den hohen Durck zu Neutronen komprimitiert. Nun breitet sich die abgestoßene Hülle von dem Neutronenstern aus.[14,15]

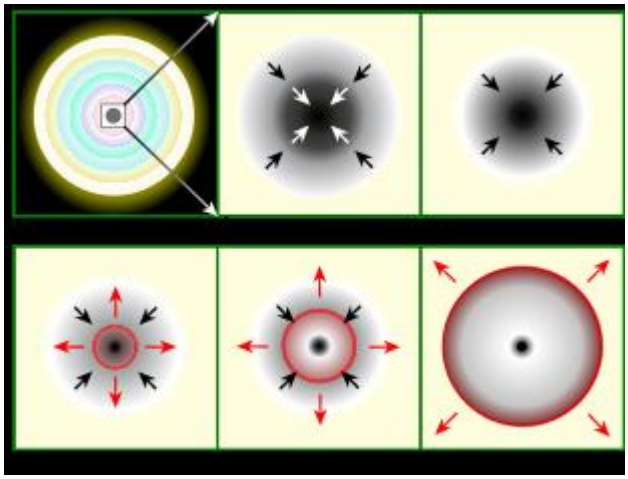


*Abbildung 7 Supernova Typ2 ivypaghira.webnode.at Zugriff: 21.05.18*

## 3.2 Supernova-Überrest

Ein Supernova-Überrest ist ein Emissionsnebel, der durch eine Supernova entsteht. Diese Überreste sind einer der schönsten leuchtenden Nebel und Objekte am Himmel.

Bei den Überresten handelt es sich um Sternmaterie, die bei der Explosion ins All geschleudert wurde.

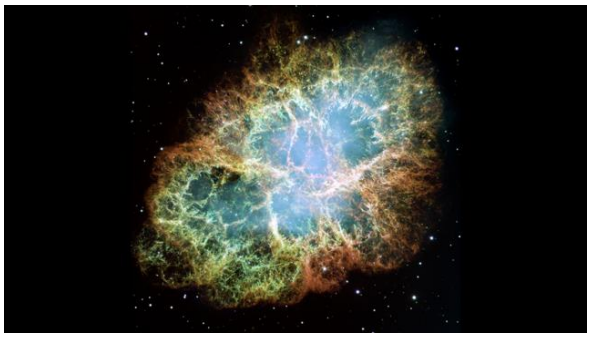


*Abbildung 8 M1 Supernova-Überrest http://hubblesite.org/image/3885/category/35-supernova-remnants Zugriff 25.05.18*

Anhand daran, dass ca. 150 Supernova-Überreste in unsere Milchstraße existieren, die jeweils eine Lebensdauer von 100 000 Jahre haben, lässt sich ermitteln, dass alle ca. 50 Jahre eine Supernova

[14] https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/supernova/465 Zugriff: 21.05.18

[15] Buch: Vom Urknall zum Menschen S.115 f.

geschieht. Die letzte beobachtete Supernova fand am 23.Februar 1987 statt. Dieses Ereignis konnte man mit bloßem Auge betrachten.[16]
Die Supernova-Überreste sind ein vielfach größer als die gewöhnlichen Nebel. Im Inneren des Nebels ist der Ursprungsstern häufig als Neutronenstern zu sehen. Der Supernova-Überrest besteht aus dem Material, das der Stern verbrannt hat z.B. Wasserstoff und Helium so auch aus schwereren Elementen wie Stickstoff. Bei einem Supernova-Überrest wird der Nebel nicht zum Leuchten gebracht durch das Anleuchten der Materie, sondern durch Bewegung. Die Teilchen werden durch das magnetische Feld, das der Neutronenstern ausstrahlt, bis zur Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Diese Teilchen regen die äußeren Bereiche an und fangen an zu Leuchten.[17]

Einer der bekanntesten Supernova-Überreste ist der M1 Nebel, mit dem wir uns im Verlauf der Arbeit auseinandergesetzt haben.

[16] Buch: Urknall zum Menschen S. 117 f.
[17] http://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/deepsky/supernovarest.html
Zugriff: 20.05.18

# 4.0 Planetarische Nebel

## 4.1 Allgemein

Sterne leuchten nicht ewig. Am Ende ihres Lebens entsteht meist ein wunderschöner „Planetarischer Nebel“, der bis zu einem Lichtjahr groß werden kann. Ein Planetarischer Nebel besteht aus einer Hülle aus Gas und Plasma, die durch einen Zentralstern zum Leuchten gebracht wird. Diese Nebel zählen zu den schönsten astronomischen Objekten.[18, 20]

## 4.2 Entdeckung

Den ersten Planetarischen Nebel, den Hantelnebel M27 entdeckte Charles Messier im Jahr 1764. Planetarische Nebel haben nichts mit Planeten zu tun. Der Namensgebung liegt ein Irrtum zugrunde. Die Planetarischen Nebel ähnelten in den damaligen Teleskopen dem Erscheinungsbild der Planetenscheiben der Gasplaneten. 1781 entdeckte Wilhelm Herschel den Planet Uranus. Da dieser Planet ähnlich aussah wie der Nebel, führte Wilhelm Herschel 1785 für die Nebel die bis heute gültige Bezeichnung ein. In Wirklichkeit sind sie das Überbleibsel einer sehr aktiven Phase einer bestimmten Klasse von Sternen: den Roten Riesen. [19,20]

Planetarische Nebel können mit dem bloßen Auge nicht beobachtet werden, da sie nur schwach leuchten. Sie sind oft nicht länger als einige zehntausend Jahre sichtbar. Das ist eine sehr kurze Zeitspanne, denn ein durchschnittliches Sternenleben dauert im Vergleich mehrere Milliarden Jahre. In unserer Galaxis, dem Milchstraßensystem, hat man bisher ca. 1.500 Planetarische Nebel gefunden.[19]

## 4.3 Entstehung eines Planetarischen Nebels

Mittlere bis kleine Sterne, deren Masse etwa der unserer Sonne gleicht, entstehen über einige Millionen Jahre. Sie erzeugen ihre Energie dadurch, dass in ihrem Inneren über mehrere Milliarden Jahre Wasserstoff zu Helium fusioniert (Kernfusion). Es entsteht ein nach außen gerichteter Strahlendruck, der sich der eigenen Gravitation des Sterns entgegenstellt und so verhindert, dass er in sich zusammenfällt. Diesen Ausgleich der Kräfte bezeichnet man, wie in Abbildung 9 dargestellt, als hydrostatisches Gleichgewicht.[19]

*Abbildung 9 Darstellung Hydrostatisches Gleichgewicht http://www.weltraumport.de/events/vortraege/heliosphaere/sonne-aufbau.html Zugriff: 06.04.18*

### *4.3.1 Roter Riese*

Ist der Vorrat an Wasserstoff jedoch aufgebraucht, beginnt über einige Millionen Jahre ein Prozess, bei dem sich der Stern zu einem Roten Riesen aufbläht. Der Strahlungsdruck lässt nach, der Kern wird durch die Gravitationskräfte komprimiert und heizt sich auf. Die Temperatur im Kern steigt an und Helium fusioniert nun zu Kohlenstoff und Sauerstoff. Um den Kern fusioniert Wasserstoff zu Helium

[18] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel Zugriff: 06.04.2018

(Wasserstoff-Schalenbrennen). Als Folge dehnt sich die Hülle des Sterns stark aus, er bläht sich an seiner Oberfläche bis zum 100-fachen auf und wird zu einem Roten Riesen. Aufgrund der geringen Oberflächentemperatur des größer gewordenen Sterns, wechselt die Farbe des Sterns von gelb zu rot.[20]

Die äußeren Regionen des Sterns verlieren nach und nach ihre Masse in Form von Sternenwind. Sternenwinde sind Materieströme, die von den Sternen ausgestoßen werden. Da die Reaktionsgeschwindigkeit der Heliumfusion proportional zu einer sehr hohen Potenz der Temperatur ist, erhöht sich der Strahlungsdruck bereits bei einem leichten Temperaturanstieg übermäßig. Die äußere Schicht dehnt sich aus. Dadurch verliert sie an Temperatur und zieht sich wieder zusammen. Es entsteht eine Pulsation – der Stern pulsiert und Materie wird abgestoßen. Er stößt seine Hüllen ab. Durch den Sternenwind wird der heiße Kern immer weiter freigelegt, so dass später auch Teile der schwereren Elemente abgestoßen werden. Im Verlauf dieser Vorgänge wird der Stern immer kleiner und wenn auch der letzte Kohlenstoff fusioniert ist, fällt der Stern in einer Zeitspanne von einigen 100 Jahre zu einem Weißen Zwerg zusammen (Siehe Abbildung 10).[16,17]

### *4.3.2 Weißer Zwerg*

Ein Weißer Zwerg ist die extrem verdichtete Restmasse eines Sterns. Er kann über 100.000 Grad heiß werden. Durch eine immer stärkere Erhitzung der Oberfläche des Weißen Zwergs, erhöht sich die Geschwindigkeit und Energie seines Sonnenwindes. Dieser ionisiert die umgebenden Gase, so dass sie zu leuchten beginnen. Die Gashülle wird als Planetarischer Nebel sichtbar.[20,21]

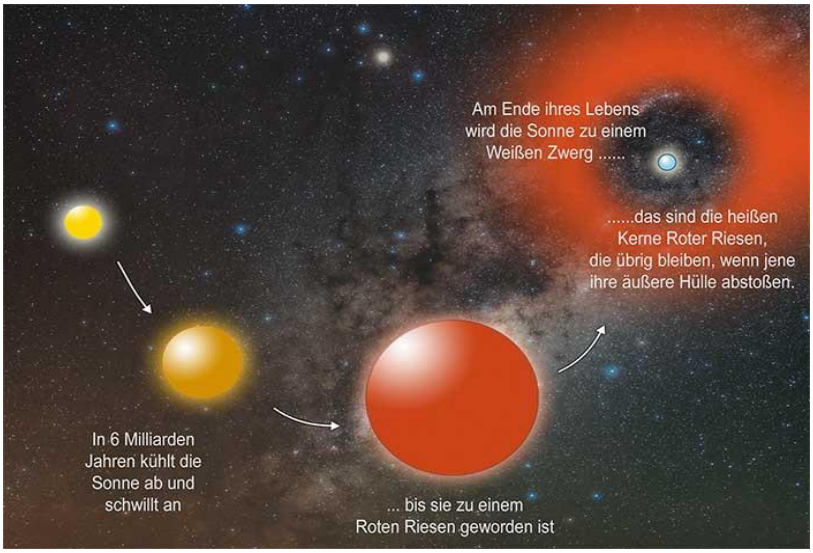



*Abbildung 10 Tod eines Sterns – die Sonne wandelt sich zum Roten Riesen und wird zum Weißen Zwerg https://physik.cosmos-indirekt.de/physik-schule/12_erde_und_weltall/06_Sterne_und_Galaxien-2.php Zugriff:06.04.18*

