Neutronensterne und Schwarze Löcher: Endstadien der Entwicklung massereicher Sterne

Projektarbeit Astronomie 2021/2022

Ali Eren Varisli

Jahrgangsstufe Q1
Städtisches Gymnasium Vohwinkel

Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie 2021/2022
am CFG Wuppertal unter der Kursleitung von Bernd Koch

Abgabedatum: 16.05.2022

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung....1
2 Sterne....3
2.1 Historie der Sterne....3
2.2 Zusammensetzung von Sternen....4
2.3 Hertzsprung-Russel-Diagramm....4
Sternentstehung....5
2.5 Endstadien der Sternentwicklung....6
3 Neutronensterne und schwarze Löcher....8
3.1 Neutronensterne....8
3.2 Schwarze Löcher....9
3.3 Neutronenstern-Schwarzes-Loch-Systeme....12
4 Der Krebsnebel M1....13
4.1 Historischer Kontext....13
4.2 Allgemeine Informationen über den Krebsnebel....14
4.3 Der Zeitpunkt der Supernova....14
4.4 Ausrüstung....17
4.4.1 Teleskop....17
4.4.2 Filter....19
4.4.3 Kamera....20
4.5 Die Beobachtung des Krebsnebels M1....21
4.5.1 Das Beobachtungsziel....21
4.5.2 Beobachtungsablauf....21
4.6 Bildbearbeitung....23
4.6.1 Stacking mit Deep-Sky-Stacker....23
4.6.2 Photoshop....26
5 Auswertung der Ergebnisse....28
5.1 Ausbreitung des Krebsnebels anhand einzelner Filamente erkennen....28
5.2 Messung des Zeitpunkts der Supernova des Krebsnebels....32
5.3 Diskussion der Ergebnisse....34
6 Fazit....36
7 Danksagung....36
8 Abschlusserklärung....37
9 Anhang....37

1 Einleitung

Die Naturwissenschaften begeistern mich schon seit Jahren. Ich wollte schon immer wissen, wie und warum natürliche und unnatürliche Vorgänge ablaufen. Besonders faszinierte mich jedoch die Astrophysik und der Nachthimmel, der so nah erscheint, doch noch so fern ist. Doch meines Wissens nach gab es in meiner Umgebung keine Sternwarte und kein Angebot für Jugendliche meines Alters, dieser Leidenschaft nachzugehen.

Aus diesem Grund war ich im Frühling des letzten Jahres umso mehr erfreut, als mein ehemaliger Physiklehrer in der Erprobungsstufe am Gymnasium Vohwinkel meinem Kurs mitteilte, dass dieses Jahr wieder ein Astronomiekurs am Carl-Fuhlrott-Gymnasium mit eigener Sternwarte stattfinden sollte.

Abbildung 1: Carl-Fuhlrott-Gymnasium von außen

Ich schrieb mich sofort für die Informations-Konferez Herrn Kochs ein, um mir ein Bild des genannten Kurses zu bilden, und beschloss unmittelbar danach, mich für diesen Kurs einzuschreiben, um sowohl meine Fähigkeiten als auch mein Wissen zu fordern und zu fördern.

1.Einleitung

Neutronensterne und Schwarze Löcher sind zweifellos eine der bekanntesten und interessantesten Objekte am Nachthimmel. Sie finden sowohl unter Unterhaltungsmedien als auch in populärwissenschaftlichen Zusammenhängen sehr oft einen Platz. Zudem stehen sie in unmittelbarer Relation mit den wohl bekanntesten Himmelskörpern unseres Universums – den Sternen. Doch wie verwandeln sich Sterne in diese unheimlichen und dennoch faszinierenden Objekte in unserem Kosmos? Um mich mit dieser Frage zu beschäftigen, habe ich mich entschieden, mich in der vorliegenden Arbeit mit massereichen Sternen und ihren Entwicklungen zu Neutronensternen, Schwarzen Löchern und Schwarzes-Loch-Neutronenstern-Systemen, welche erst zwei Jahre vor der Verfassung dieser Arbeit entdeckt wurden, auseinanderzusetzen.

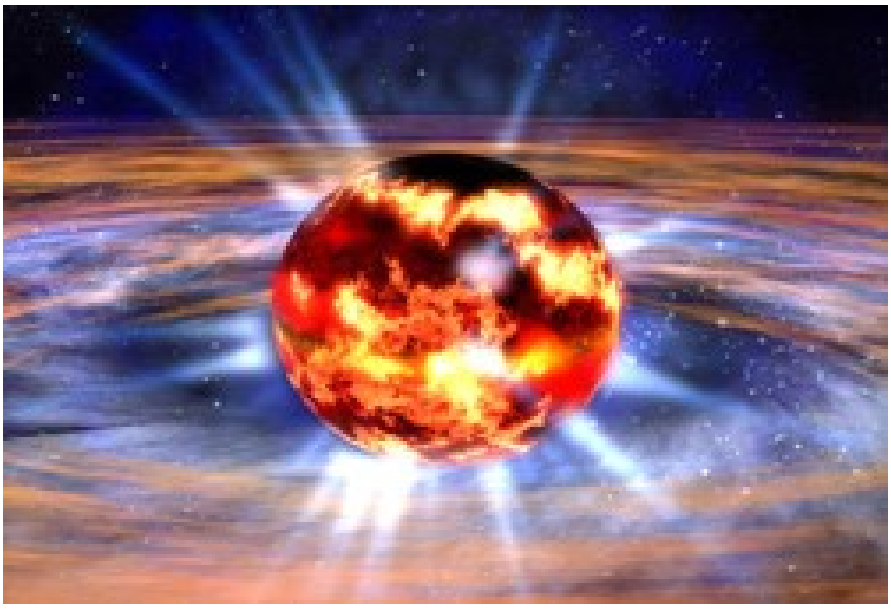

Abbildung 2: Bild eines Sterns am Ende seiner Lebenszeit

2 Sterne

2.1 Historie der Sterne

Sterne sind zweifellos einer der bekanntesten astronomischen Himmelskörper. Aufgrund der Tatsache, dass sie mit dem bloßen Auge zu erkennen sind, kann man sehr wohl annehmen, dass sich schon die ersten Menschen über ihre Existenz bewusst waren.

Je mehr sich die Menschheit entwickelte, desto mehr entwickelte sich ihre Auffassung zu Sternen. Einige Völker erkannten schon vor ein paar Jahrtausenden, dass Sterne auffällige Gruppierungen bildeten, deuteten diese Sternbilder jeweils auf ihre eigene Art und Weise und spiegelten bspw. Tiere, Geschichten oder Figuren aus ihren Mythologien wieder. Hierbei fiel vielen Völkern auf, dass die Sichtbarkeit fast aller Sternbilder jahreszeitlich gebunden war, was dazu führte, dass Sterne zu Wegweisern durch den Jahreslauf wurden. [1]

Während manche Menschen versuchten, die Sterne bzw. die Sternbilder zu deuten und aus ihnen eine Kohärenz zu ihrem Leben abzuleiten oder durch die Sternbilder ihre Zukunft zu deuten, beschäftigten sich andere mit den Zusammenhängen im Weltall zwischen den Sternen und anderen Himmelskörpern im Kosmos auf eine weniger spirituale und mehr wissenschaftliche Art. Aufgrund dieser Ansätze spaltete sich die Beobachtung des Himmels in zwei Bereiche, in die Astrologie, der Deutung von Bewegungen von Himmelskörpern im irdischen Kontext, und in die Astronomie, der Wissenschaft von Himmelskörpern.

Abbildung 3: Bildliche Darstellung der Astronomie und der Astrologie

1 https://www.grin.com/document/103188

2.2 Zusammensetzung von Sternen

Sterne bestehen aus ionisierten Gasen wie Helium und Wasserstoff, welche aufgrund der hohen Temperaturen im Sterninneren zu Helium- und Wasserstoffionen ionisieren, weshalb ein Stern zu 98% - 99% aus Plasma besteht. Bei den restlichen 1 bis 2% handelt es sich um weitere ionisierte Gase, die je nach Stern unterschiedlich sind.

2.3 Hertzsprung-Russell-Diagramm

Um unterschiedliche Sterne zu differenzieren, unterteilt man sie in Spektralklassen. Diese Unterteilung hängt mit ihren Oberflächentemperaturen und somit auch mit ihrer Leuchtkraft bzw. mit den Farben, in denen sie leuchten, zusammen. Dieser Zusammenhang zwischen der Leuchtkraft und der Spektralklasse von Sternen wurde im Jahr 1910 von den Astronomen Ejnar Hertzsprung (1873-1967) und Henry Norris Russell (1877-1957) mit den damals vorhandenen Messwerten von Sternen zum ersten Mal in einem Diagramm zusammengefasst.[2]

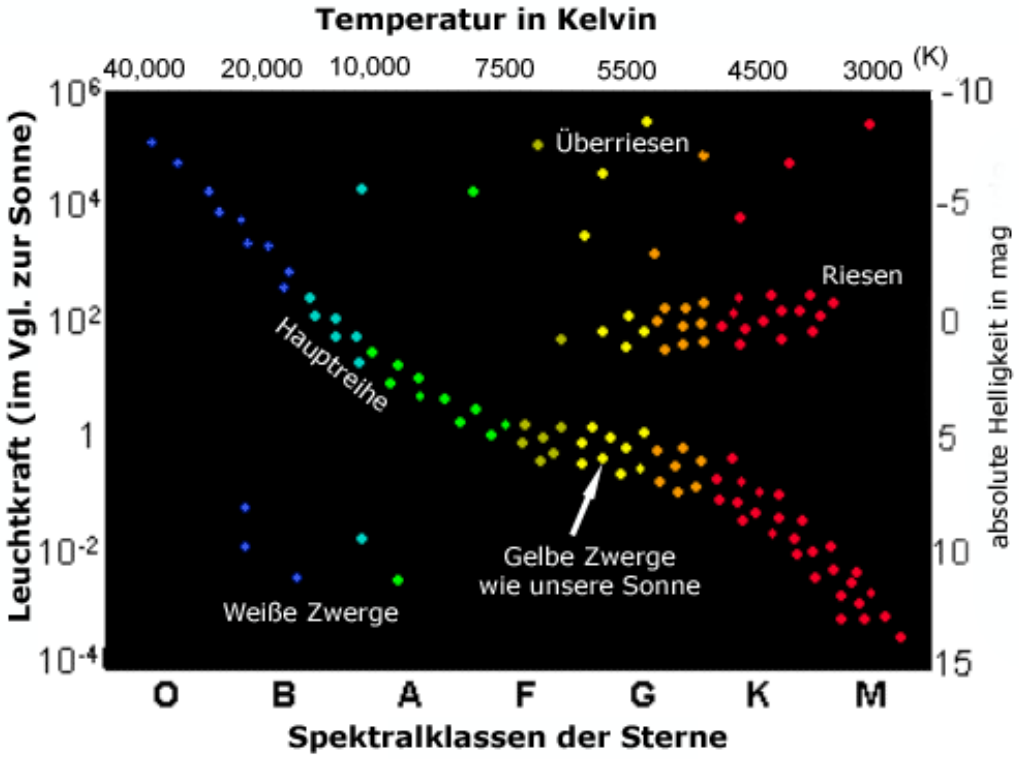

Abbildung 4: Abbildung des Hertzsprung-Russell-Diagramm

2 Metzler Physik 12 Astrophysik, Ausgabe Bayern, Druck A/ Jahr 2012, S.94 f.

Beim Hertzsprung-Russell-Diagramm steht die X-Achse für die Spektralklassen der Sterne als Temperaturindikator und die Y-Achse für die Leuchtkraft der jeweiligen Sterne. Beim betrachten des Diagramms ist eindeutig zu erkennen, dass die Verteilung der Sterne nicht zufällig angeordnet sind, sondern nach einem bestimmten Schema verlaufen. Insbesondere fällt auf, dass die meisten Sterne auf einem Streifen von oben links nach unten rechts verläuft. Dieser streifen wird als Hauptreihe bezeichnet. Auf diesem Streifen liegen alle Sterne, die ihre Energie aus dem Wasserstoffbrennen erhalten wie unter anderem unsere Sonne. Unter der Hauptreihe befinden sich die weißen Zwerge . Darüber hinaus zweigt ein Streifen von der Hauptreihe nach rechts oben ab. Auf diesem abzweigendem Streifen liegen die Riesen und über diesem Streifen befinden sich die Überriesen, zu denen auch der Polarstern gehört.