## 4.4 Form und Eigenschaften Planetarischer Nebel

Nur jeder fünfte Planetarische Nebel ist kugelförmig. Alle anderen haben komplexe oder bipolare Strukturen. Einige Nebel sind asymmetrisch, so ist der Retina-Nebel von der Erde aus gesehen rechteckig. Die Ursachen dieser extremen Formenvielfalt sind bislang nicht genau bekannt. Man vermutet, dass Gravitationswirkungen von Begleitsternen oder massereiche Planeten den Materiefluss stören, wenn sich der Nebel ausformt.[19]

---

[19] http://astro.goblack.de/Theorie/t_planetnebel.htm Zugriff: 06.04.2018

[20] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel Zugriff: 06.04.2018

[21] http://astro.goblack.de/Theorie/t_planetnebel.htm Zugriff: 06.04.2018

2005 wurde erstmals ein Magnetfeld entdeckt, dass teilweise oder vollständig die außergewöhnliche Struktur eines Planetarischen Nebels beeinflusst haben könnte. Die Abbildung 11 gibt einen Überblick über die verschiedenen Erscheinungsbilder.[21]

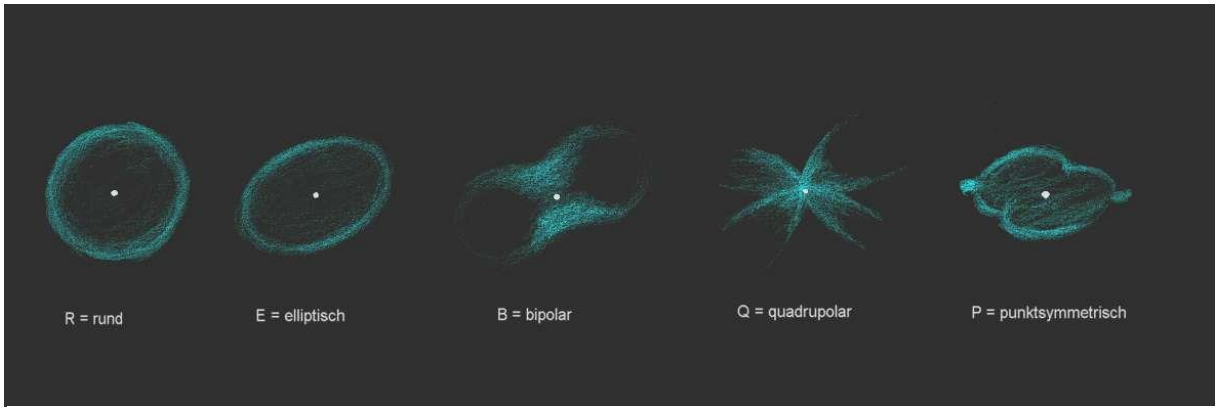



*Abbildung 11 Beispiel einer Klassifikation nach dem Erscheinungsbild http://astro.uni-tuebingen.de/~rauch/PNe_verstehen+beobachten/PNe_verstehen+beobachten_0606.pdf Zugriff: 06.04.18*

Planetarische Nebel bestehen zu etwa 70 % aus Wasserstoff und 28 % aus Helium und neben geringen Mengen anderer Elemente aus Stickstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff. Die Radien der Planetarischen Nebel liegen in der Größenordnung von 0,2 Parsec (1 Parsec = 3,3 Lichtjahre). Die mittlere Dichte der Planetarischen Nebel beträgt meist weniger al 10.000 Teilchen pro Kubikzentimeter. Dies entspricht dem besten auf der Erde erzeugbaren Hochvakuum. Daher dienen die Planetarischen Nebel den Astrophysikern auch als sogenannte Weltraumlaboratorien, deren Bedingungen auf der Erde kaum zu erzeugen sind. Die ausgestoßenen Gase der Planetarischen Nebel bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von einigen Kilometern pro Sekunde vom Zentrum weg. Mit dem Ausdehnen der Nebelhülle und dem Abnehmen der Leuchtkraft des Sternes wird der Nebel immer schwächer. Er vermischt sich mit der interstellaren Materie. Ab einem Radius von 0,7 Parsec sendet er so wenig Strahlung aus, dass er unsichtbar wird.[21,22,]

## 4.5 Bedeutung Planetarischer Nebel

Planetarische Nebel spielen eine wichtige Rolle in der Entwicklung einer Galaxie. Sie bestehen aus Elementen, die schwerer als Helium sind und sind daher wichtig für die Entwicklung des Universums. Diese schweren Elemente werden im interstellaren Raum angereichert und sind ein wichtiger Baustoff für die Entstehung nachfolgender Sterngenerationen und Planeten.[20,21,22]

[20] https://de.wikipedia.org/wiki/Planetarischer_Nebel Zugriff: 06.04.2018
[21] http://astro.goblack.de/Theorie/t_planetnebel.htm Zugriff: 06.04.2018
[22] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Planetarischer_Nebel Zugriff: 07.04.2018

# 5.0 Equipment zur Astrofotografie

Für alle in dieser Arbeit relevanten Bilder benutzten wir an Station 7 der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal-Küllenhahn die Kamera STX-16803 (Abb.13) mit dem Filterrad FW7-STX(Abb.14) an dem CDK 20-Teleskop mit 50 cm Öffnung auf einer 10Micron GM4000HPS-Montierung (Abb.12). Unterstützt wurden wir von Herrn Bernd Koch, Leiter des Projektkurses Astronomie.

## 5.1 50 cm Teleskop PlaneWave CDK20

CDK 20 Astrograph, 20" (500 mm) mit Borosilikat-Optik oder Quarzglas-Optik
modifiziert nach Dall-Kirkham, mit voll auskorrigiertem Bildfeld
3.454 mm Brennweite (f/6,8), 52 mm Bildfeld[23].

### 5.1.2 Technische Daten[25]

#### *5.1.3 Optisches System*

| | |
|---|---|
| Brennweite | 3.454 mm |
| Bildfeld | 52 mm |
| Spiegeldurchmesser | 508 mm |
| Öffnungsverhältnis | f/6.8 |

*Abbildung 12 PlaneWave CDK20 Astrograph Foto: Bernd Koch*

[23]https://www.baader-planetarium.com/de/teleskope/planewave/planewave-cdk20-astrograph-f6.8-(verschiedene-versionen-erh%C3%A4ltlich).html Zugriff: 08.04.18

## 5.2 Kamera STX-16803

*Abbildung 13 Kamera STX-16803 Foto: Philip Weinem*

### 5.2.1 Technische Daten[24]

| | |
|---|---|
| CCD-(Sensor) Größe | 36.8 mm x 36.8 mm |
| CCD Image Sensor | KAF-16803 |
| Imaging / Pixel Array | 4096 x 4096 px |
| Filter Größe | 50 $mm^2$ |
| Pixel-Füllmenge | 100,000 e- |
| Pixel Größe | 9 µm |
| Ausleserauschen | 10 e- |
| Kameraverschluss | Mechanisch, gleichmäßig Ausleuchtung |
| Gesamt Pixelanzahl | 16,0 Millionen px |
| Gewicht | 2,5 Kg |

[24] http://diffractionlimited.com/product/stx-16803/ Zugriff: 08.06.18

## 5.3 Filterrad FW7-STX

Das Filterrad SBIG FW7-STX ist ein 7-Position, 50mm rechteckiges Filterrad für die STX Serien Kameras.[25]

### 5.3.1 Technische Daten[26]

| | |
|---|---|
| Geräteschnittstelle | I2C |
| Filter Gößе | 50 $mm^2$ |
| OS Kompatibilität | Windows 32/64 bit OS oder MAC |
| Gewicht | 2 Kg |

*Abbildung 14 Filter FW7-STX Foto: Philip Weinem*

## 5.4 Teleskopmontierung 10Micron GM4000 HPS II

### 5.4.1 Technische Daten[26]

| | |
|---|---|
| Typ | Deutsche äquatorial Montierung |
| Achsen | r. a. 85 mm Durchmesser<br>dec. 80 mm Durchmesser |
| Motor | 2 Achsen Servo, bürstenlos |
| Leistungsbedarf | 1,5 A bei siderischer Geschwindigkeit<br>5 A bei max. Geschwindigkeit |
| Sternfindung | <20´´ mit internal multiple-stars software mapping |
| Gerätschnittstellen | RS-232, GSP port, Ethernet |

*Abbildung 15 GM4000 HPS III https://www.10micron.eu/wp-content/uploads/2016/03/GM4000HPS-07-1.jpg Zugriff: 23.05.18*

[25] http://diffractionlimited.com/product/fw7-stx/ Zugriff: 10.04.18

[26] http://www.10micron.eu/en/product/gm4000-hps-ii/ Zugriff: 10.04.18

# 6.0 Astrofotografie Deep Sky Objekte

## 6.1 Beobachtungsabend

Am 14.01.2018 haben wir unsere praktische Arbeit an der Sternwarte am Carl-Fuhlrott-Gymnasium durchgeführt. Wir haben die Objekte M1 und M76 fotografiert.

Der Himmel war an dem Tag zum größten Teil klar, jedoch war es sehr windig zur Beobachtungszeit, welches zu einem starken Seeing führte.

Unsere Arbeit haben wir an der Station 7 durchgeführt diese Station beinhaltet das Teleskop Planewave CDK 20. Das komfortable an der Station ist, dass die Station windgeschützt auf dem Dach von der Schule in einem kleinen Gebäude steht. Außerdem kann man Station 7 über dem Computer im warmen kleinen Haus bedienen (Siehe Abbildung 16).

*Abbildung 16 CDK20 an der CFG Sternwarte Datum: 08.02.18*

Zu Beginn synchronisierten wir die Uhr auf dem Computer mit dem der Weltuhr und synchronisierten, diese dann die Uhr auf der Montierung mit der Uhrzeit des Computers.

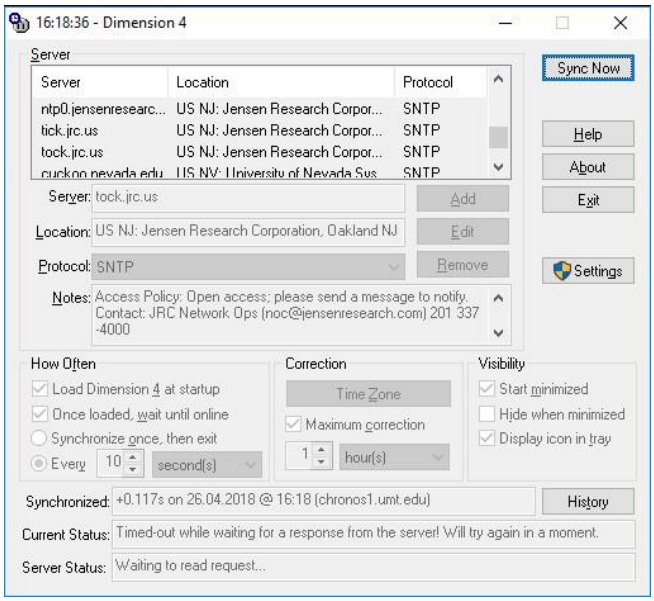



*Abbildung 18 Screenshot Uhrzeit Synchronisation*

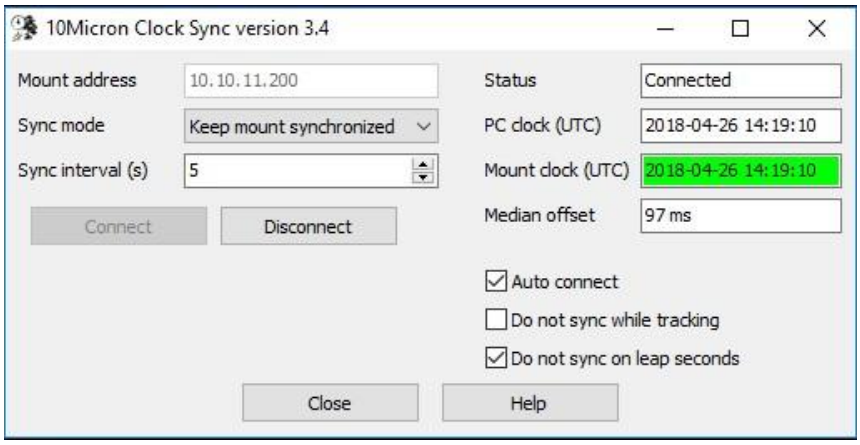



*Abbildung 17 Screenshot Uhrzeit Synchronisation*

Da das Teleskop immer aufgebaut ist, nicht so wie die anderen Stationen, haben wir zu Beginn des Beobachtungsabends nur die CCD-Kamera SBIG STX-16803 an das Teleskop angebracht.

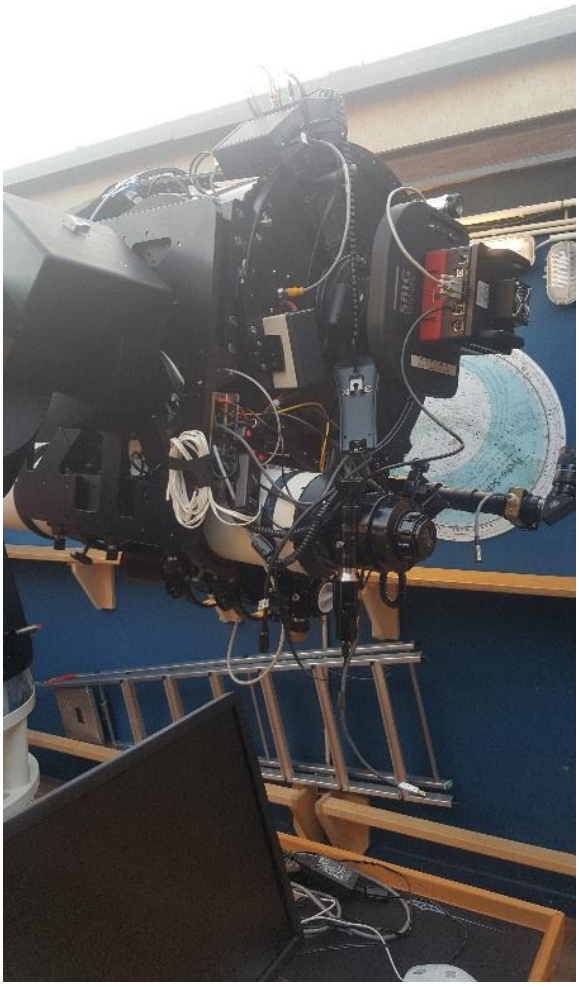


*Abbildung 19, Abbildung 20 Kamera STX-16803 an Teleskop angebracht inklusive Filter Datum: 08.02.18*

Schließlich prüften wir, ob die Kamera nicht spiegelverkehrt angebracht wurde, wenn dies geprüft wurde, wurde das Teleskop ausgerichtet und kann zu den Objekten geschwenkt werden. Wir mussten noch per Hand nachjustieren, so dass die Objekte in der Mitte des Ausschnittes waren, in dem wir fotografieren. Nun öffnen wir das Programm EOS Utility. Bei dem Programm kann man die Belichtungszeit, die ISO Zahl und die Temperatur der Kamera, wie auch den Speicherort bestimmen. Als wir dies alles eingestellt hatten, haben wir begonnen zu fotografieren. Als erstes haben wir das Objekt M76, den kleinen Hantelnebel, fotografiert.

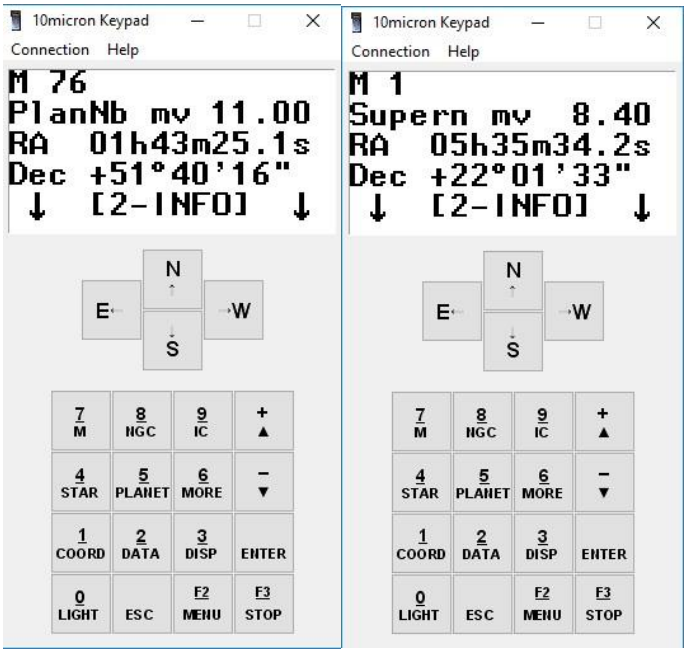



*Abbildung 21 Steuerungs Keypad zu M76, M1*

Die Kamera ist eine Schwarz-Weiß-Kamera und fotografiert im LRGB Prinzip, dann wird mit 4 unterschiedlichen Filtern gearbeitet ein Luminanz-, Rot-, Grün-, Blau-Filter. Im Computer haben wir ein Algorithmus eingestellt, der in gleichmäßigen Abständen eine bestimmte Anzahl an Bildern macht. Wir machten mit jedem Filter einige Bilder, damit falls ein Flugzeug durchfliegt das Bild herausgenommen werden kann.

Somit haben wir in der Zeit entspannt und aufgepasst, dass alles funktioniert. Außerdem haben wir währenddessen einige Ergebnisse begutachtet.

Zudem haben wir auch Dark Frames gemacht, damit man später den hellen Hintergrund herausdividieren kann.

*Abbildung 23 Die -Kamera mit sichtbarem Blau-Filter.*

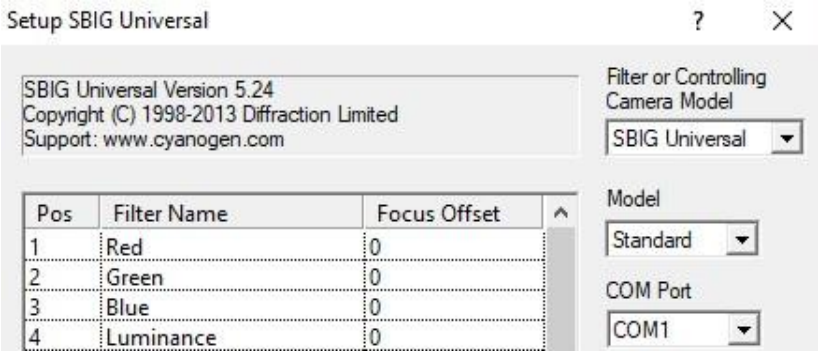



*Abbildung 22 Screenshot Filter Einstellungen*

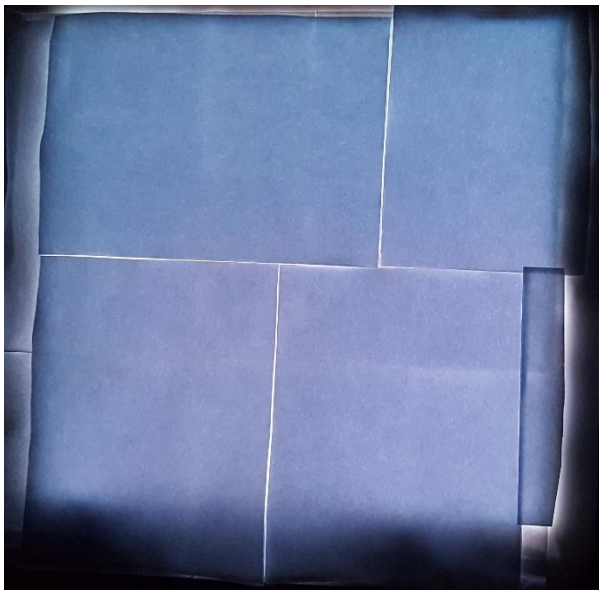


*Abbildung 24 Die gleichmäßig beleuchtete Elektrolumineszenzfolie für die Flatfields*

Es müssen auch Flatfields gemacht werden um Staubkörner etc. herausdividieren zu können. Die Flatfields haben wir mit einer hellen Elektrolumineszenzfolie gemacht, die gleichmäßig belichtet wird. Dazu legten wir die Elektrolumineszenzfolie auf das Teleskop drauf. Bei uns war das Flatfield etwas zu hell. Um dies abzudunkeln, haben wir mehrere Schichten Papier auf die Platte gelegt.

Als alle Aufnahmen abgeschlossen waren, haben wir die Aufnahmen gespeichert. Außerdem haben wir kontrolliert, ob genügend Aufnahmen gelungen sind. Schließlich montierten wir die Kamera von dem Teleskop ab, entfernten die Flatfieldfolie und schwenkten das Teleskop in die Ausgangsposition zurück. Anschließend fährt man die Computer herunter und schaltet das Teleskop aus.

## 6.2 Bildbearbeitung

### 6.2.1 Datensatz

| Objekt | Anzahl | Bel.-Zeit | Sensor-temperatur |
|---|---|---|---|
| M76 Luminanz | 7 | 120s | -30 °C |
| M76 Rot | 6 | 120s | -30 °C |
| M76 Grün | 6 | 120s | -30 °C |
| M76 Blau | 5 | 120s | -30 °C |
| Dark | 20 | 120s | -30 °C |
| Flat Luminanz | 18 | 2s | -30 °C |
| Flat Rot | 12 | 4s | -30 °C |
| Flat Grün | 12 | 4s | -30 °C |
| Flat Blau | 18 | 4s | -30 °C |
| Dark Flat | 10 | 4s | -30 °C |
| Dark Flat | 10 | 2s | -30 °C |

| Objekt | Anzahl | Bel.-Zeit | Sensor-temperatur |
|---|---|---|---|
| M1 Luminanz | 11 | 120s | -30 °C |
| M1 Rot | 4 | 60s | -30 °C |
| M1 Rot | 7 | 120s | -30 °C |
| M1 Grün | 11 | 120s | -30 °C |
| M1 Blau | 10 | 120s | -30 °C |
| Dark | 20 | 120s | -30 °C |
| Flat Luminanz | 18 | 2s | -30 °C |
| Flat Rot | 12 | 4s | -30 °C |
| Flat Grün | 12 | 4s | -30 °C |
| Flat Blau | 18 | 4s | -30 °C |
| Dark Flat | 10 | 4s | -30 °C |
| Dark Flat | 10 | 2s | -30 °C |

Beginn der M76 Aufnahmen: 17:07:23 Uhr

Ende der M76 Aufnahmen: 18:06:28 Uhr

Beginn der M1 Aufnahmen: 20:13.32 Uhr

Ende der M1 Aufnahmen: 21:43:46 Uhr

*Abbildung 26 Rohbild M76*

*Abbildung 25 Rohbild von M1*

## 6.2.2 Kalibrierung

### *6.2.2.1 Set Calibration*

Zur Kalibrierung nutzen wir das Software Programm MaxIm DL5.24[27].