2.4

Sternentstehung

Sterne entstehen in den dichtesten und kältesten Regionen von Molekülwolken, die aus interstellarer Materie bestehen. Diese Wolken besitzen meist eine Masse von bis zu 1 Mio. Sonnenmassen, Teilchendichten von etwa 100 Teilchen pro cm^3 und Ausdehnungen von 40 pc und werden durch einen Gasdruck zusammengehalten. Wenn diese Gegenkraft nicht mehr genügt oder die Gaswolke von einer Druckwelle einer Supernova getroffen wird, kann es dazu kommen, dass die Molekülwolke instabil wird und aufgrund ihrer eigenen Schwerkraft implodiert.[3]

Abbildung 5: Bild einer 2 Lichtjahre großen Molekülwolke im Carinanebel

3 Metzler Physik 12 Astrophysik, Ausgabe Bayern, Druck A/ Jahr 2012, S.98

Daraus resultiert, dass sich unterschiedlich dichte Regionen in der Molekülwolke bilden. Die Gase innerhalb der Wolke werden hierbei von den dichtesten Regionen angezogen, da diese die größte Masse und somit die größte Gravitation besitzen. Dadurch gewinnen die dichten Gebiete an Masse dazu und können somit effektiver Materie anziehen.[3]

Dies führt wiederum dazu, dass sich aus den dichten Gebieten Gaskugeln bilden, deren Temperatur und Druck steigt, solange die Masse steigt. Wenn eine kritischer Bereich überschritten wird, werden die Gaskugeln aufgrund der hohen Temperatur im Sterninneren zu Plasmakugeln und die stellare Kernfusion bzw. das Wasserstoffbrennen setzt an.[4] Bei dieser Reaktion werden die Wasserstoff-Atomkerne innerhalb der Kugel zu Helium fusioniert.[5]

Die Reaktion des Wasserstoffbrennens wird mit folgender Formel zusammengefasst[6]:

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2e^{+} + 2\nu_{e} + 2\gamma,$$

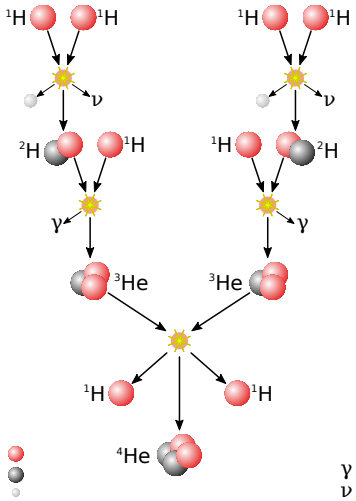

Abbildung 6: Schema der Reaktionen des Wasserstoffbrennens

Durch die Reaktion des Wasserstoffbrennens wandelt sich die Gaskugel schlussendlich in einen Stern.

2.5 Endstadien der Sternentwicklung

Wenn einem Stern der nukleare Brennstoff ausgeht, befindet sich dieser im Endstadion seiner Lebensdauer, da die Abnhame an nuklearem Brennstoff dazu führt, dass der Strahlungsdruck des Sterns abschwächt, was wiederum darin resultiert, dass die Gravitationskraft stärker als der Strahlungsdruck und dem Gasdruck wird und somit das vorherige Gleichgewicht beider Kräfte zerstört wird. Dies führt dazu, dass die Temperatur und Dichte im Sterninneren ansteigen, sodass im Kern eine neue Fusionsstufe eingeleitet wird.[4][5]

4 https://www.sterngucker.de/stern/
5 https://www.ipp.mpg.de/ippcms/de/pr/fusion21/kernfusion/index#:~:text=Der%20riesige%20Plasmaball%20besteht%20%C3%BCberwiegend,und%20beleuchten%20auch%20die%20Erde.
6 https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrennen

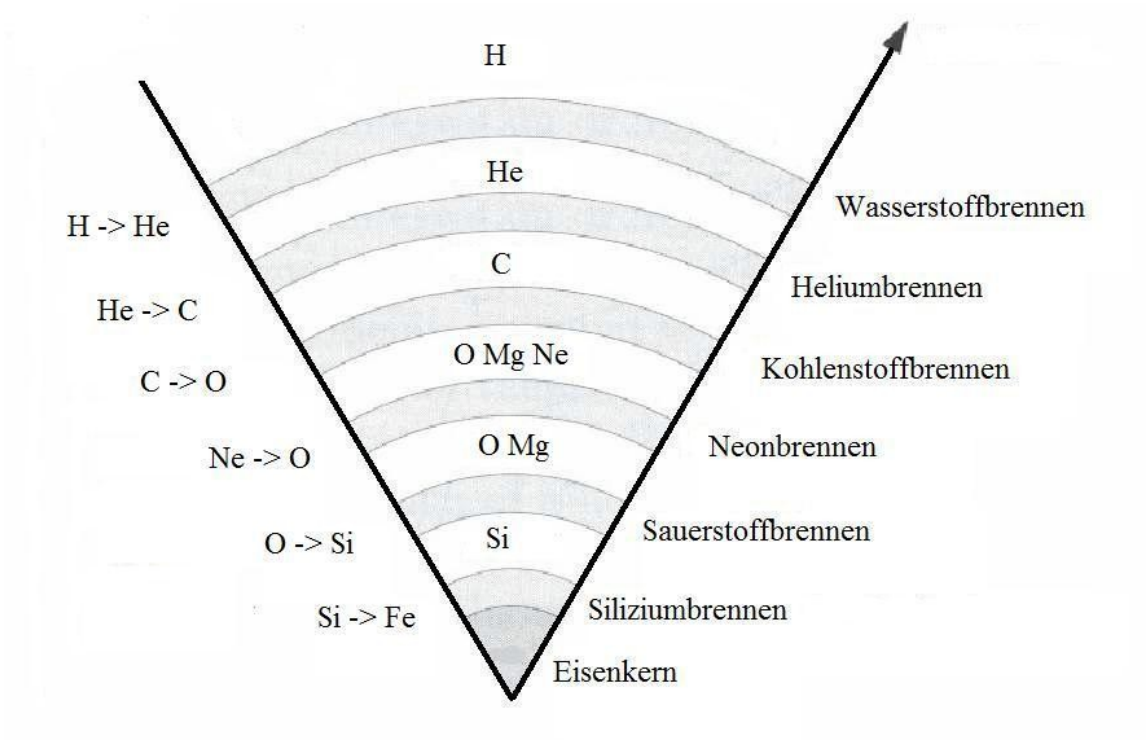

Abbildung 7: Thermonukleare Fusionsprozesse innerhalb eines Sterns vom Wasserstoffbrennen bis zum Siliziumbrennen

Bei den Fusionsprozessen des Schalenbrennens handelt es sich chronologisch vom ersten bis zum letzten Prozess um folgende Vorgänge[7]:

- **Wasserstoffbrennen:** H → He
- **Heliumbrennen:** He → C (Be)
- **Kohlenstoffbrennen:** C → O (Mg, Na, Ne)
- **Neonbrennen:** Ne → O (Mg)
- **Sauerstoffbrennen:** O → Si (Mg, Ne, P, S)
- **Siliciumbrennen:** Si → Fe (Co, Ni)

Am Ende des Siliciumbrennens hat der Stern all seine Kernbrennstoffe verbraucht und es entsteht ein Eisenkern, der keine weitere Fusion eingehen kann und somit keine neue

7 https://de.wikipedia.org/wiki/Schalenbrennen

Energie freisetzen kann. Somit gibt es keinen Strahlungsdruck mehr im Stern, was darin resultiert, dass das Sterninnere aufgrund der großen Gravitationskräfte in sich implodiert.[8][9]
Ab diesem Zeitpunkt ändert sich das Resultat der Implosion nach der Masse des Sterns. Während Sterne mit Massen unter 8 Sonnenmassen zu Braunen-/ Schwarzen-(Sterne bis 0,3 Sonnenmassen) und Weißen- (Sterne mit 0,3 bis 8 Sonnenmassen) werden, verwandeln sich Sterne mit Massen von über 8 Sonnenmassen je nach ihrer Masse in Neutronensterne oder Schwarze Löcher, den bekanntesten extremen Himmelsobjekten in unserem Universum. [4]

3 Neutronensterne und schwarze Löcher

3.1 Neutronensterne

Am Ende des Lebenszyklusses eines massereichen Sterns mit einer Sonnenmasse von ca. 8 bis 25 ist der nukleare Brennstoff des Sterns verbraucht, was zufolge hat, dass der Kern des Sterns unter den Kräften seiner Gravitation in einem Viertel der Lichtgeschwindigkeit in sich implodiert. Wenn nun der Kern des Sterns eine Masse von 1 bis 3 Sonnenmassen besitzt, können die Neutronen, die daraus entstehen, die Implosion stoppen, was darin resultiert, dass sich die Materie innerhalb des Kerns des Sterns zu Neutronen verdichtet. Die Implosion führt einerseits dazu, dass die Oberflächenschichten des Sterns abgestoßen werden, andererseits aber auch dazu, dass die Gase in dem Sterninneren nach außen entweichen und sich zu Nebelstrukturen um den Neutronenstern bilden. Zudem resultiert die Implosion darin, dass die magnetischen Felder des Sterns und die Rotation des Sterns zusammenbrechen.[10]
Es existieren zwei Arten von Neutronensternen:

- **Pulsare:** Pulsare sind Neutronensterne, die in bestimmten Intervallen rotieren und dabei Strahlungsimpulse entsenden. Sie schleusen zudem aufgrund ihrer starken magnetischen Felder Jets von Partikeln über ihre magnetischen Pole entlang, die helle Lichtstrahlen erzeugen. Da das Magnetfeld häufig nicht auf der Drehachse ausgerichtet ist, werden diese Lichtstrahlen bei der Drehung des Pulsars herumgewirbelt, was darin resultiert, dass das Licht von uns auf der Erde als ein pulsierendes Licht aufgefasst wird.[11]

8 https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/gravitationskollaps/152
9 https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationskollaps
10 https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/neutron_stars1.html
11 https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/neutron_stars1.html

- **Magnetare:** Magnetare besitzen ein um 1000 -fach stärkeres Magnetfeld als übliche Neutronensterne, was dazu führt, dass das Magnetfeld des Sterns, welches mit der Oberfläche des Sterns gebunden ist, unter einer sehr großen Menge an Belastung liegt. Dies bedeutet, dass die Oberfläche bei der kleinsten Bewegung hochexplosiv sein kann. Da die Sternoberfläche bei Magnetaren mit dem Magnetfeld gebunden ist, werden bei jeglichen Bewegungen Explosionen eingeleitet, die eine riesige Menge an Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ausstrahlen. [11]

3.2 Schwarze Löcher

Schwarze Löcher sind Objekte mit einer sehr starken Gravitation, welche die Raumzeit so stark verkrümmen, sodass sich nicht einmal Photonen aus ihrem inneren Entkommen können, da die Fliehkraft innerhalb des Schwarzen Lochs größer als die Lichtgeschwindigkeit wird. Somit sind Schwarze Löcher für den Betrachter unsichtbar. Um Schwarze Löcher herum befinden sich jedoch viele Gase, die sich mit einer sehr hohen Geschwindigkeit um das Schwarze Loch drehen und aufgrund ihrer Strahlung und ihrer hohen kinetischen Energie ein helles und heißes Licht um das Schwarze Loch bilden.[12]

Je näher ein Objekt oder ein Strahl einem Schwarzen Loch ist, desto mehr wird es bzw. er von seiner Bahn abgelenkt und vom Schwarzen Loch angezogen.

Den Punkt, ab dem nichts mehr der Gravitation des Schwarzen Loches entfliehen kann, bezeichnet man Ereignishorizont. Ab diesem Punkt können weder Objekte noch Photonen aus dem Schwarzen Loch entweichen. [13]

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen drei Arten von Schwarzen Löchern:

- **Primordiale Schwarze Löcher:** Primordiale Schwarze Löcher sind Schwarze Löcher, die sich unmittelbar nach dem Urknall geformt haben und somit seit den Anfangszeiten unseres Universums existieren.[14]
- **Supermassereiche Schwarze Löcher:** Supermassereiche Schwarze Löcher formen sich zur selben Zeit, zu der die Galaxie , in jener sie sich befinden, entsteht. Hierbei sind Faktoren wie ihre Masse und ihre Größe abhängig von der Galaxie, in der sie sich befinden.