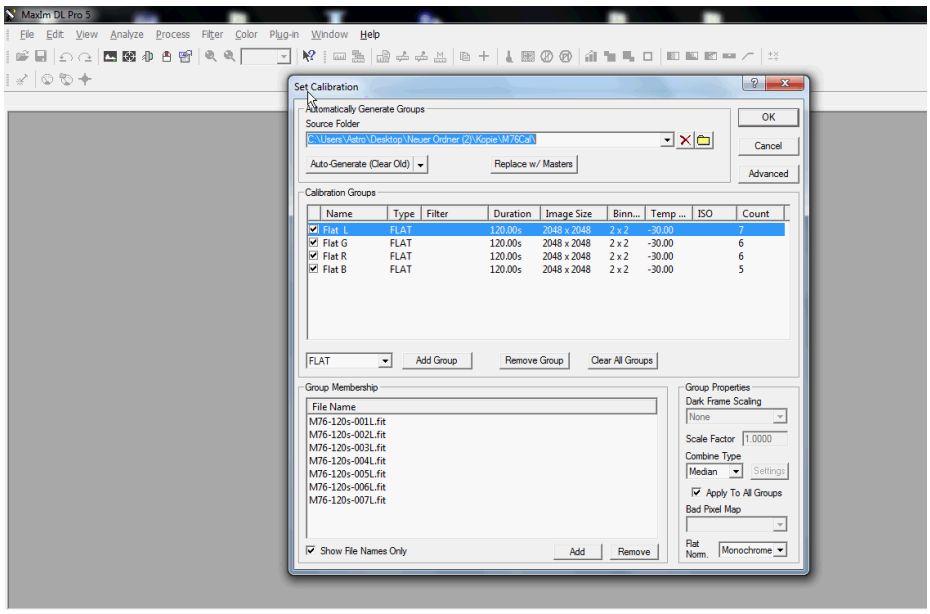



*Abbildung 27 Screenshot Set Calibration*

Erster Schritt: Pfad festlegen zum Kalibrieren der Dateien

### *6.2.2.2 Durchführung der Kalibrierung*

Die Kalibrierung der Aufnahmen erfolgt gemäß folgender Vorschrift, wobei unter Dark und Flat die gemittelten Masterdateien zu verstehen sind. $Kalibrierte\ Aufnahme = \frac{M76-Dark}{Flat-Flat\ Dark}$

### *6.2.2.3 Korrektur defekter Spalte der CCD-Kamera*

STX16803 zeigte eine defekte Spalte, die wie folgt korrigiert wird.

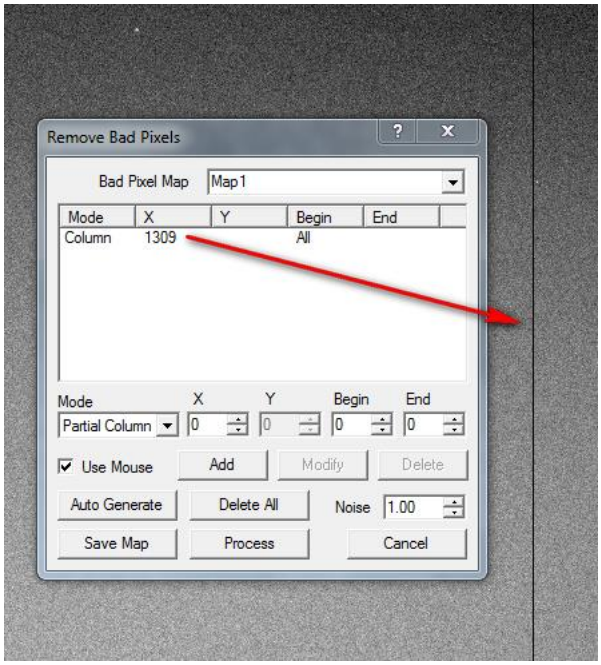



*Abbildung 28 Screenshot Spalt entfernen*

[27] http://maxim-dl.allapp.biz/ Zugriff: 23.05.18

### 6.2.2.4 Stacking

Das Stacking erfolgt in einzelnen Gruppen nach den passenden Filtern.

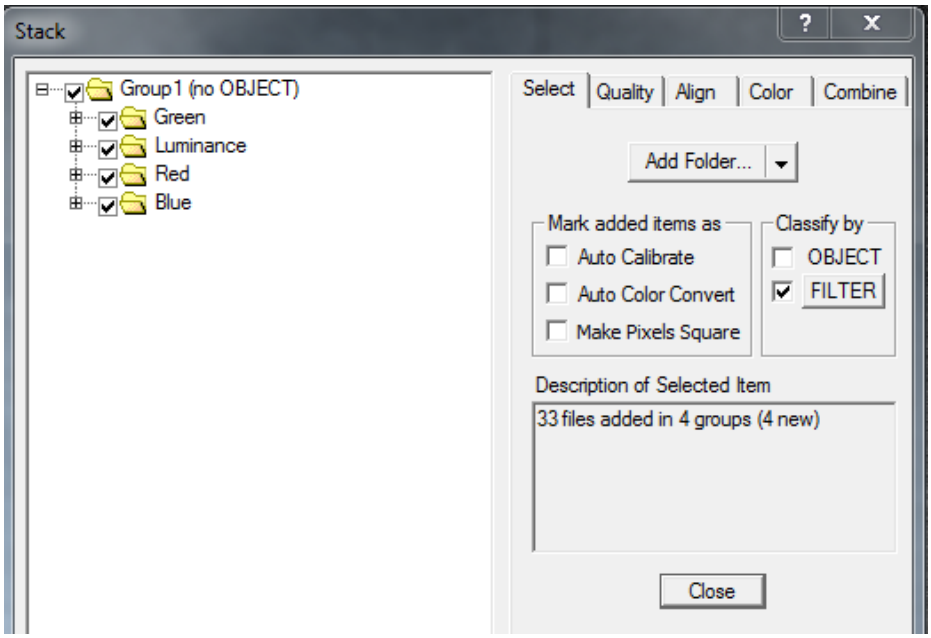



*Abbildung 29 Screenshot Stacking*

### 6.2.2.5 Registrierung

Um die Sterne aufeinander zu legen registrieren wir sie.

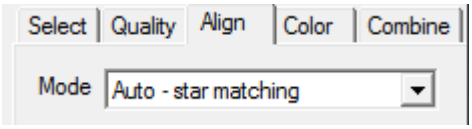



*Abbildung 30 Screenshot Registrierung Sterne*

### 6.2.2.6 Zusammensetzen des LRGB-Farbbildes und Bildung des Mittelwertes

Die LRGB Bilder werden zusammengesetzt zu einem Farbbild. Ein Mittelwert wird gebildet zur Glättung und Verringerung des statischen Rauschens.

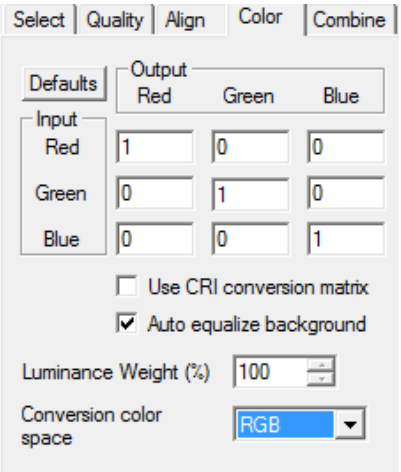



*Abbildung 32 Screenshot LRGB-Bild zusammensetzen*

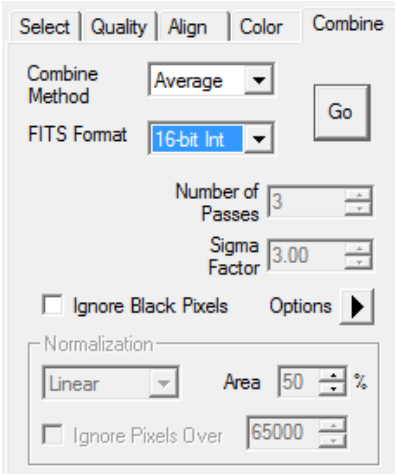



*Abbildung 31 Screenshot Mittelwert Bilden*

### *6.2.2.7 Ergebnis der vorläufigen Arbeit*

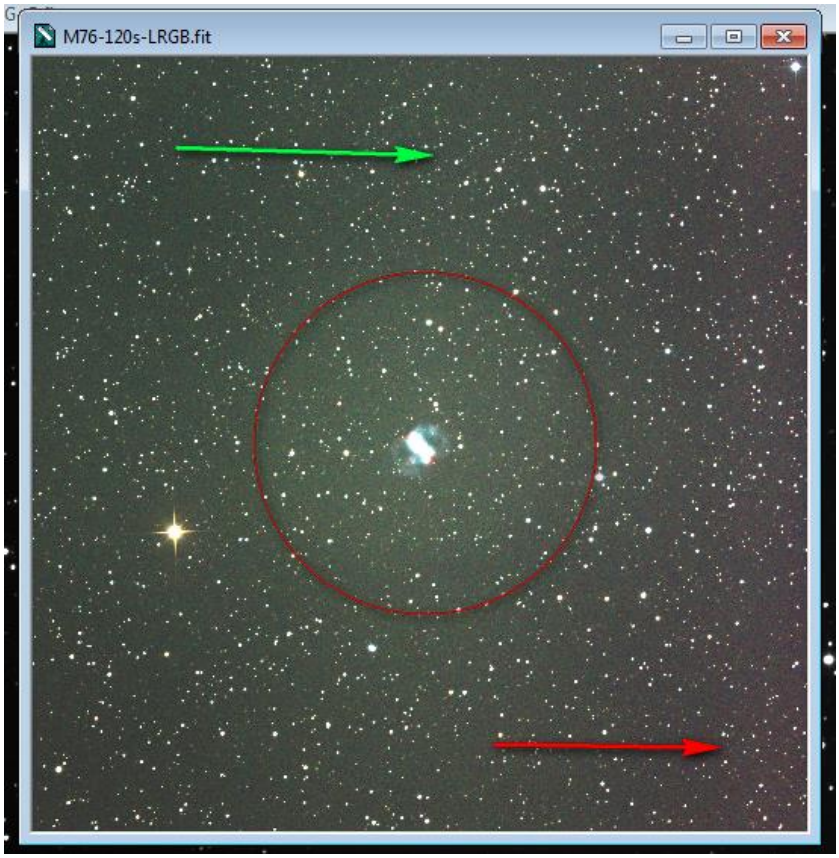



*Abbildung 33 Ergebnis mit vorhandenen Farbgradient*

Vorläufiges Endergebnis mit Farbgradient Rot, Grün

Grüne, rote Pfeile zeigen auf den Farbgradienten, die den Himmel unnatürlich einfärben außerdem ist eine Vignettierung (Randabschattung) zusehen.