12 https://www.youtube.com/watch?v=diLnxT11hYI
13 https://astrokramkiste.de/schwarzes-loch
14 https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-black-hole-58.html

3.Neutronensterne und schwarze Löcher

Ihre Massen reichen von 10.000 Sonnenmassen bis zu einigen Milliarden Sonnenmassen.[15] Im jahr 2019 und 2022 gelang es Astronomen des Event Horizon Telescope (EHT) Bilder zweier Supermassereicher Schwarzer Löcher zu machen. Bei diesen Schwarzen Löchern handelt es sich um das Supermassereiche Schwarze Loch im Zentrum der Riesengalaxie Messier 87 mit einer Masse von ca. 6,5 Mio. Sonnenmassen (2019) und um das Supermassereiche Schwarze Loch Sagittarius A* im Zentrum unserer Milchstraße (2019).[16]

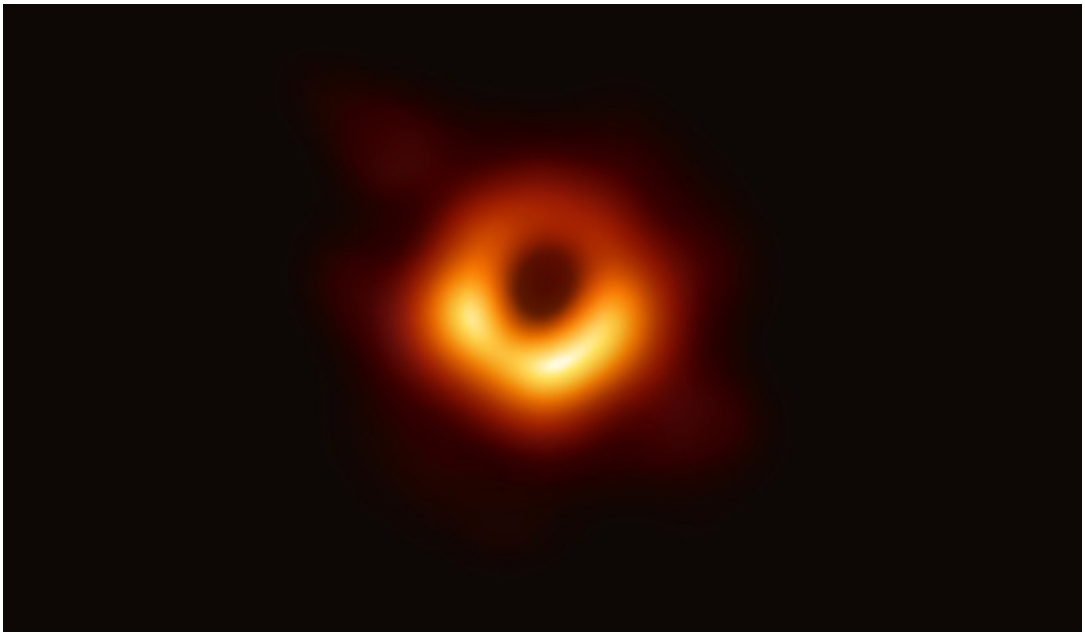

Abbildung 8: Erstes Bild eines Schwarzen Loches in der Riesengalaxie Messier 87, Aufgenommen am 10. April 2019 von der EHT

15 https://www.mpifr-bonn.mpg.de/607301/black-holes
16 https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole

3.Neutronensterne und schwarze Löcher

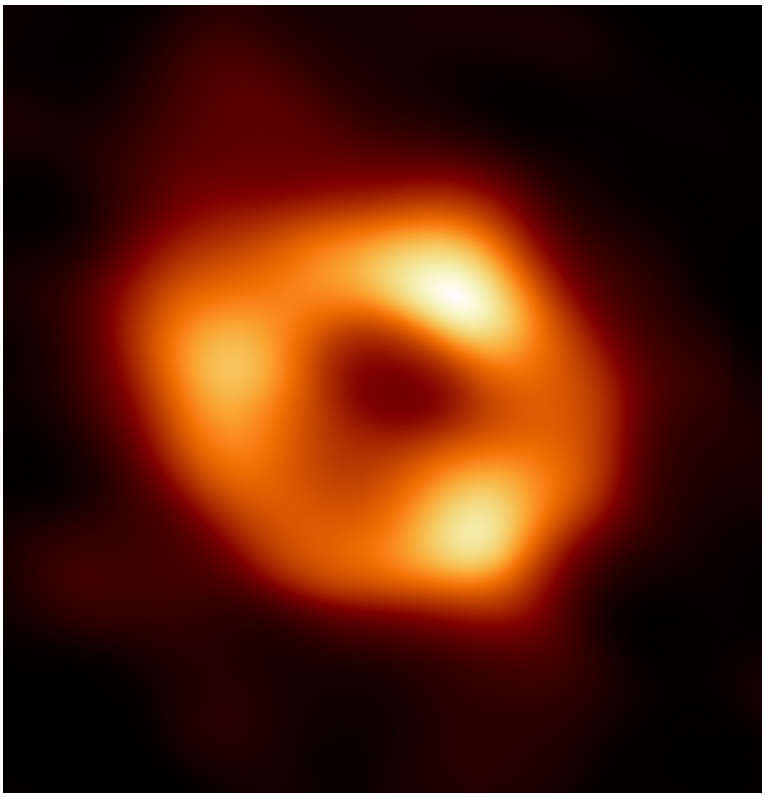

Abbildung 9: Aufnahme eines Schwarzen Loches in unserer Milchstraße vom 12.05.2022, Aufgenommen von der EHT

- **Mittelschwere Schwarze Löcher:** Mittelschwere Schwarze Löcher sind Schwarze Löcher, deren Sonnenmassen zwischen denen der Stellaren und denen den Supermassenreichen Schwarzen Löchern liegen. Ihre Massen betragen ca. 1000 Sonnenmassen.[15]
- **Stellare Schwarze Löcher:** Ähnlich wie Neutronensterne sind stellare Schwarze Löcher ebenso das Produkt einer Supernova eines massereichen Sterns, dessen Kern im Endstadion seiner Entwicklung in sich selbst implodierte. Der unterschied zwischen Neutronensternen und stellaren Schwarzen Löchern liegt bei der Masse des Sterns, aus welchem sie sich bilden. Während Neutronensterne Produkte von Supernovae sind, bei welchen Sterne mit Massen zwischen ca. 8 bis 25 Sonnenmassen explodieren, handelt es sich bei stellaren Schwarzen Löchern um Produkte von Supernovae von Sternen mit weit aus größeren Massen. Wenn man annehmen würde, dass man vor so einem Schwarzen Loch

steht, würde man aufgrund der Inhomogenität des Gravitationsfeldes Sphagettifiziert und somit zu einem dünnen langen Objekt gestreckt oder sogar zerissen werden. Dies liegt an den starken Gezeitenkräften, die durch das Schwarze Loch verursacht werden.[17][18]

3.3 Neutronenstern-Schwarzes-Loch-Systeme

Die LIGO-Detektoren (Laser-Interferometer Gravitationswellen-Observatorium) in den USA und die Virgo-Detektoren in Italien registrierten im Januar 2020 neuartige Gravitationswellen aufgenommen, bei welchen sie nachwiesen, dass es sich um eine Kollision zwischen einem Neutronenstern und einem Schwarzen Loch handelte. Es wird angenommen, dass das Schwarze Loch den Neutronenstern geschluckt hat. Während man zuvor schon von Kollisionen zwischen zwei Schwarzen löchern oder zwei Neutronensternen gehört hat, war dies das erste Mal, dass ein Schwarzes Loch mit einem Neutronenstern kollidierte. Dennoch gibt es noch einige Fragen wie beispielsweise die, ob begleitende Strahlung existiert. Diese wird bei Kollisionen von Neutronensternen detektiert, bei Kollisionen zweier Schwarzer Löcher aber meistens nicht. Um im diesjährigen Beobachtungsdurchgang eine noch höhere Sensitivität zu erreichen, optimieren die Virgo- und LIGO- Teams ihre Detektoren. Möglicherweise wird bei diesem Durchgang mehr über diese neue Art von System gelernt.[19]

Abbildung 10: Darstellung eines Neutronenstern-Schwarzes-Loch-Systems

17 https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/gezeitenkraefte/144#:~:text=unangenehme%20Gezeiten%20beim%20Schwarzen%20Loch,und%20k%C3%B6nnen%20sogar%20zerrissen%20werden.
18 https://en.wikipedia.org/wiki/Spaghettification#cite_note-1
19 https://www.scinexx.de/news/kosmos/schwarzes-loch-frisst-neutronenstern/

4 Der Krebsnebel M1

4.1 Historischer Kontext

Abbildung 11: Foto eines Piktogromms im Chaco Canyon, New Mexico, bei welchem es sich wahrscheinlich um eine Darstellung der Supernova von 1054 handelt

Im Sommer des Jahres 1054 n. Chr. berichteten viele Menschen und Astronomen der damaligen Zeit über eine Anomalie am Himmel, welche an vielen Orten der Erde wie bspw. Konstantinopel, China, Japan, Rom und im Südwesten der Vereinigten Staaten beobachtet wurde. Dieses Anomalie war für ca. 2 Monate am Tag und für 2 Jahre in der Nacht sichtbar und wurde von unterschiedlichen Völkern und Menschen, die sie observiert haben, als ein Stern bzw. Gaststern interpretiert. Das Foto auf Abbildung 5 zeigt ein Piktogramm, welches in Chaco Canyon, New Mexico gefunden wurde, bei welchem es sich nach vielen Wissenschaftlern um ein Piktogramm des Krebsnebels handelt. Hierbei soll es sich bei der sternförmigen Malerei um die Supernova und bei der mondsichelartigen Malerei um den Mond handeln, welcher am Tag der Supernova innerhalb von 3 Grad von der Supernova entfernt war und sich in der Halbmondphase befand. Der Handabdruck neben der Halbsichel sei ein Indikator dafür, dass es sich bei dem Standort der Malerei um heiligen Boden handele.[20] Mehr als ein halbes Jahrtausend später stieß der Englische Amateurastronom John Bevis im Jahr 1731 auf ein Himmelsobjekt an der nahezu exakt selben Stelle im Himmel, an dem sich die Supernova im Jahr 1054 ereignete. Dies war die erste Beobachtung des Krebsnebels. 27 Jahre nach der Beobachtung von John Bevis entdeckte der französische Astronom Charles Messier unabhängig von Bevis den Krebsnebel wieder und beschloss sich daraufhin den Nebel als erstes Objekt in seinem Katalog von stationären astronomischen Objekten Festzuhalten und gab dem Nebel die Bezeichnung M1. Aufgrund der krebsförmigen Form des Nebels schrieb er dem Nebel zudem die Bezeichnung “Krebsnebel” zu.[21]

20 https://www2.hao.ucar.edu/Education/SolarAstronomy/supernova-pictograph
21 https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/multiwavelength2.html

4.2 Allgemeine Informationen über den Krebsnebel

Der Krebsnebel ist ein Nebel im Sternenbild des Stiers mit einer scheinbaren Größe von 8,4 mag, welcher neben dem Krebspulsar das Produkt einer Supernova darstellt, welche sich am 4. Juli des Jahres 1054 ereignete.[22] Mithilfe des aktuellen Stands der astronomischen Forschung wissen Wissenschaftler heute, dass es sich beim Krebsnebel um die Überreste einer Supernova handelt, bei welcher es sich sehr wahrscheinlich um die 1054 observierte Anomalie im Nachthimmel handelt. Diese Supernova ist das Produkt eines Sterns, dessen Kern in sich zusammengebrochen ist, welches einerseits dazu geführt hat, dass die Oberflächenschichten des Sterns abgestoßen wurden, andererseits aber auch dafür verantwortlich war, dass die Gase in dem Sterninneren nach außen entwichen sind. Dies geschah mit einer Geschwindigkeit von über 4,8 Mio. km/h.[23]

Darüber hinaus resultierte dies in dem Zusammenbrechen der magnetischen Felder des Sterns und der Rotation des Sterns. Dies hatte zufolge, dass sich der Stern zu einem Pulsar mit einem Durchmesser von 28 – 30 Kilometern und einer Geschwindigkeit von 30,2 Umdrehungen pro Sekunde umbildete (Siehe Kapitel 4.1 – Neutronensterne) und sich die Gase aus dem inneren des Sterns zu Nebelstrukturen um den Neutronenstern bildeten.[21] Der Krebsnebel, dessen Entfernung zur Erde bei ca. 6500 Lichtjahren liegt, erstreckt sich momentan über ca. 10 Lichtjahre und expandiert immer weiter. [22][24]

4.3 Der Zeitpunkt der Supernova

Gegen dem Ende unserer Schreibzeit für unsere Projektarbeit haben wir uns zusammen mit Herrn Koch eine letzte Frage gestellt: Wie hat man vor ca. 100 Jahren den exakten Tag kalkuliert, an welchem sich die Supernova des Krebsnebels ereignete. Aus diesem Grund beschäftigten wir uns näher mit dieser Frage und suchten im Internet nach Quellen, die dieses Datum stützen könnten. Dies nahm mehr Zeit in Anpruch als wir antizipiert hatten, da sich nahezu keine Quelle mit dieser Frage beschäftigte. Viele Informationsmedien wie bspw. die Internetseite der NASA oder die Internetseite des Max-Planck-Instituts berichteten

22 https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/messier-1-the-crab-nebula
23 https://www.space.com/16989-crab-nebula-m1.html
24 https://en.wikipedia.org/wiki/Crab_Nebula#cite_ref-simbad_1-1

nur über den Zeitpunkt der Explosion, den 4.Juli 1054, und selten über die Methode, die genutzt wurde, um die Explosion auf dieses Datum zurückzudatieren. Nichtsdestotrotz haben wir dennoch eine Quelle gefunden, in welcher sich der Verfasser unter anderem mit dieser Frage beschäftigte. Bei dieser Quelle handelt es sich um den wissenschaftlichen Artikel “A Re-interpretation of Historical References to the Supernova of 1054 AD” (Deutsch: Eine Neu-Interpretation der historischen Referenzen auf die Supernova von 1054 v.Chr.), welcher von den amerikanischen Wissenschaftlern George W. Collins, II, William P. Clapsy und John C. Martin verfasst wurde. Hierbei setzen sich die Wissenschaftler mit den unterschiedlichen historischen Meldungen über die Erfassung der Supernova auseinander und arbeiten eine Tabelle mit möglichen Daten aus, an welchem die Supernova an unterschiedlichen Orten der Erde tatsächlich gesehen hätte werden können:

Table 1
A Chronology of possible Supernova Sightings

Date	Location	Source	Appearance
April 11th	Constantinople	Diary of Ibn Butlān	Star
April 19th	Flanders	*Tractatus de ecclesia*	Bright Light
April 24	Ireland	Irish Annals	Fiery Pillar
Late April	Rome	*De obitu santi Leonis pp IX*	Bright Light
May 10th	China	*Sung-shih hsin-pien*	Star
May 14th	Armenia	Этум Патмич	Star
May 20th	Italy	Rampona Chronicles	Very Bright Star
Late May	Japan	*Mei Getsuki*	New Star
June	Japan	*Mei Getsuki*	Star
July 4th	China	*Sung hui-yao*	Star/Comet
July 27th	China	*Sung hui-yao*	Star
April 1055	Constantinople	Diary of Ibn Butlān	Star
April 17th 1056	China	*Sung hui-yao*	Star

Abbildung 12: Tabelle der möglichen Sichtungen der Supernova

Die Sichtungen aus 1055 und 1056 können außenvorgelassen werden, da sich die Sichtungen schon im Jahr 1054 häuften. Beim Betrachten der Position der Sonne zu den möglichen Zeitpunkten im Jahr 1054 durch das Programm Stellarium fällt auf, dass die Sonne Ende Mai bis Mitte Juni sehr nah am Krebsnebel war.

4.Der Krebsnebel M1

Abbildung 13: Bild des 04.07.1054 auf Stellarium mit Sonenbahn, dem Standort des Krebsnebels und der Sonne

Aus diesem Grund ist es durchaus plausibel, dass sich die Supernova des Krebsnebels am 04.Juli 1054 ereignet hat, da die Sonne die Supernova bei früheren Zeitpunkten mit hoher Wahrscheinlichkeit überstrahlt hätte, sodass diese mit dem bloßen Auge nicht sichtbar wäre. Es gibt aber auch einige Sichtungen im frühen April, die ebenso gut akkurat sein könnten, da die Sonne im April fast ebenso weit entfernt vom Krebsnebel war, als sie es im Juli war. Letztlich ergibt sich also, dass das Datum der Supernova sehr schwer auf ein bestimmtes Datum zurückdatiert werden kann. Aus diesem Grund nehmen wir im Laufe der gesamten Arbeit und den Berechnungen an, dass sich die Supernova am 04.07.1054 ereignet hat, da dies das Datum ist, welches von den aller meisten Wissenschaftlern akzeptiert worden ist.

4.4 Ausrüstung

4.4.1 Teleskop

Das Teleskop, welches uns für die Beobachtung zur Verfügung stand, ist das 0,51 Planewave Teleskop mit Quarzglasoptik, welches sich seit dem 29.September 2016 am Carl-Fuhlrott-Gymnasium befindet.

Abbildung 15: Bild des Transports des CDK20 Astrographen zum CFG

Abbildung 14: Bild der Montierung des 0,51m Planewave-Teleksops am CFG

Abbildung 16: Bild des 0,51m Planewave-Teleskops mit Beobachtern, Ben Bastigkeit (CDG, Wuppertal) und Ali Eren Varisli (SGV, Wuppertal)

4.Der Krebsnebel M1

Bei dem Astrographen des 0,51m Planewave-Teleskop handelt es sich um das CDK20, welches speziell konzipiert wurde, um mit großformatigen CCD Kameras einem absolut planen Bildfeld eine beugungsbegrenzte Abbildung zu garantieren. Es besitzt über eine 0.51m lange Öffnung und über eine 3417mm lange Brennweite .[25]

Die Montierung des 0,51m Planewave-Teleskops ist eine 10 Micron GM4000HPSII GOTO Montierung mit Absolutcodern. Sie ist sehr genau getaktet und dreht sich mit der Erddrehung mit. Dadurch erleichtert sie Belichtungen mit längeren Belichtungszeiten und Belichtungen mit multiplen Belichtungen in kurzen Zeitabständen und führt zu einem saubereren und akkurateren Ergebnis auf den Aufnahmen.

Abbildung 17: Bild des CDK20 Astrographen

Abbildung 18: Bild der GM4000 HPS II GOTO Montierung

25 https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik

4.4.2 Filter

Abbildung 19: Bild des Optolong 2" L-eNhance Nebelfilter

Der Filter, welchen wir für die Beobachtung genutzt haben, ist der Optolong 2” L-eNhance Nebelfilter für DSLR und Color-Asto-Kameras. Dieser Filter ermöglicht Aufnahmen nahe der Qualität von Mono Kameras mit Schmalbandfiltern. Zudem werden die Bereiche der Lichtverschmutzung blockiert, damit eine erfolgreiche Deep-Sky Fotografie aus Stadtnähe möglich wird. [26]Dies bedeutet, dass hauptsächlich Lichtwellen der Wellenlängen H-Alpha, H-Beta und [O-III] durchgelassen werden und ein Emissionsnebel somit erfolgreich aufgenommen werden kann.

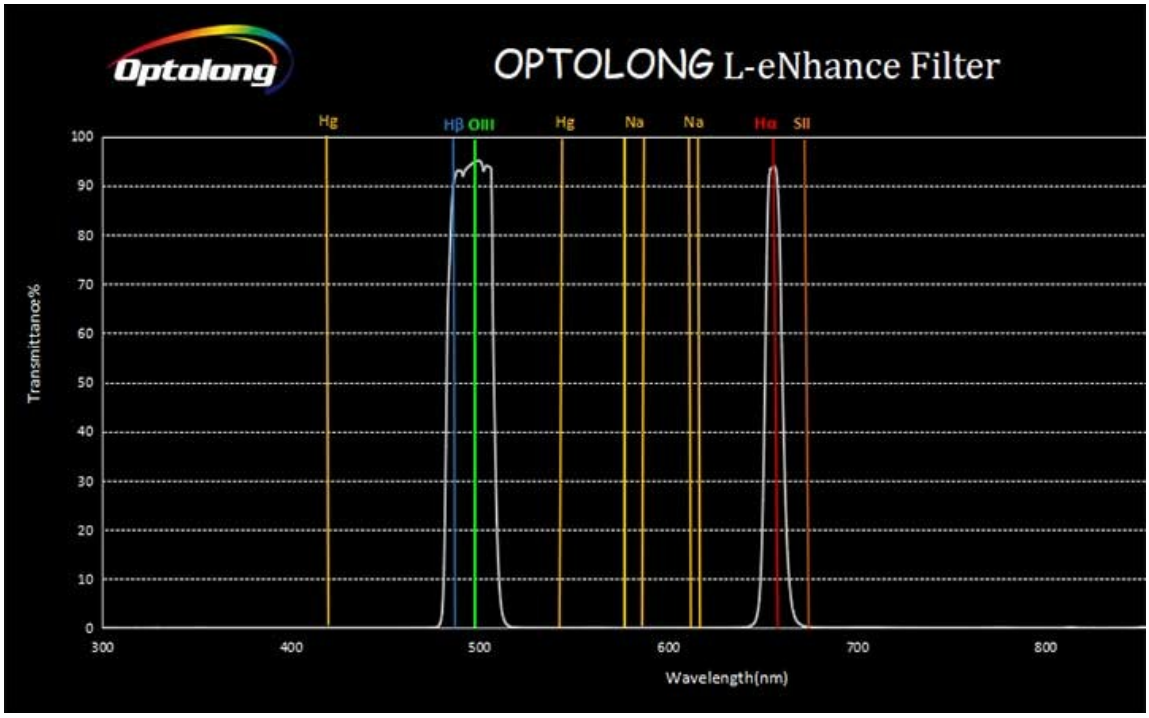

Abbildung 20: Filtertransmissionskurve des Optolong L-eNhance Filters

Dies ist für unsere Beobachtung von großer Wichtigkeit gewesen, da es aufgrund des städtischen Standorts des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums viel Streulicht um den Beobachtungsort gibt.

26 https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p11238_Optolong-2--L-eNhance-Nebelfilter-fuer-DSLR-und-Color-Astro-Kameras.html

Die technischen Daten des Optolong 2” L-eNhance Nebelfilters sind wie folgt:

Filtergröße:	2" gefasst
Höhe der Fassung:	5 mm ohne Außengewinde, 7 mm mit M48-Außengewinde
Substrat:	hochwertiges optisches Glas (Schott)
Oberfläche:	Feinoptisch poliert
Vergütung:	Mehrfach-Vergütung
Filtertyp:	Dual-Bandpassfilter
Filterdicke:	2 mm

Abbildung 21: Technische Daten des Optolong 2" L-eNhance Nebelfilters

4.4.3 Kamera

Zum Fotografieren des Nebels nutzten wir eine modifizierte Canon EOS-RPa Kamera, welche aufgrund des entfernten Filters eine erhöhte Rotempfindlichkeit besitzt, die bis in den Infrarotbereich reicht. Die einzelnen Bilder, die die Kamera während der Beobachtung aufgenommen hat, wurden im CR3 Format als Rohdaten gespeichert und in demselben Format entwickelt.

Abbildung 22: Bild einer Canon EOS-RPa

4.5 Die Beobachtung des Krebsnebels M1

4.5.1 Das Beobachtungsziel

Aufgrund der Tatsache, dass bis zum heutigen Zeitpunkt nur die Event Horizon Telescope (ETH) Organisation, welche eine Collaboration mehrerer Astronomen bildet, im Stande war, Bilder von Schwarzen Löchern zu machen, habe ich mich dazu entschieden mich in dem praktischen Teil meiner Projektarbeit mit den Überresten einer Supernova mit einem Neutronenstern zu beschäftigen. Hierfür empfahl mir mein Projektleiter Herr Koch den Krebsnebel, da er während unserer Arbeitszeit im Winter besonders gut zu beobachten war.