Im Folgenden wird beschrieben, wie die unerwünschten Effekte mit Photoshop beseitigt werden.

## 6.2.3 Bildnachbearbeitung mit Photoshop

### *6.2.3.1 Bearbeitung mit Tools*

Wir benutzen zur Bildnachbearbeitung das Programm Photoshop CS3 extended. Als nächstes hellen wir das Bild auf ohne auszubrennen.

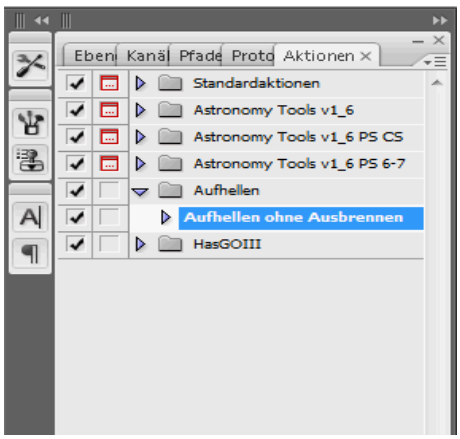



*Abbildung 34 Screenshot Aufhellen der Sterne*

### *6.2.3.2 Entfernen des Helligkeits- und Farbgradienten*

Durch den Gradienten bekommt das Bild einen einheitlich farbigen Hintergrund. Um das Objekt zu

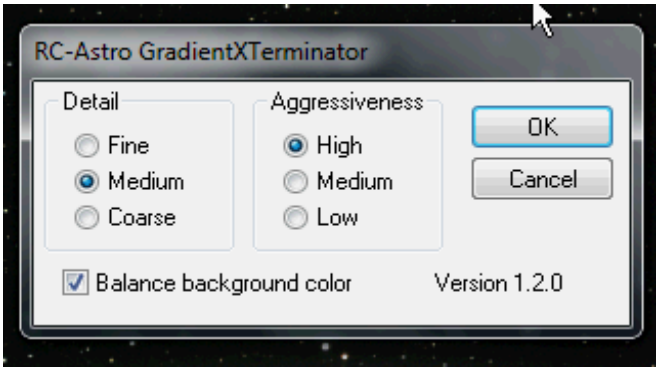



*Abbildung 35 Screenshot GradientXTerminator*

schützen hat man es vorher mit dem Lasso-Werkzeug umrandet.

### *6.2.3.3 Intensität der Sternfarben erhöhen und Sterne schärfen*

Um den Kontrast der Sterne zu erhöhen und ihre Farbe herauszuarbeiten benutzen wir die Aktion Increase Stars. Die Sterne werden geschärft mit Make Stars Smaller.

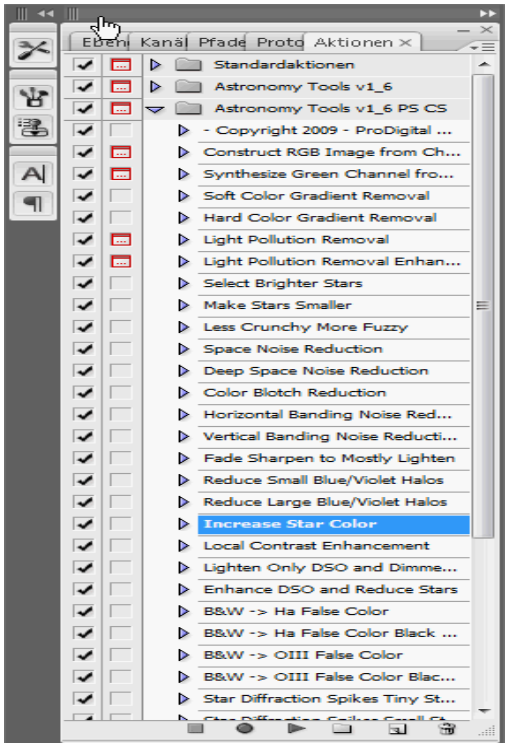



*Abbildung 36 Screenshot Kontrast erhöhen*

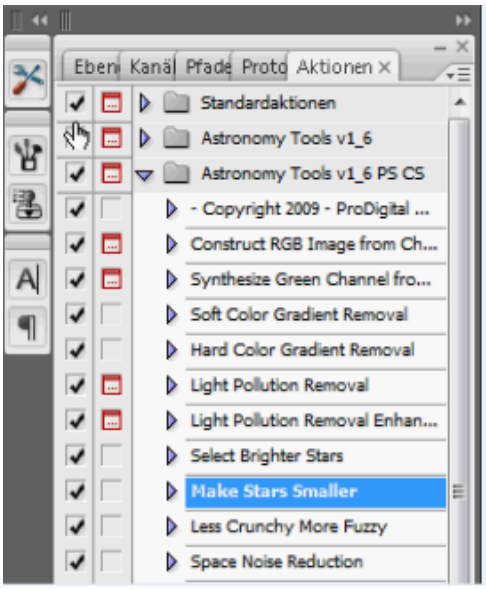



*Abbildung 37 Screenshot Sterne schärfen*

### 6.2.2.4 Unreine Pixel *entfernen*

Die unreinen Pixel, wie z.B. Blaue Pixel werden entfernt und durch Schwarze ersetzt.

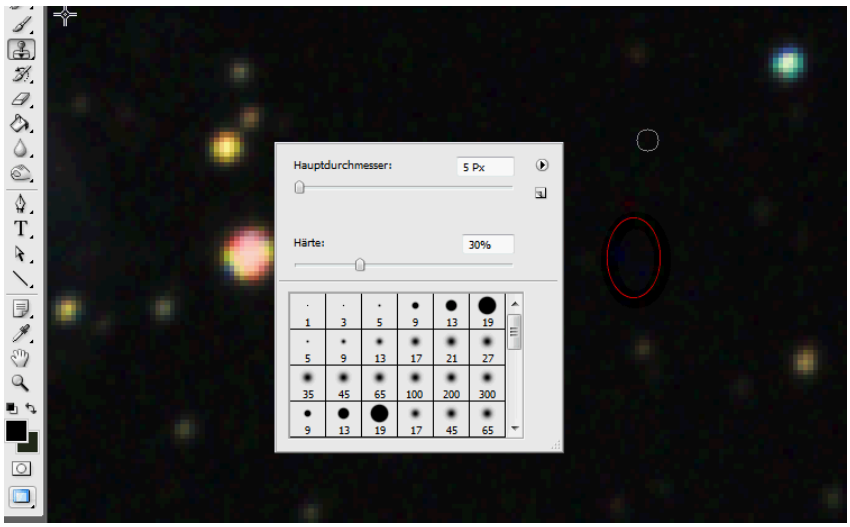



*Abbildung 38 Screenshot Pixel Verbesserung*

## 6.2.4 Bearbeitung mit Excalibrate

### *6.2.4.1 Platesolution*

Nach erster Fertigstellung der Bilder von M76 und M1 haben wir die Farbkalibrierung mit dem Programm „Excalibrate“ durchgeführt. Dazu benutzten wir die fertigen Bilder und teilten sie über Maxim-DL wieder in ihre roten, blauen und grünen Bestandteile. Nun mussten mit Maxim-DL und der Option „PinPoint“ (siehe Abb.39) von jedem Bild die Koordinaten der Objekte also die Mitte des Bildes und das Pixel Scale bestimmt werden, um dann passende Koordinaten zu bekannten Sternen zu finden. Das Resultat nennt man auch Plattenlösung (Platesolution). Die Daten zu den bekannten Sternen nimmt das Programm aus dem GSC-11 Katalog, der auf dem Computer installiert werden

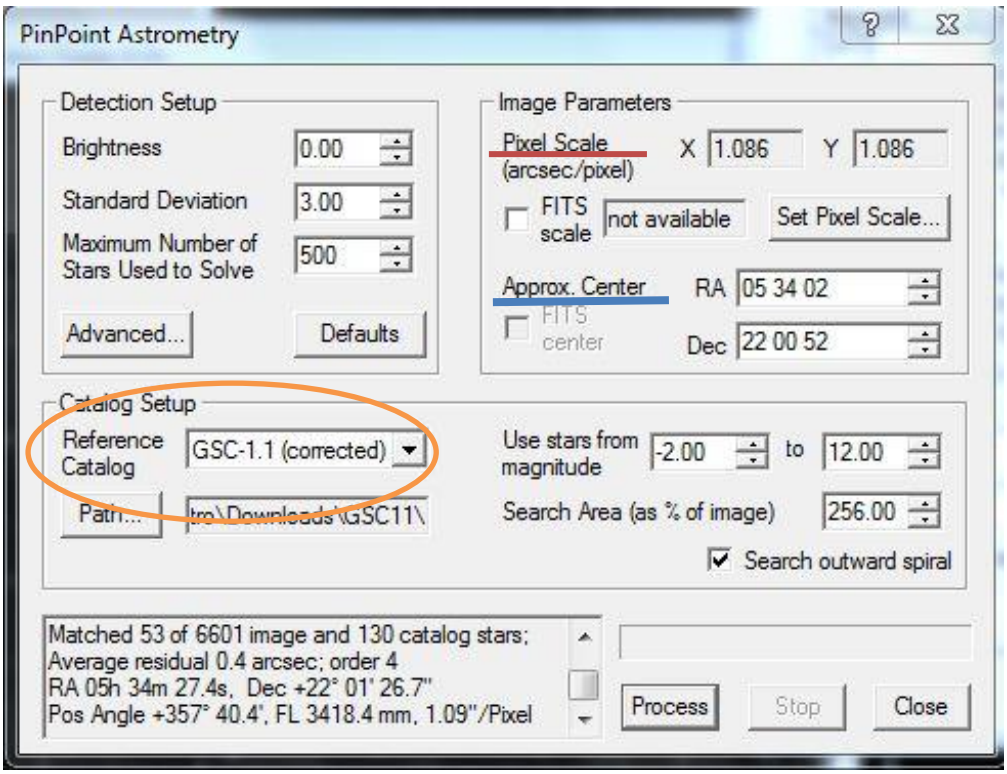



*Abbildung 39 Screenshot Maxim-DL PinPoint - Bearbeitung*

kann. Die vom Programm erfassten Sterne sind nun in den Bildinformationen gespeichert und wichtig für die nächsten Schritte.

### *6.2.4.2 eXcalibrator*

Als nächstes benutzen wir das Programm „eXcalibrator“. Wie in Abbildung 40 dargestellt fügen wir die drei zuvor bearbeiteten Bilder in die passenden Spalten ein. WCS ist das Bild, aus dem die Koordinaten der Objekte mit dem Programm verglichen werden. Das Programm ermittelt dann über einen Katalog via Internet die korrekten Farbanteile des Bildes. Als letzten Schritt müssen wir dann, wie in Abb. 41 ersichtlich, wieder in Maxim-DL mit der Funktion Combine Color ein RGB Bild

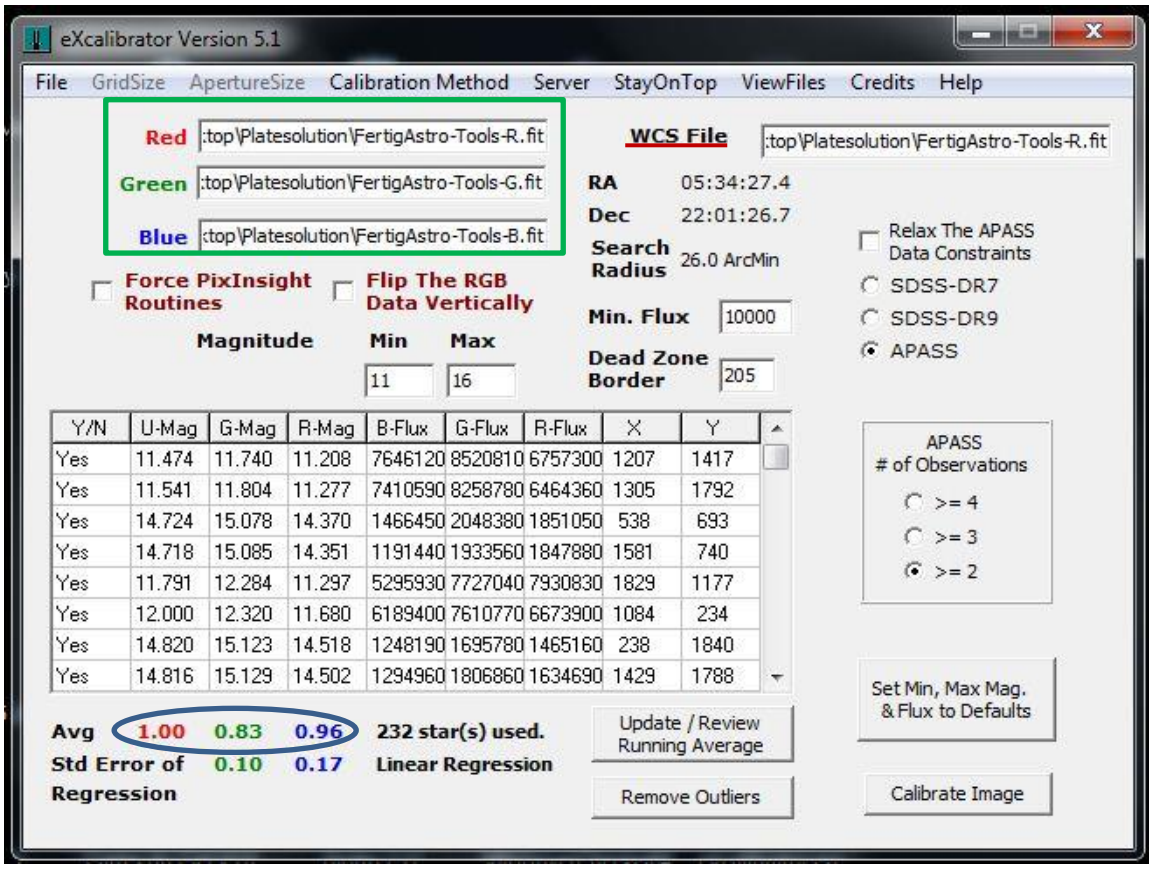
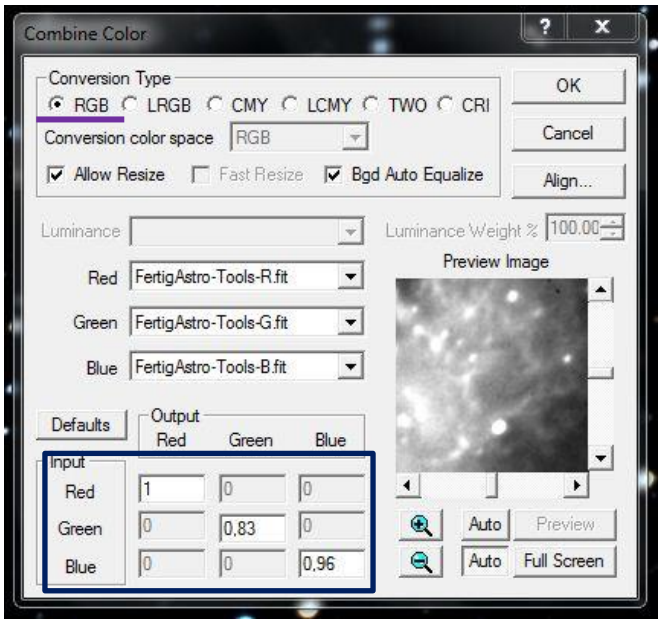



*Abbildung 40 Screenshot eXcalibrator Bearbeitung*

(Farbbild) erstellen. Jedoch tragen wir nun bei Red, Green und Blue die neuen Werte ein.




Daraufhin erhalten wir ein Farbbild mit einer korrekten Farbgebung.

*Abbildung 41 Screenshot Maxim-DL Combine Color Option*

# 7.0 Der Messier – Katalog

## 7.1 Allgemein

Der in Abbildung 42 dargestellte Charles Messier, ein französischer Astronom veröffentlichte erstmals im Jahr 1771 eine nach ihm benannte Auflistung von astronomischen Objekten, wie Galaxien, Sternenhaufen und Nebel. Dieser Messier-Katalog war und ist von großer praktischer Bedeutung für die systematische Erforschung von Galaxien, Nebeln und Sternenhaufen. Der erste Buchstabe seines Nachnamens ist heute untrennbar mit vielen Objekten des Sternenhimmels verbunden. Unter Fachleuten sind die Abkürzungen M1 oder M42 ganz normal und jeder weiß, was sie bedeuten.[28]

*Abbildung 42 Charles Messier http://ridgefielddiscovery.blogspot.de/2013/03/charles-messier-astronomer.html Zugriff.14.04.18*

## 7.2 Leben

Messier wurde am 26. Juni 1730 im französischen Badonviller geboren. Er stammte aus wohlhabenden Verhältnissen. Als er im Alter von 14 Jahren einen hellen sechs-schwänzigen Kometen beobachtete, entdeckte er sein Interesse für die Astronomie. Mit 21 Jahren ging Messier nach Paris. Dort wurde er aufgrund seiner sauberen Handschrift von Nicholas Delisle bei der Marine angestellt. Nicholas Delisle war ein großer Astronom der Marine und er lehrte ihn die Grundlagen der Astronomie und die Notwendigkeit exakter Messungen. Am 6. Mai 1753 ist der Merkurtransit als erste Beobachtung von Messier dokumentiert worden.[29,30]

Um 1758 war es Charles Messiers Aufgabe Kometen aufzuspüren. Er lebte in einer Zeit, als man erkannte, dass Kometen wiederkehren können. Die ganze Welt wartete auf das Erscheinen des Halleyschen Kometen. Sein Auftauchen zum vorberechneten Zeitraum und Himmelsabschnitt würde die Theorie dieser Wiederkehr beweisen.[29,30]

Insgesamt entdeckte Charles Messier bis zum Jahr 1801 20 Kometen, davon war er bei 13 Kometen der Erstentdecker. Bei der Suche nach neuen Kometen sah er Himmelsobjekte, die im ersten Moment so nebelig und diffus aussahen wie ein Komet, sich aber nicht von der Stelle bewegten. Um sich die Suche nach Kometen zu erleichtern und Verwechselungen auszuschließen, begann Messier diese Nicht-Kometen in einen Katalog einzutragen. Er verzeichnete die Position und die sichtbaren Eigenschaften. Katalognummer 1 = M1 erhielt der Krebsnebel im Sternbild Stier. Weitere Objekte wurden in der Reihenfolge ihrer Aufnahme durchnummeriert, z.B. M76 steht für den von uns Dokumentierten kleinen Hantelnebel.

Die erste Veröffentlichung des Kataloges im Jahr 1771 listete 45 Objekte auf. Danach arbeitet er unter anderem mit Pierre Méchain zusammen und es kamen neue Einträge hinzu. Im Jahr 1780 waren es 68 Einträge. Im September 1782 entdeckte Méchain das 107. Messier-Objekt.[28,29,30]

Messier verwendete unterschiedliche Teleskope, darunter Fernrohre mit Brennweiten von bis zu sieben Metern und Reflektoren mit Spiegeldurchmessern von bis zu 20 cm Öffnung.

---

[28] https://de.wikipedia.org/wiki/Messier-Katalog Zugriff: 14.04.2018
[29] https://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Messier Zugriff: 14.04.2018
[30] https://astrokramkiste.de/messier Zugriff: 14.04.2018

Der Katalog enthält ganz verschiedene Himmelsobjekte: offene Sternhaufen, Kugelsternhaufen, Galaxien und Planetarische Nebel. Die meisten Objekte sind mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen. Einige Objekte sind spektakulär schöne Gebilde mit außergewöhnlicher Farb- und Formgebung.

Der Messier-Katalog war nicht der erster dieser Art, aber er war der erste Katalog, der vollständig und fehlerfrei war und für praktische Beobachtungen eingesetzt werden konnte.

Es gibt höchstens einen Fehleintrag. So soll es sich bei M102 um eine fehlerhafte zweite Ausführung von M101 handeln. Die Natur der katalogisierten Objekte war damals noch unklar und wurde später erst erforscht. Allgemein wurden in dem Katalog nur die auf der Nordhalbkugel sichtbaren Objekte berücksichtigt.[28,30,31]

Charles Messier ist 1815 im Alter von 87 Jahren in Paris gestorben. Am Ende seines Lebens beobachtete er nur noch selten, da er immer schlechter sehen konnte. Mit Hilfe von Freunden sah er seinen letzten Kometen im Jahr 1807.[30]

Im Frühjahr hat man die Gelegenheit in einer einzigen Nacht fast alle Messier-Objekte beobachten zu können.[30]