Mithilfe des Krebsnebels wollte ich die Ausbreitung der Nebelfilamente beobachten und diese mit älteren Aufnahmen des Nebels vergleichen und anschließend versuchen, mithilfe der einzelnen Filamente die Supernova zurückzudatieren.

Da sich die Beobachtungsziele von meinem Beobachtungspartner, Ben Bastigkeit (Carl-Duisberg-Gymnasium, Wuppertal), und mir überschnitten, führten wir die Beobachtung des Krebsnebels M1 und die Auswertung der Ergebnisse zusammen durch.

Somit sind die folgenden Ergebnisse der Beobachtung und der anschließenden Bearbeitung der Beobachtungsergebnisse durch eine Zusammenarbeit von uns beiden entstanden.

4.5.2 Beobachtungsablauf

Am 10.01.2022 bot sich nach einigen Monaten ein Termin für unsere Beobachtung an.

Das Sternbild des Stiers, in welchem sich der Krebsnebel befindet, konnte einwandfrei erkannt werden, da das Wetter um unseren Beobachtungsort, dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium, unbewölkt und klar war.

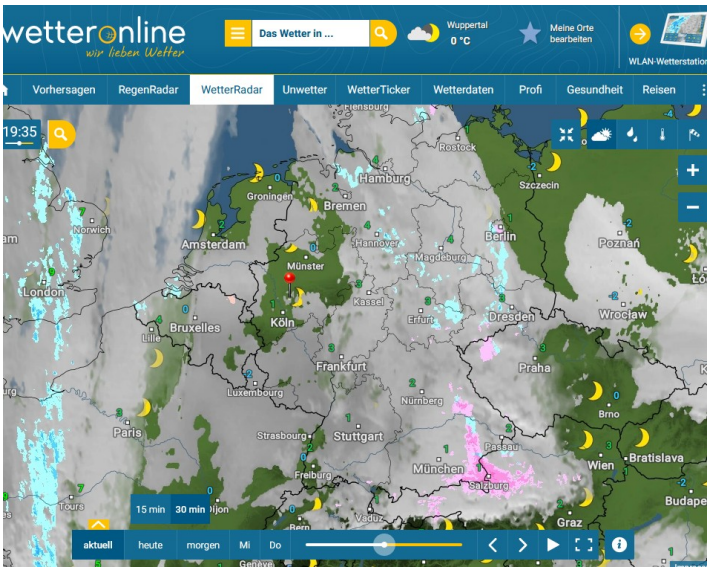

Abbildung 23: Wettervorhersage für das CFG am 10.01.2022

4.Der Krebsnebel M1

Um mit der Beobachtung zu beginnen, haben wir uns an die große Sternwarte, welche sich auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums befindet, begeben und haben den Filter und die Kamera (Siehe Kapitel 5.3 - Ausrüstung), welche wir für die Beobachtung gebraucht haben, an das Planewave-Teleskop angebracht.

Anschließend haben wir mit der Fernsteuerung den Krebsnebel angepeilt und haben mit der Beobachtung begonnen.

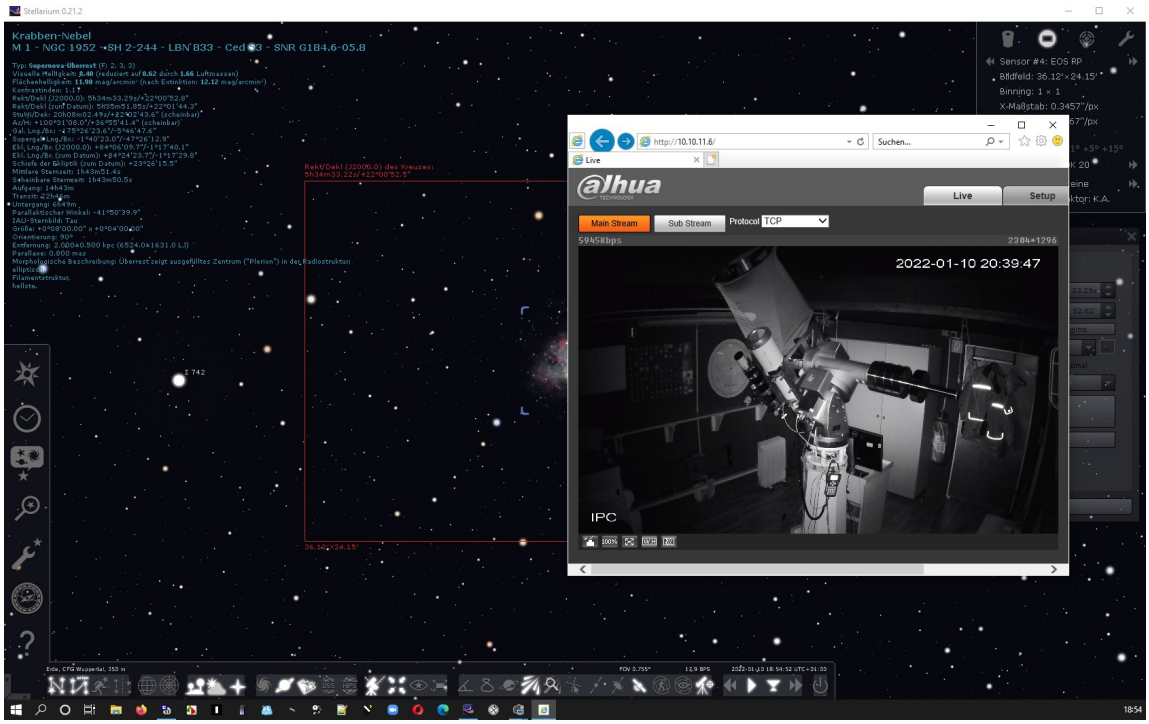

Abbildung 24: Bild des Krebsnebels auf Stellarium und des Planewave-Teleskops am Tag der Beobachtung

Im Laufe einer Beobachtung werden grundsätzlich vier unterschiedliche Datensätze aufgenommen:

- **<u>Lightframes:</u>** Bei Lightframes handelt es sich um den regulärem Datensatz bzw. um die Rohdateien des beobachteten Objekts, die während der Beobachtung aufgenommen werden.

- **Darkframes:** Bei den Darkframes handelt es sich um komplett abgedunkelte Aufnahmen (Durch das Verdecken des Astrographen), die störende Einflüsse innerhalb der Kamera festhalten. Diese störenden Einflüsse wie bspw. Bildrauschen werden beim Stacking von den Rohbildern subtrahiert, damit ein sauberes Bild entsteht.
- **Flatframes:** Bei den Flatframes wird eine Lichtquelle auf den Astrographen gelegt, wodurch nahezu komplett weiße Aufnahmen entstehen. Diese werden aufgenommen, um beim Stacking Flecken auf den aufgenommenen Bildern zu vermeiden und ungewollte Vignettierungen zu eliminieren
- **Darkframes für Flatframes:** Der Einzige unterschied zwischen Darkframes und Darkframes für Flatframes ist der, das die Darkframes für Flatframes von den Flatframes und nicht von den Rohdateien subtrahiert werden. Der Prozess der Aufnahme von Darkframes für Flatframes ist identisch mit dem Prozess der Aufnahme von regulären Darkframes.

Während der Beobachtung nahmen wir 104 Lightframes des Krebsnebels auf, die jeweils für 60s belichtet wurden. Anchließend nahmen wir 15 Darkframes auf, die ebenfalls für 60s belichtet wurden. Darüber hinaus nahmen wir 35 Flatframes auf, die wir jeweils für 25s belichtet haben und nahmen im anchluss darauf 26 Darkframes für die Flatframes auf, die wir jeweils für 2s belichtet haben.

4.6 Bildbearbeitung

4.6.1 Stacking mit Deep-Sky-Stacker

Um die einzelnen Bilder, die durch das 0,51 Planewave Teleskop beobachtet und mit der Canon EOS-R fotografiert wurden und im CR3 Format gespeichert wurden, auszuwerten und zu einem einheitlichen Bild zusammenzufügen mussten wir diese stacken. Hierfür haben wir das Programm Deep-Sky-Stacker verwendet.[27]

27 http://deepskystacker.free.fr/german/

4.Der Krebsnebel M1

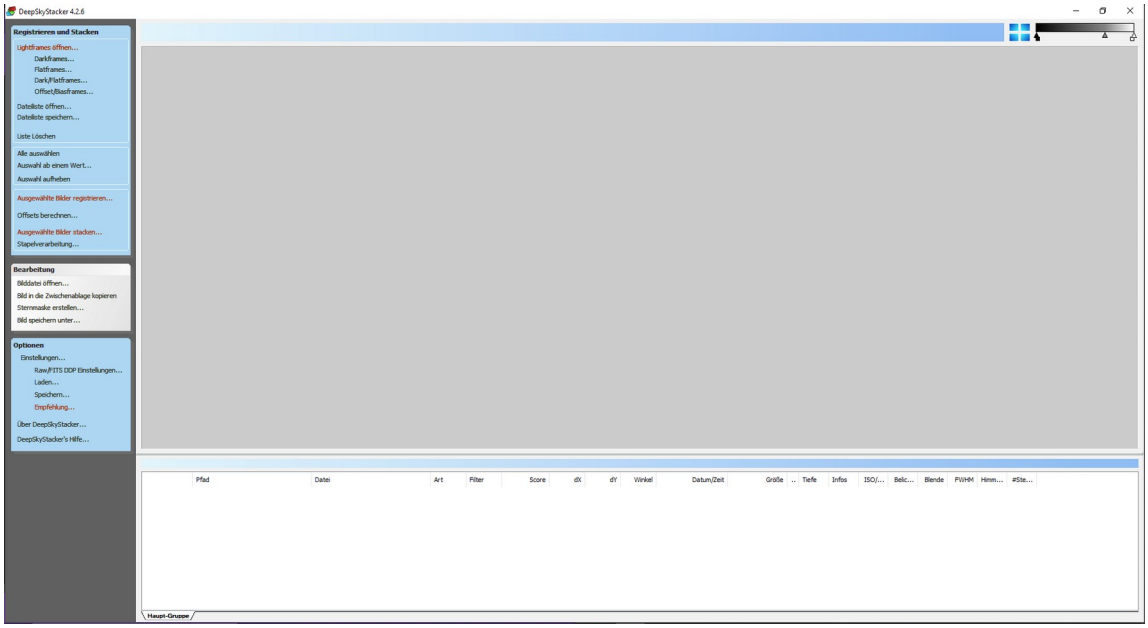

Abbildung 25: Layout des Programms Deep-Sky-Stacker

Danach haben wir unsere Datensätze über das Menu für Datensätze hochgeladen. Hierbei war es wichtig zu gucken, dass man die Datensätze an der richtigen Stelle einfügt.