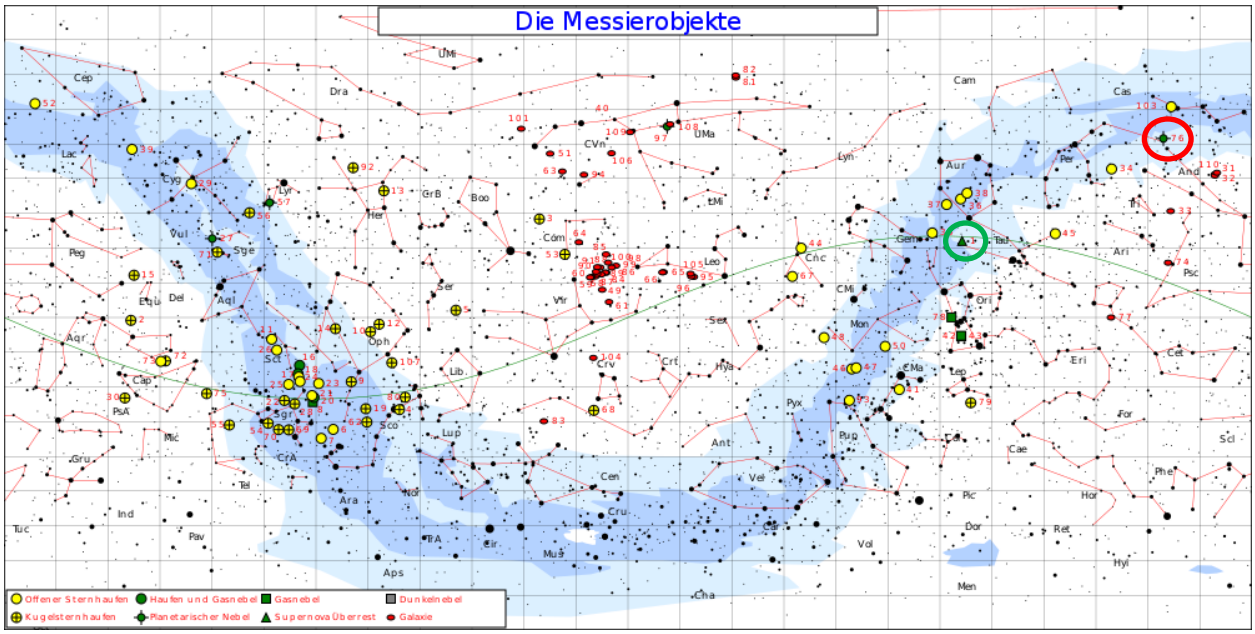



*Abbildung 43 Messier Objekte Übersichtskarte https://de.wikipedia.org/wiki/Messier-Katalog*

Der Rote Kreis umfasst den Planetarischen Nebel M76. Der Grüne Kreis umkreist den Supernova-Überrest M1. Im Folgenden werden wir die Objekte genauer erklären. (Siehe Abb. 43)

[28]https://de.wikipedia.org/wiki/Messier-Katalog Zugriff: 14.04.2018

[31] https://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Messier Zugriff: 14.04.2018

[30] https://astrokramkiste.de/messier Zugriff: 14.04.18

# 8.0 M1- Der Krebsnebel

## 8.1 Allgemeine Informationen

Dieser Supernova-Überrest ist einer der bekanntesten Überreste und einer der meist untersuchten und fotografierten Objekte am Nachthimmel.
Der Krebsnebel auch als NGC 1952 oder M1 bekannt, befindet sich im Sternbild Stier. Er ist ein Supernova Überrest, hat eine Ausdehnung von 6 x 4´. Der Nebel hat eine Helligkeit von $8^m$,4. Man kann den Krebsnebel am besten in den Winternächten beobachten und ist -1,5° von der Ekliptik[31] der Erdbahn entfernt.

Seine netzartigen Strukturen sind chaotisch verlaufende Filamente, die aus der abstoßenden Materie des Neutronensternes stammen. Von diesen kann man ein Linienspektrum nehmen, aus der die chemischen Bestandteile der Materie abgeleitet werden können. Die rote Farbe dominiert, dies sind Wasserstoff Hα Linien und kommen in den meisten Gasnebeln vor. Die Filamente expandieren im Laufe der Jahre, was auf das Explosionsjahr zurückschließen lässt. Die Supernova soll vor ca. 900 Jahren geschehen sein. Da der Stern 6300 LJ.[32] von der Erde entfernt ist, liegt das Ereignis bis zu 7200 Jahre zurück.[33]

## 8.2 Entdeckung

Im Jahre 1054 berichten viele Aufzeichnungen[34], von „einer hellen Scheibe am Nachthimmel“, die südöstlich des Sterns Zeta Tauri erschien als „Gas Stern“. Man konnte diese laut chinesischen Aufzeichnungen[35] etwa 23 Tage am Tageshimmel beobachten. Zudem war „die helle Scheibe“ etwa so hell wie die Venus und 1 Jahr am Nachthimmel zu sehen.
Schließlich entdeckte John Bevis, ein englischer Amateurastronom und Arzt 1731 den Supernova Überrest.
27 Jahre später entdeckte Messier bei einer Kometenbeobachtung den Überrest, danach begann er seinen Katalog zu den Messier Objekten zu schreiben.
Seinen Namen bekam der Krebsnebel im Jahre 1844 durch den irischen Astronomen William Parsons den 3., Earl of Rosse, denn ihn erinnerten die Nebelfilamente an die Beine eines Krebses.

---

[31] Die scheinbare Bahn der Sonne
[32] Lichtjahre
[33] Quelle: Siehe Anhang
[34] Bis zu 13 Stück berichten in diesem Zeitraum von so einem Objekt
[35] Von einem Hofastronomen

Erstmals wurde der Nebel im Jahre 1882 fotografiert, dadurch entdeckten die Astronomen, dass der Nebel kein Sternhaufen, sondern eine Masse von Gas ist. Schließlich wurde durch den Vergleich von Bildern herausgefunden, dass der Nebel expandiert. Daraus konnte man die Geburt des Nebels berechnen und sich aus den Berechnungen auf, die im Jahr 1054 geschriebenen Aufzeichnungen beziehen.

Wasserstoff Hα Linien, diese kommen in den meisten Gasnebeln vor. Die Filamente expandieren im Laufe der Jahre, daraus konnte man auf das Explosionsjahr zurückschließen. Die Supernova soll ca. vor 900 Jahren geschehen sein.
Da der Stern jedoch 6300 LJ.[36] von der Erde entfernt ist, liegt die Entstehung bis zu 7200 Jahre zurück.[37]

## 8.3 Entstehung

Der Krebsnebel ist durch eine Supernova Typs II entstanden, die von einem 8-12 sonnenmassigen Stern ausging. [38]

## 8.4 Expansion des Nebels

Im Verlauf der Zeit dehnt sich der Nebel immer weiter aus und wird immer schwächer. Man kann dies gut erkennen, wenn man Bilder mit einer großen Zeitdifferenz vergleicht. Der Nebel dehnt sich in 0,22 Bogensekunden im Jahr aus.[39]

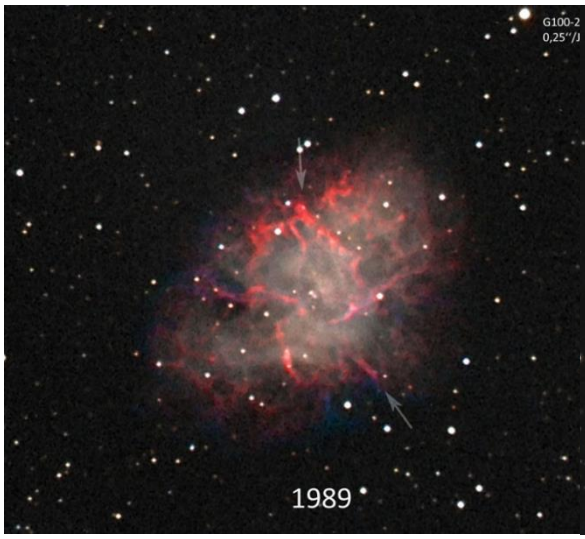



*Abbildung 46 Aufnahme: Bernd Koch Sörth/Westerwald*
*Datum: 28.11.1989 22:12:30*

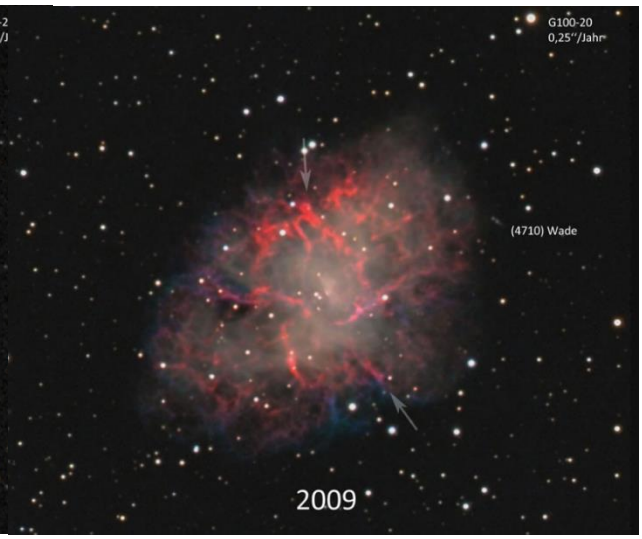



*Abbildung 45 Aufnahme: Bernd Koch Sörth/Westerwald*
*Datum: 29.01.2009 18:34:48*

[36] Lichtjahre
[37] Quelle: PDF Krebsnebel von Bernd Koch
[38] Siehe: S. 10
[39] https://de.wikipedia.org/wiki/Krebsnebel Zugriff: 24.03.18

## 8.5 Der Pulsar-Nebel

Im Krebsnebel befinden sich zwei Sterne, einer von ihnen ist der Ursprungsstern.

### 8.5.6 Entdeckung des Pulsar Nebels

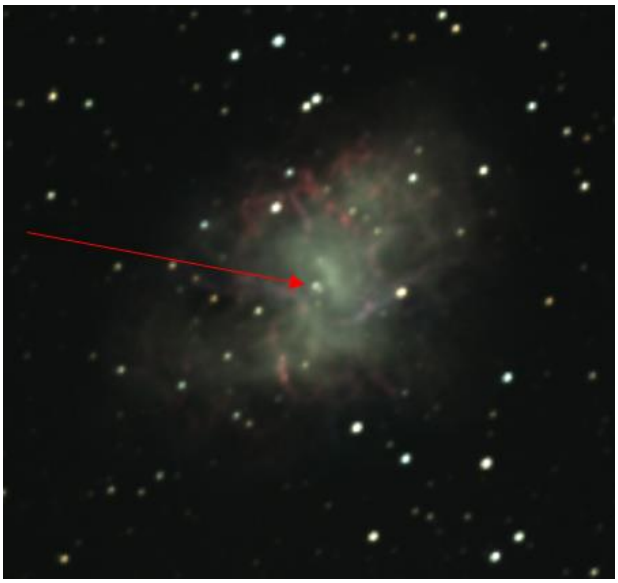


*Abbildung 47 Fotografiert am CFG Datum: 14.01.18 Roter Pfeil weist auf den Pulsar PSR 0531+21*

Rudoplh Minkowski entdeckte 1942, dass der Krebsnebel ein ungewöhnliches Spektrum aufweist. 7 Jahre später entdeckte er im Krebsnebel eine Starke Quelle für Radiowellen.

1963 entdeckte man auch Röntgenstrahlen.

1968 haben die Astronomen im Innersten des Krebsnebels einen Neutronenstern entdeckt sowie Gamma-Strahlung.

Schließlich stellte man fest, dass die Strahlen in Impulsen ausgesendet werden. Dies lässt auf einen Pulsar Stern schließen. Dieser Stern ist der PSR 0531+21.(Siehe Abb. 47)[37]

## 8.6 PSR 0531+21

PSR 0531+21 auch als „Crab Pulsar (Krebspulsar)“ bekannt, ist ein Neutronenstern der ungefähr im Jahre 1054 n. Chr. durch eine kosmische Explosion entstanden ist. Er hat einen Durchmesser von 25 Kilometern und eine Masse von einer Million Erden (5,972 × $10^{30}$ kg). Der Stern rotiert 30mal pro Sekunde um die eigene Achse und hat ein Magnetfeld, das 1.000 Milliarden Mal stärker ist als das unserer Erde. Er emittiert[40] Radiowellen, die bei jeder Umdrehung Gammastrahlungspulse mit Energien von über 400 Gigaelektronenvolt entstehen lassen. Dies ist mehr als das 50-fache der theoretisch vorhergesagten maximalen Energie. Diese Gamma-Pulse haben eine enorme Energie und sind gleichzeitig mit einer Millisekunde unerwartet kurz. Da man bisher immer nur eins von beidem erklären konnte, hoffen die Forscher, dass weitere Beobachtungen neue Informationen über die physikalischen Prozesse liefern werden, die die Entstehung dieser Gammastrahlung erklären.[41,42]

*Abbildung 48 Der Pulsar im Inneren des Krebsnebels - Komposit aus einer optischen Aufnahme von Hubble mit einer Röntgenaufnahme von Chandra. Zugriff: 23.05.18*

[40] aussenden/ausstrahlen

[41] https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2012/kraftwerk-im-krebsnebel-pulsar-ueberrascht-mit-extrem-hohen-energien/ Zugriff: 22.05.2018

Darüber hinaus wurde bei diesem 22 Jahre langen fast täglichen Beobachtungsexperiment von der „University of Manchester“ eine permanente Veränderung in diesen Pulsen entdeckt. Das Leuchten oder der Puls tritt paarweise auf und die neuen Beobachtungen zeigen, dass der räumliche Abstand dieser Paare um 0,6 Grad pro Jahrhundert zunimmt. Da dies für die Wissenschaftler eine unerwartete Veränderung ist, vermuten sie, dass der magnetische Pol in Richtung Äquator wandert. Der Krebspulsar ist für die Wissenschaftler von besonderer Bedeutung, da er unter anderem aufgrund seiner Sichtbarkeit im gesamten elektromagnetischen Spektrum wichtige Hinweise geben kann, wie Pulsare leuchten und warum sie mit der Zeit langsamer werden.[43,44]

[42] https://en.wikipedia.org/wiki/Crab_Pulsar Zugriff: 22.05.2018
[43] https://www.astropage.eu/2013/11/04/neue-erkenntnisse-ueber-den-jungen-pulsar-im-krebsnebel/ Zugriff: 22.05.2018
[44] http://www.manchester.ac.uk/discover/news/article/?id=10990 Zugriff: 22.05.2018

# 9.0 M76 –Kleiner Hantelnebel

## 9.1 Allgemein

Der Kleine Hantel Nebel auch als Messier 76 oder NGC 650 bekannt, ist ein Planetarischer Nebel im Sternbild Perseus. Dieses Sternbild ist in unseren Breiten meist das ganze Jahr über zu sehen, kann aber in den Herbst- und Wintermonaten am besten beobachtet werden. Seinen Namen erhielt das Sternbild vom griechischen Helden Perseus. Es ist ein Sternbild des Nordhimmels und liegt in der Milchstraße.[45]

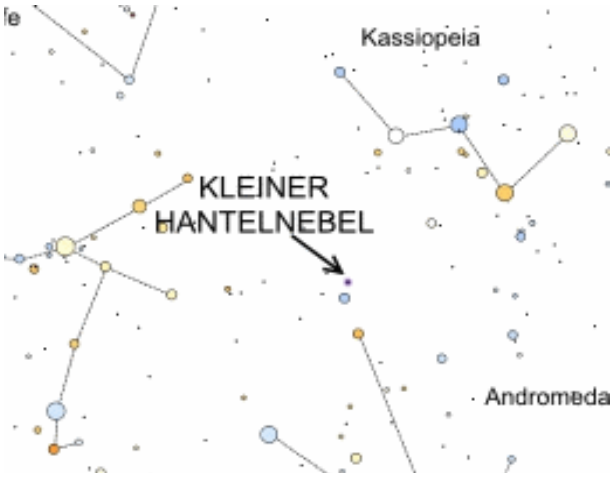



*Abbildung 49 Blick Richtung Süden Mitte November um 21 Uhr Sternwarte Eberfing Zugriff: 03.04.18*

## 9.2 Erscheinungsbild

Der innere Bereich des Nebels misst 1,45' × 0,7' Bogenminuten und ist auch unter dem Namen „Korken“ bekannt. Eine Bogenminute ist eine Einheit, um die Größe von Winkeln im Gradmaß anzugeben. Eine Bogenminute hat 60 Bogensekunden und 3600 Bogensekunden ergeben ein Grad. In der Astronomie bestimmt diese Einheit die scheinbare Größe eines Himmelskörpers.[46]

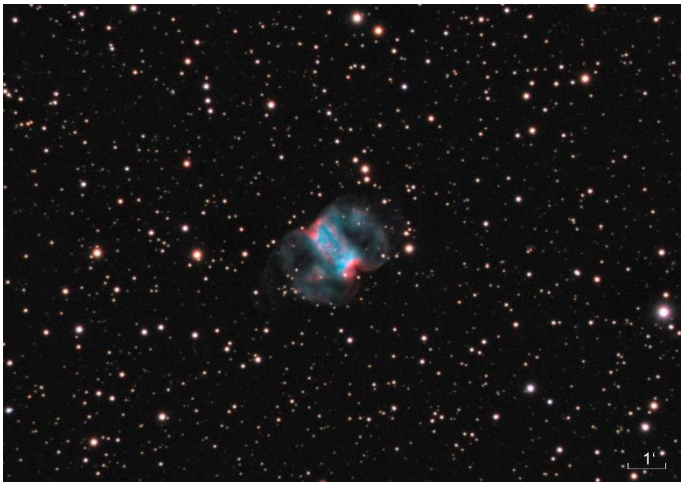


*Abbildung 50 Der Kleine Hantelnebel fotografiert am CFG Datum: 14.01.18*

Seine äußeren Bereiche haben ungefähr die doppelte Ausdehnung. Der Kernbereich leuchtet heller als die Außenbereiche. Die gesamte Form des scheinbar 10,10 mag hellen Nebels erinnert an eine Hantel oder auch an einen Schmetterling. Folglich wird er als kleiner Hantelnebel oder auch Schmetterlingsnebel bezeichnet. Um den Nebel herum befindet sich ein Halo, dessen Gasmaterial bereits in der Phase als Roter Riese abgegeben

[45] https://de.wikipedia.org/wiki/Perseus_(Sternbild) Zugriff: 03.04.2018
[46] https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/bogenminute/49 Zugriff: 03.04.2018

wurde. Seine Größe umfasst ca. 4,8 Bogenminuten. Der Nebel ist ungefähr 3.400 Lichtjahre entfernt und misst eine Winkelausdehnung von 2,7′ × 1,8′ Bogenminuten.[47]

Auffällig ist der Stern im Zentrum des Korkens und bei genauem Hinsehen sieht man, dass es zwei Sterne direkt nebeneinander sind, ein so genanntes Doppelsternsystem. Anfangs ging man von einem Doppelstern aus, jedoch befindet sich der südlichere ungefähr 20.000 Lichtjahre hinter dem Nebel. Somit liegt hier ein so genanntes optisches Doppelsternsystem mit einer Distanz von 1,4 Bogensekunden vor. Dieser Fakt der zwei Sterne wurde durch Aufnahmen mit dem Hubble-Weltraumteleskop entdeckt.[47]

## 9.3 Entdeckung

Der kleine Hantelnebel wurde am 5. September 1780 von dem französischen Astronom Pierre Méchain entdeckt.

*Abbildung 51 Postumes Porträt Pierre Méchains, 1824 https://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Méchain Zugriff: 03.03.18*

Der in Abbildung 51 dargestellte Pierre Méchain wurde am 16. August 1744 in Frankreich geboren und verstarb am 20. September 1804 in Spanien. Er entdeckte unteranderem acht Kometen und 26 Objekte außerhalb des Sonnensystems. Außerdem nahm er an einer Expedition teil, die zur Definition des Meters diente. Er studierte Mathe und Physik, musste dies jedoch wegen finanzieller Probleme abbrechen. Daraufhin arbeitete Méchain bei der Marine. Hier lernte er Charles Messier kennen, der ihn in die Astronomie einführte. Méchain suchte wie Messier nach Kometen und gab dabei die unbekannten nebeligen Objekte, die er auf der Suche nach Kometen entdeckte, an ihn weiter. Messier überprüfte diese Objekte und trug sie in seinen Katalog ein. Seinen ersten Kometen entdeckte Pierre Méchian 1781. Im Laufe der Zeit entdeckte Méchain 26 Deep-Sky Objekte, wie zum Beispiel den Kugelsternhaufen M80, die Galaxien M102 und M103 und darüber hinaus den kleinen Hantelnebel M 76. Im Jahr 1782 erhielt Méchain den Preis der Akademie der Wissenschaft und wurde daraufhin auch deren Mitglied. 1785 brachte Méchain zum ersten Mal die Zeitschrift „Connaissance des Temps“ heraus, die auch den Messier Katalog veröffentlichte. Am 26. Dezember 1799 entdeckte er seinen letzten Kometen später um 1804 erkrankte er an Gelbfieber und starb schließlich daran.[48]

[47] https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kleiner_Hantelnebel Zugriff: 03.04.2018
[48] https://de.wikipedia.org/wiki/Pierre_Méchain Zugriff: 19.05.2018

# 10.0 Fazit

Abschließend können wir beurteilen, dass unsere Erwartungen vollends erfüllt worden sind, denn wir konnten unser Wissen erweitern und unseren Interessen nachgehen. Die praktische Arbeit war etwas Neues, da dies nicht dem typischen Unterricht entspricht. Wir haben gelernt Deep-Sky Objekte zu fotografieren und zu bearbeiten, diese Erfahrung war beeindruckend. Wir haben uns mit Supernova/ Supernova-Überresten und Planetarischen Nebel auseinandergesetzt. Diese Objekte, deren Unterschiede und Eigenschaften, können wir jetzt auch erklären. Außerdem haben wir gelernt wie man sich über die fotografierten (bei uns M1, M76) Objekte informiert.

Leider hatten wir keine Zeit mehr den M1 zu spektroskopieren, das wollen wir nächstes Jahr nachholen.

Wir sind sehr zufrieden mit diesem Projektkurs, denn die Arbeit hat uns sehr viel Spaß gemacht und das Faszinierende an der Astronomie wurde uns nahgebracht.

# 11.0 Anhang

## 11.1 Danksagung

Zum Ende hin wollen wir uns bei allen bedanken, die es überhaupt erst möglich gemacht haben einen solchen Projektkurs am Carl-Fuhlrott Gymnasium anzubieten. Der größte Danke geht natürlich an Herrn Bernd Koch unseren Kursleiter, der uns bei unserer Arbeit stetig unterstützt hat und uns das nötige Wissen vermittelt hat.

## 12.0 Abschlusserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben. Die verwendeten Informationen aus dem Internet sind als PDF auf einer CD am Ende der Facharbeit beigefügt.

Wir sind damit einverstanden, dass die von uns verfasste Projektarbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

| | |
|---|---|
| _____ | _____ |
| Franka Stallmann 30.05.18 | Philip Weinem 30.05.18 |