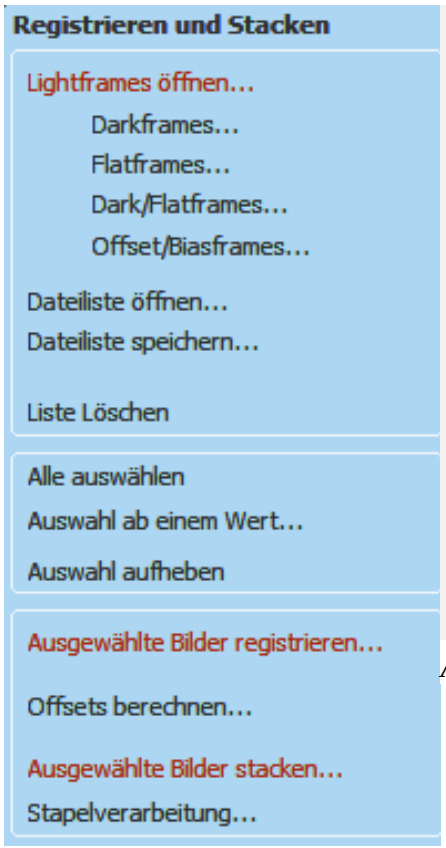

Abbildung 26: Leiste zum Einfügen der Datensätze

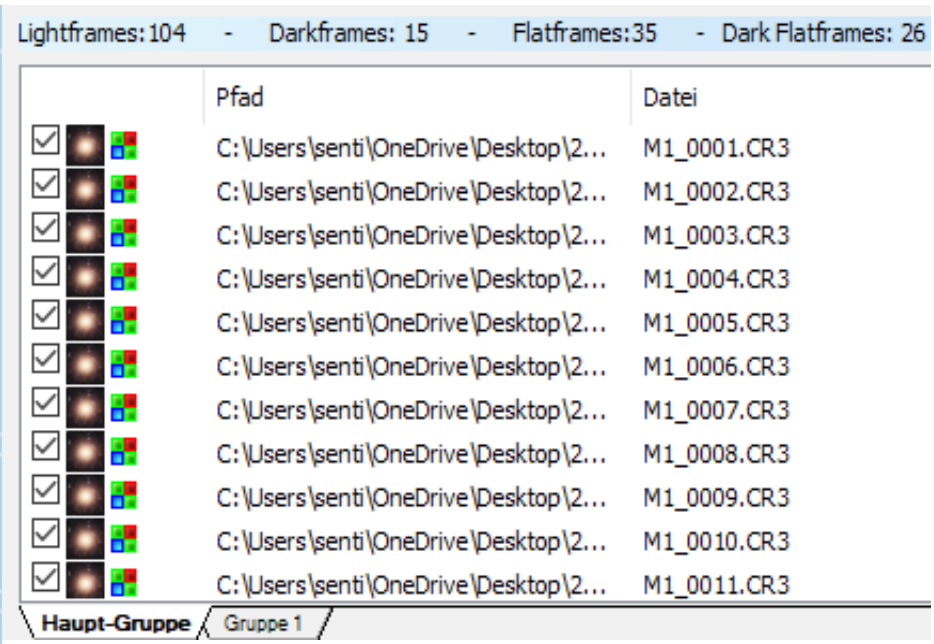

Abbildung 27: Bild der hochgeladenen Datenzsätze

4.Der Krebsnebel M1

Diese Fotos wurden anschließend aufeinandergelegt.

Für den Erhalt des gerackten Bildes, ergibt sich folgende Beziehung zwischen den einzelnen Datensätzen:

$$M1\,Korrigierrt = \frac{M1\,Rohbild\,60\,s - Darks\,60\,s}{Flats\,2\,s - DarksFürFlats\,2\,s}$$

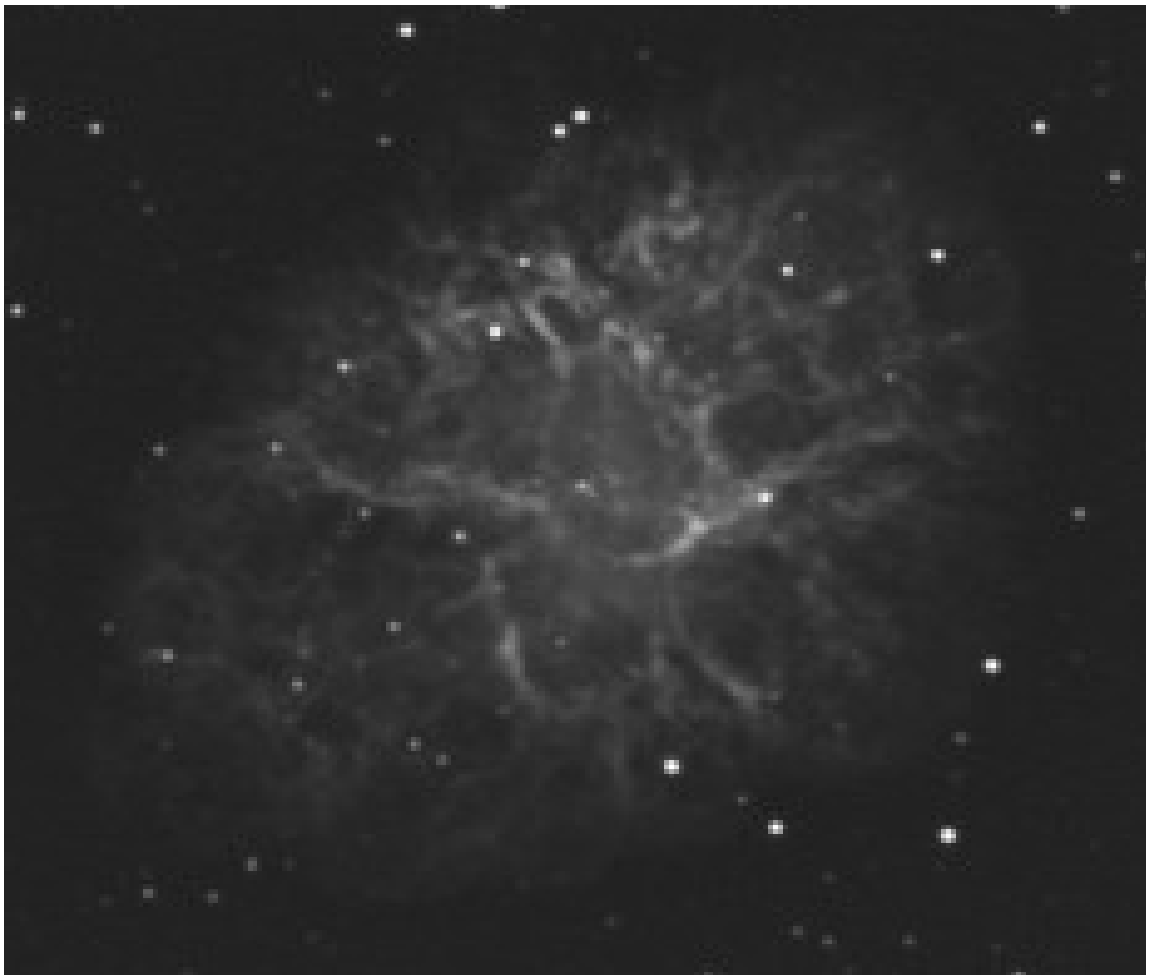

Abbildung 28: Fertig gestacktes Bild des Krebsnebels M1- Ergebnis aller Datensätze des 10.01.2022

4.6.2 Photoshop

Das Bild, auf welchem nach dem Stacking zunächst keine Farbe zu erkennen ist, haben wir nach dem Stacking mit dem Bildbearbeitungssprogramm Photoshop[28] verfeinert, damit man die Farben des Krebsnebels besser erkennen kann.

Hierfür haben wir zwei konkrete Funktionen genutzt:

- **Tonwertkorrektur:** Durch die Tonwertkorrektur wird die Farbe und die Helligkeit des Bildes verbessert. Dies haben wir solange geamcht, bis die Filamente des Nebels und die komplexen Strukturen innerhalb des Nebels gut sichtbar waren.
- **Korrektur der atmosphärischen Dispersion:** Das Tool zur Korrektur der atmosphärischen Dispersion korrigiert die Wellenlängen des Lichts, welche bei der Aufnahme unterschiedlich stark gebrochen werden, da die beobachteten Objekte sonst am oberen blau und am unteren Rand rot gefärbt werden.[29] Dies war vor der Korrektur vor allem an den Sternen auf dem Bild zu erkennen.

28 https://www.adobe.com/de/products/photoshop.html
29 https://de.wikipedia.org/wiki/Astronomische_Refraktion#:~:text=Als%20atmosph%C3%A4rische%20Dispersion%20wird%20die,siehe%20Korrektor%20(Teleskop)).

4.Der Krebsnebel M1

Nach dem Stacking und der Bearbeitung mit Photoshop ergab sich somit folgendes Ergenifür unsere Aufnahmen des Krebsnebels:

Abbildung 29: Gestacktes und Bearbeitetes Bild des Krebsnebels M1 vom 10.01.2022

5 Auswertung der Ergebnisse

5.1 Ausbreitung des Krebsnebels anhand einzelner Filamente erkennen

Nachdem wir unsere einzelnen Rohbilder aufeinander gestackt und ein einzelnes Bild erhalten haben, welches wir anschließend mit Photoshop bearbeitet haben, haben wir unser Bild des Krebsnebels mit einem Bild vom 13.10.1909 verglichen, welches uns von Herrn Koch zur Verfügung gestellt wurde und bei welchem es sich um eine Aufnahme des Krebsnebels des US - Amerikanischen Astronoms George Willis Ritchey handelt.

Abbildung 30: Aufnahme des Krebsnebels mit dem 60-Zoll Reflektor vom 13.10.1909, Beobachtet von G. W. Ritchey

5.Auswertung der Ergebnisse

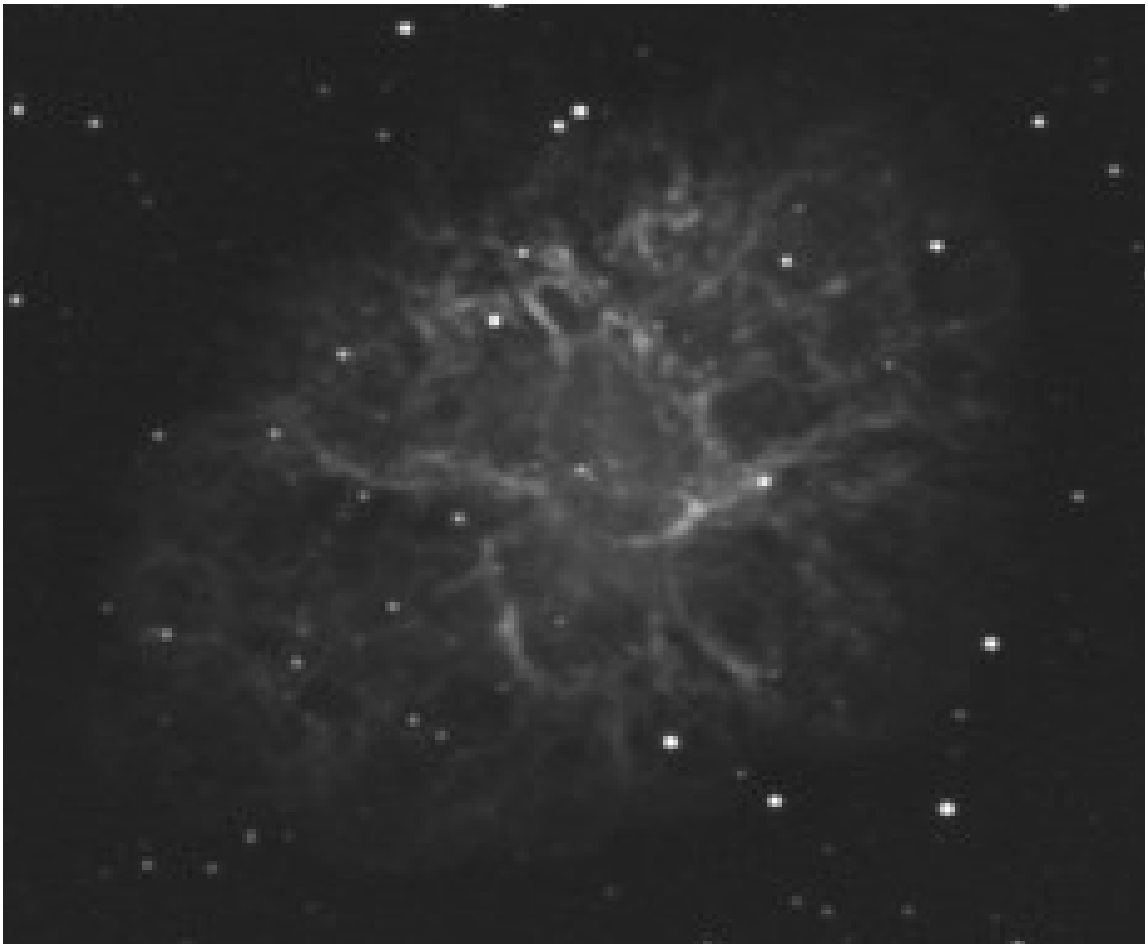

Abbildung 31: Fertig gestacktes Bild des Krebsnebels M1- Ergebnis aller Datensätze des 10.01.2022

5.Auswertung der Ergebnisse

Anschließend haben wir die beiden Bilder des Krebsnebels aufeinander gelegt und dabei darauf geachtet, dass alle Fixsterne so gut wie möglich aufeinander liegen, damit die Ausbreitung des Nebels an jeder Stelle korrekt und eindeutig zu erkennen ist.

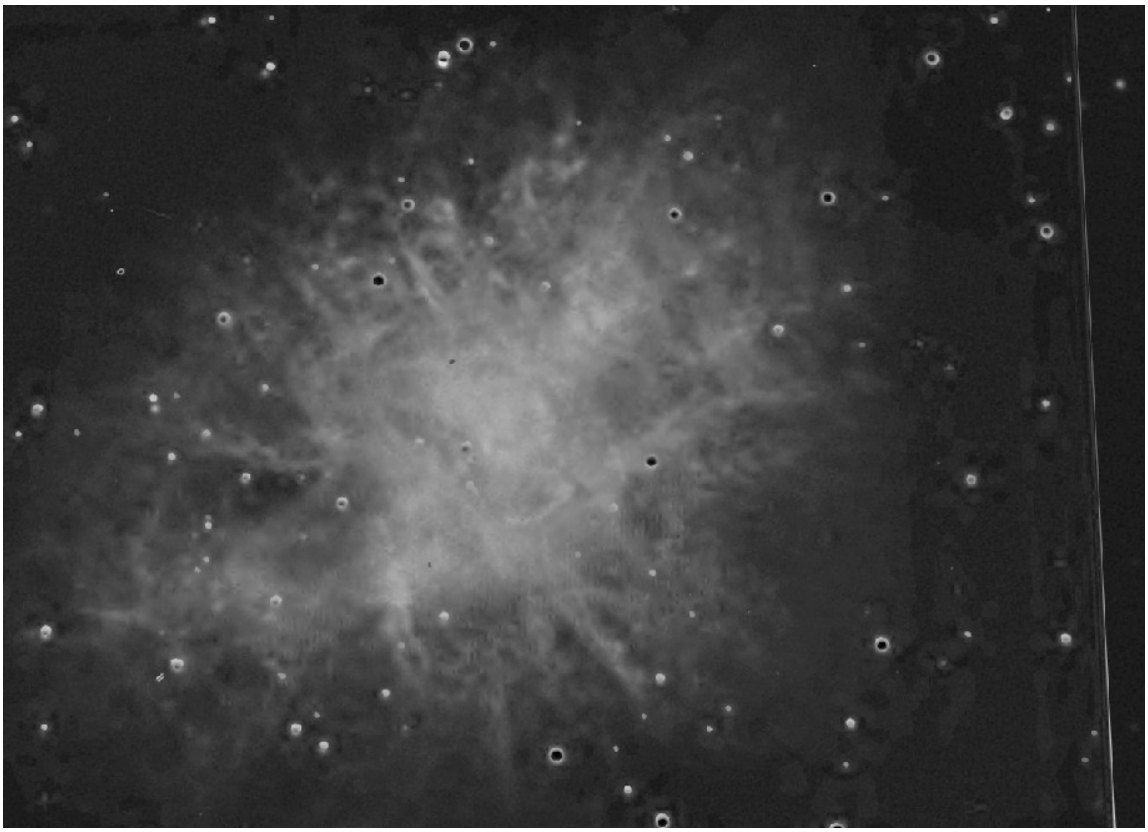

Abbildung 32: Aufeinanderliegendes Bild vom Krebsnebel von den Bildern aus 1909 und 2022

5.Auswertung der Ergebnisse

Daraufhin haben wir uns 10 Filamente gesucht, die man sowohl auf dem Bild aus 1909, als auch auf dem Bild von 2022 besonders gut erkennen kann und haben diese Farbig markiert und vergrößer, damit wir im Nächsten Schritt den Zeitpunkt der Supernova anhand der einzelnen Filamente zurückdatieren können:

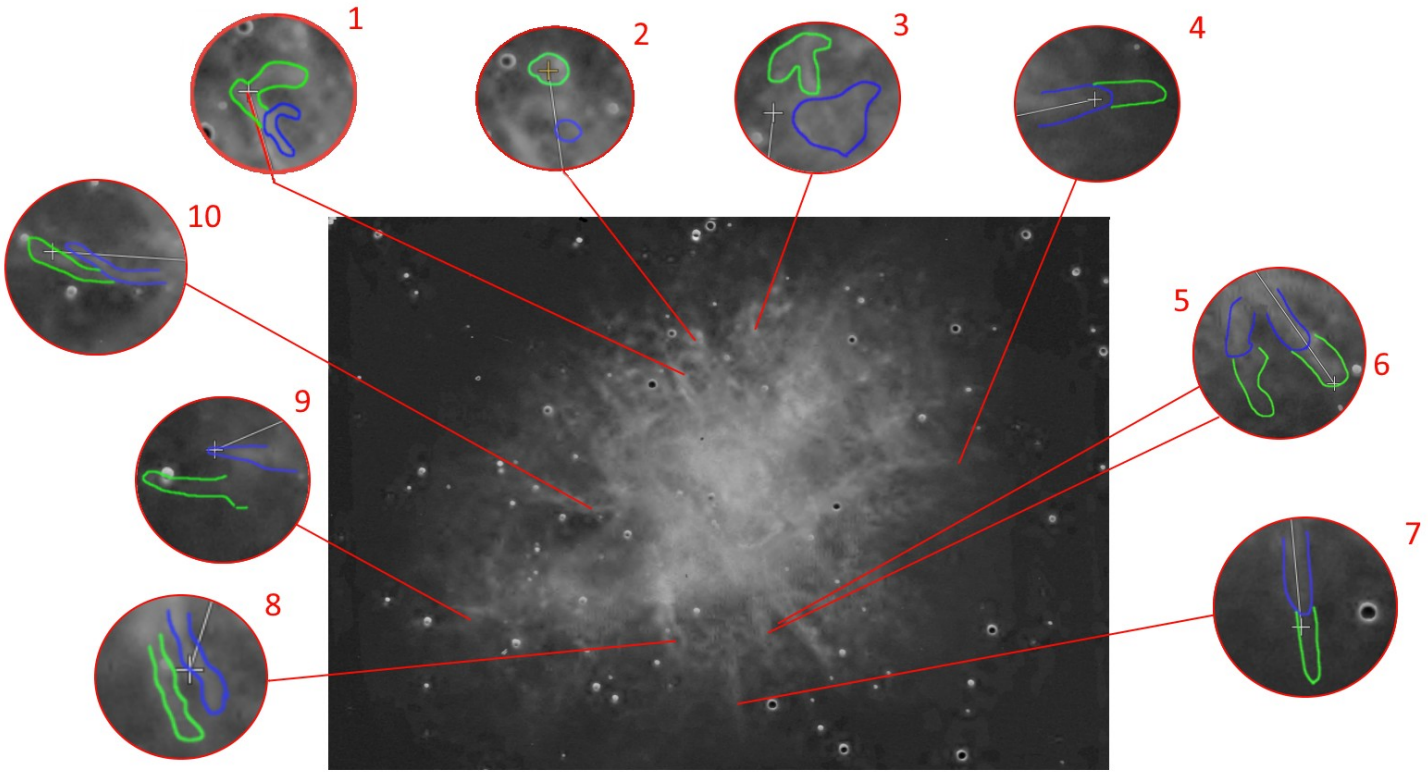

Abbildung 33: Ausbreitung des Krebsnebels vom 13.10.1909 bis 10.01.2022 anhand 10 Filamenten, wobei es sich bei den blau umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 1909 und bei den grün umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 2022 handelt.

5.2 Messung des Zeitpunkts der Supernova des Krebsnebels

Durch die gemessenen abtände der einzelnen Filamente (siehe Kapitel 6.1 - Ausbreitung des Krebsnebels anhand einzelner Fillamente bestimmen) kann man nun die einzelnen Filamente zu ihrer Entstehungszeit während der Supernova zurückdatieren. Hierfür haben wir folgende tabellarische Ansicht erstellt:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Filament1	Filament2	Filament3	Filament4	Filament5	Filament6	Filament7	Filament8	Filament9	Filament10
2	Distanz 1909	200.300	240.400	264.600	241.500	266.700	238.400	300.000	216.500	460.000	227.200
3	Distanz 2022	238.800	272.800	295.300	276.600	307.400	268.200	334.800	246.700	493.200	258.100
4	Differenz	38,5	32.400	30.700	35.100	40.700	29.800	34.800	30.200	33.200	30.900
5	1909->x	584.371	833.409	968.100	772.821	736.033	898.584	968.302	805.229	1556.280	825.883
6	2022->x	696.694	945.732	1080.423	885.144	848.356	1010.907	1080.625	917.552	1668.606	938.206
7	Explosionsjahr	1325.306	1076.268	941.577	1136.856	1173.644	1011.093	941.375	1104.448	353.394	1083.794

Abbildung 34: Abstände und Messwerte der einzelnen Nebelfilamente und des gestackten Bildes

- In der zweiten und dritten Zeile der Tabelle stehen die jeweiligen relativen Abstände der einzelnen Filamente zu unterschiedlichen Zeiten (1909 bis Pulsar in der 2. und 2022 bis Pulsar in der 3. horizontalen Spalte) zum Pulsar in der Mitte des Krebsnebels, wo sich ursprünglich die Supernova ereignete und der Nebel, der sich mit der Zeit ausbreitet, entsprungen ist.

- In der vierten Zeile steht die Differenz dieser beiden Zahlen, wobei die Werte der Beobachtung in 1909 von der späteren Beobachtung, bei welcher es sich um unsere Beobachtung handelt, abgezogen wird. Die Differenz zeigt somit die Ausbreitung der einzelnen Fillamente von 1909 bis 2022 an.

5.Auswertung der Ergebnisse

- Die fünfte und sechste Zeile der Tabelle zeigen den zeitlichen Abstand der jeweiligen Filamente zu der Supernova in Jahren an.
  Dies berechnet man mit der folgenden Formel:

$$ZeitlicherAbstandVonFilamentZurSupernova = \frac{DistanzDesFilamentsZumPulsar}{DifferenzZwischenDistanzVon\,1909\,Und\,2022} \cdot 112{,}323\,Jahre$$

  Dies wird für sowohl für die Werte von dem 13.10.1909, als auch für die Werte von dem 10.01.2022 durchgeführt. Die 112,323 Jahre stehen hierbei für die genaue Anzahl an Jahren zwischen dem 13.10.1909 und dem 10.01.2022, dem Datum an dem wir unsere Beobachtung durchgeführt haben.

- Die siebte Zeile der Tabelle zeigt das Datum an, an welchem das jeweilige Filament aus der Supernova hervorgekommen ist. Somit ist dies zugleich das Explosionsdatum der Supernova für die jeweiligen Filamente.
  Dies berechnet man mithilfe der folgenden Formel:

$$Explosionsdatum\,für\;jeweiliges\,Filament = Jahr\,der\,Aufnahme - Abstand\,des\,Filaments\,zu\,der\,Supernova$$

Nach der Berechnung der einzelnen Daten für die Supernova jedes Filaments, kann man mithilfe der Excel Funktionen MITTELWERT(n_1:n_x) und STABW.N(n_1:n_x) den Mittelwert und die Standartbweichung für diese Messwerte berechnen:

13	Mittelwert	1014.776 AD
14	Std. Abw.	245.223 Jahre

Abbildung 35: Mittelwert und Standardabweichung unserer Werte in Jahren

Somit ergibt sich für den Zeitpunkt der Supernova des Krebsnebels nach unseren Ergebnissen das Jahr 1014,776 mit einer Standardabweichung von 245,223 Jahren. Da diese Werte auf eine Messung basieren, ist es unrealistisch, dass die Nachommastellen dieser Werte

akkurat sind, da dies bedeuten würde, dass wir dass Datum bis zum Tag genau gemessen hätten. Aus diesem Grund sollte man die gegebenen Werte am besten erst physikalich interpretieren, wenn man sie auf eine Nachkommastelle rundet. Somit ist der Mittelwert außerhalb jeglicher Rechnung als 1014,8 Jahre und die Standartabweichung als +- 245,2 Jahre aufzufassen.

Die Abweichung unseres gemessenen Datums, an welchem sich die Supernova des Krebsnebels ereignet hat, von dem eigentlichen Datum der Supernova, welche sich laut den meisten Wissenschaftlern am 4.Juli 1054 ereignet hat (Siehe Kapitel 5.2 – Das Datum der Supernova), kann man nun mithilfe folgender Formel berechnen:

$$Abweichung = 1 - \frac{Berechneter\ Wert}{Literaturwert}$$

Für unsere Messwerte, welche wir in den Rechnungen mit Nachkommastellen angeben um Rundungsungenauigkeiten zu vermeiden, ergibt sich somit eine Abweichung von 3,7% :

$$Abweichung = 1 - \frac{1014,776}{1054,6} \approx 0,037 \approx 3,7\%$$

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Durch unsere Berechnungen erhielten wir für den Zeitpunkt der Supernova des Krebsnebels das Jahr 1014,776. Dieses Datum unterscheidet sich nur um ca. 3,7% von dem 4.Juli 1054, welches nach vielen Wissenschaftlern das eigentliche Datum der Supernova ist.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Filamente (Siehe Kapitel 6.2 – Messung des Zeitpunkts der Supernova des Krebsnebels) ein Filament besonders auf: Das Filament mit der Nr.9. Die Daten dieses Filaments unterscheiden sich Stark von den Daten der restlichen 9 Elemente.

Die einzelnen Fillamente werden, auch bei größter anstrengung, nur ungefähr abgemessen beziehungsweise erkannt, weshalb ihre Position nicht genau ist. Somit ist die Genauigkeit bei den einzelnen Fillamenten unterschiedlich gut, da sie alle eine unterschiedliche Filla-

mententwicklung aufweisen. Da bei Filament Nr.9 die Abweichungen am extremsten sind, haben wir das Filament Nr.9 in einer weiteren Berechnung der Ergebnisse aus der Wertung genommen und folgende Werte für den Mittelwerrt und die Standartbweichung bekommen:

13	Mittelwert	1088.262 AD
14	Std. Abw.	113.193 Jahre

Abbildung 36: Mittelwert und Standartabweichung unserer Werte in Jahren, ohne Filament Nr.9

Diese Werte sollten wiederholt nur auf eine Nachkommastelle genau gedeutet werden.
Die Abweichung vom eigentlichen Datum der Explosion beträgt für diesen Mittelwert, welchen wir für rechnerische Zwecke erneut mit allen Nachkommastellen angeben, um Rundungsungenauigkeiten zu vermeiden, somit:

$$Abweichung = 1 - \frac{1088,262}{1054,6} \approx |-0,032| \approx 3,2\%$$

Folglich ist beim entfernen des 9. Filaments zu beobachten, dass die Standardabweichung um mehr als 50% akkurater wird und, dass die Abweichung vom Literaturwert um ca. 0,5% akkurater wird. Diese Korrektur ist unserer Meinung nach berechtigt, da das 9. Filament der einzige extreme Ausreißer in einer sonst sehr ähnlichen Reihe von Messwerten ist und somit von der Berechnung ausgeschlossen werden sollte. Aber auch mit der Betrachtung der Ergebnisse des 9. Filaments ist unser Ergebnis insgesamt sehr akkurat.
Eine Abweichung von 3,2% - 3,7% ist bei einer solchen Berechnungsmethode unserer Meinung nach erstrebenswert und höchst zufriedenstellend, da uns war schon am Anfang der Messungen klar, dass wir das eigentliche Datum nicht mit exakter Genauigkeit treffen, da während den Messungen und Berechnungen einiges zu ungenauigkeiten des Gesamtergebnisses führen konnte.

6 Fazit

In der vorliegenden Arbeit habe ich mich mit den Endstadien der Entwicklung massereicher Sterne sowohl theoretisch als auch praktisch am Beispiel des Krebsnebels mit meinem Beobachtungspartner Ben Bastigkeit auseinandergesetzt. Während dieser Bearbeitung habe ich einiges über die massereichsten Objekte in unserem Universum gelernt. In der Arbeit habe ich zudem aktuelle Forschungsergebnisse wie die Forschung über Neutronen-Schwarzes-Loch-Systeme und die Bilder von dem Schwarzen Loch in unserer Milchstraße vom ETH einbauen können, was ebenfalls sehr interessant war, da beide Forschungen neue Informationen mit sich brachten. Letzteres ereignete sich sogar während der Schreibzeit und war somit brandaktuell. Die Ergebnisse des praktischen Teils der Arbeit, die ich mit meinem Forschungspartner Ben Bastigkeit erarbeitet und bearbeitet habe, führten ebenfalls zu einem zufriedenstellendem Ergebnis, welches akkurater war, als wir es während unserer Forschung hätten denken können.

Alles in allem hat mir das Verfassen der vorliegenden Facharbeit, auch wenn es nicht immer einfach war sehr viel spaß bereitet und mich somit definitiv sowohl gefordert als auch gefördert.

7 Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei Herrn Bernd Koch , der diesen Kurs geleitet hat und uns stets mit Anregungen und Hilfestellungen zur Seite stand, bei Ben Bastigkeit, mit welchem ich gemeinsam die praktischen Aufnahmen am Teleskop und anschließend die Auswertung der erarbeiteten Bilder gemacht habe, bei meiner Familie die mich in dieser zeit stets unterstützt hat aber auch bei der Physik Fachschaft des Gymnasiums Vohwinkel, die mich auf dieses Angebot am Carl-Fuhlrott-Gymnasium aufmerksam gemacht haben, bedanken.

8 Abschlusserklärung

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

[Datum, Unterschrift]

9 Anhang

Abbildungsverzeichnis

1.Abbildung: Bild des Krebsnebels M1, welches ich mit meinem Beobachtungspartner Ben Bastigkeit aufgenommen und bearbeitet habe, Quelle: Eigenes Bild.....1

2.Abbildung: Carl-Fuhlrott-Gymnasium von außen, Quelle: https://www.alrukaba.at/cms/front_content.php?idart=1129.....1

3.Abbildung: Bild eines Sterns am Ende seiner Lebenszeit, Quelle:https://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/science/neutron_stars.html 2

4.Abbildung: Bildliche Darstellung der Astronomie und der Astrologie, Quelle: https://www.quora.com/What-is-the-relationship-between-astrology-and-astronomy.....3

5.Abbildung: Abbildung des Hertzsprung-Russell-Diagramm, Quelle: https://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/deepsky/hrd-gr.html.....4

6.Abbildung: Bild einer 2 Lichtjahre großen Molekülwolke im Carinanebel, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Molek%C3%BClwolke , Urheber: NASA, ESA, N. Smith (University of California, Berkeley), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA); credit for CTIO Image: N. Smith (University of California, Berkeley) and NOAO/AURA/NSF.....5

7.Abbildung: Schema der Reaktionen des Wasserstoffbrennens, Quelle: Von Sarang - Eigenes Werk, Gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51118538.....6

9.Anhang

8.Abbildung: Formel des Wasserstoffbrennens.....6

9.Abbildung: Thermonukleare Fusionsprozesse innerhalb eines Sterns vom Wasserstoffbrennen bis zum Siliziumbrennen, Quelle: Von Agentjoerg (Diskussion) - Eigenes Werk (Originaltext: selbst erstellt), Gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51695415.....7

10.Abbildung: Erste Aufnahme eines Schwarzen Loches in der Riesengalaxie Messier 87, Aufgenommen am 10. April 2019 von der EHT, Quelle: https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole.....10

11.Abbildung: Aufnahme eines Schwarzen Loches in unserer Milchstraße vom 12.05.2022, Aufgenommen von der EHT, Quelle: https://eventhorizontelescope.org/blog/astronomers-reveal-first-image-black-hole-heart-our-galaxy.....11

12.Abbildung: Darstellung eines Neutronenstern-Schwarzes-Loch-Systems, Quelle: © Carl Knox, OzGrav/ Swinburne University.....12

13.Abbildung: Foto eines Piktogromms im Chaco Canyon, New Mexico, bei welchem es sich wahrscheinlich um eine Darstellung der Supernova von 1054 handelt, Quelle: https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/multiwavelength2.html. .13

14.Abbildung: Tabelle der möglichen Sichtungen der Supernova, Quelle: https://arxiv.org/abs/astro-ph/9904285.....15

15.Abbildung: Bild des 04.07.1054 auf Stellarium mit Sonenbahn, dem Standort des Krebsnebels und der Sonne, Quelle: Eigenes Bild/ https://stellarium-web.org/. .16

16.Abbildung: Bild des Transports des CDK20 Astrographen zum CFG, Quelle: Bernd Koch 17

17.Abbildung: Bild der Montierung des 0,51m Planewave-Teleksops am CFG, Quelle: Bernd Koch.....17

18.Abbildung: Bild des 0,51m Planewave-Teleskops mit meinem Beobachtungspartner, Ben Bastigkeit, und mir, Ali Eren Varisli, Quelle: Eigenes Foto.....17

19.Abbildung: Bild des CDK20 Astrographen, Quelle: https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik.....18

20.Abbildung: Bild der GM4000 HPS II GOTO Montierung, Quelle: https://10micron.eu/montierungen/aequatoriale-montierungen/gm4000-hps-ii-goto-montierung.....18

21.Abbildung: Optolong 2" L-eNhance Nebelfilter, Quelle: https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p11238_Optolong-2--L-eNhance-Nebelfilter-fuer-DSLR-und-Color-Astro-Kameras.html.....19

9.Anhang

22.Abbildung: Filtertransmissionskurve des Optolong L-eNhance Filters, Quelle: https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p11238_Optolong-2--L-eNhance-Nebelfilter-fuer-DSLR-und-Color-Astro-Kameras.html.....19

23.Abbildung: Technische Daten des Optolong 2" L-eNhance Nebelfilters, Quelle: https://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p11238_Optolong-2--L-eNhance-Nebelfilter-fuer-DSLR-und-Color-Astro-Kameras.html.....20

24.Abbildung: Bild einer Canon EOS-RPa, Quelle: https://www.canon.de/cameras/eos-rp/ 20

25.Abbildung: Wettervorhersage für das CFG am 10.01.2022, Quelle: Wetteronline.de.21

26.Abbildung: Bild des Krebsnebels auf Stellarium und des Planewave-Teleskops am Tag der Beobachtung , Quelle: Eigenes Bild.....22

27.Abbildung: Layout des Programms Deep-Sky-Stacker, Quelle: http://deepskystacker.free.fr/german/.....24

28.Abbildung: Bild der hochgeladenen Datenzsätze, Quelle: http://deepskystacker.free.fr/german/.....24

29.Abbildung: Leiste zum Einfügen der Datensätze, Quelle: http://deepskystacker.free.fr/german/.....24

30.Abbildung: Fertig gestacktes Bild des Krebsnebels M1- Ergebnis aller Datensätze des 10.01.2022, Quelle: Eigenes Bild.....25

31.Abbildung: Gestacktes und Bearbeitetes Bild des Krebsnebels M1 vom 10.01.2022, Quelle: Eigenes Bild.....27

32.Abbildung: Aufnahme des Krebsnebels mit dem 60-Zoll Reflektor vom 13.10.1909, Beobachtet von G. W. Ritchey , Quelle: On some methods and results in direct photography with the 60-inch reflecting telescope of the Mount Wilson Solar Observatory by G. W. Ritchey.....28

33.Abbildung: Fertig gestacktes Bild des Krebsnebels M1-Ergebnis aller Datensätze des 10.01.2022, Quelle: Eigenes Bild.....29

34.Abbildung: Aufeinanderliegendes Bild vom Krebsnebel von den Bildern aus 1909 und 2022, Quelle: Eigenes Bild.....30

35.Abbildung: Ausbreitung des Krebsnebels von 1909 bis 2022 anhand 10 Filamenten, Quelle: Eigenes Bild.....31

36.Abbildung: Abstände und Messwerte der einzelnen Nebelfilamente und des gestackten Bildes, Quelle: Eigenes Bild.....32

37.Abbildung: Mittelwert und Standardabweichung unserer Werte in Jahren, Quelle: Eigenes Bild.....33

38.Abbildung: Mittelwert und Standartabweichung unserer Werte in Jahren, ohne Filament Nr.9, Quelle: Eigenes Bild.....35