

***Der letzte Atemzug der Sterne: Das
vielfältige Ende eines Sternlebens***

Von David Ziel

Facharbeit zum Ende eines Sternlebens

Greselius-Gymnasium Bramsche

Fachlehrer: Florian Riemer

Jahrgang 12

Abgabe am 21.02.2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Sterne und ihre Entwicklung.....	2
2.1 Kurze Einführung in die Entstehung von Sternen.....	2
3 Was geschieht nach der Hauptreihe?.....	4
3.1 Kollaps von massearmen Sternen.....	4
3.1.1 Erste Einteilung der massearmen Sterne.....	4
3.2 Kollaps von Sternen, welche eine mittlere Masse enthalten.....	5
3.2.1 Die zweite Einteilung von Sternen mittlerer Massen.....	6
3.3 Kollaps von massereichen Sternen.....	6
3.3.1 Die zweite Einteilung von massereichen Sternen.....	9
4 Auswirkungen der möglichen Supernovä.....	11
5 Fazit und eigene Überlegungen.....	12
6 Glossar.....	13
7 Anhang.....	14
7.1 Literaturverzeichnis:.....	14
7.2 Analoge Literatur:.....	14
.....	14
7.3 Digitale Literatur:.....	14
7.4 Abbildungsverzeichnis:.....	15
8. Erklärungen.....	16
8.1 Versicherung der selbständigen Erarbeitung und.....	16
8.2 Erklärung zur Veröffentlichung.....	16

1 Einleitung

Sterne erscheinen für uns Menschen auf den ersten Blick allgegenwärtig und unspektakulär, in der Realität sind sie jedoch vielfältig und komplex. Sterne sind „gewissermaßen die Bausteine der Galaxien“¹ und spielen bei der Entwicklung dieser eine signifikante Rolle.² Doch was passiert, wenn so ein Sternleben endet? Welche Prozesse sind die Ursache für dieses Ende und sorgen dafür, dass so ein heller, kosmischer Körper seine Energie aufbraucht und schließlich aufhört zu leuchten. Genau diesen Fragen möchte ich mich in dieser Seminararbeit widmen.

Damit Sie einen besseren Überblick und ein besseres Verständnis über das Thema erhalten, werde ich anfangs kurz auf die Entstehung und Entwicklung der Sterne eingehen. Darauf folgend werde ich mich chronologisch dem Hauptthema zueignen und Ihnen die unterschiedlichen Endphasen, die Sterne erreichen können, zeigen, dabei gehe ich zunächst auf die masseärmeren, eher unspektakulären Sterne ein, später auf die massereichen.

Gegen Ende gehe ich auf die Auswirkungen der möglichen Supernovä ein, welche eine signifikante Rolle bei den Enden der Sternleben spielen. Diese zeichnen sich durch eine extreme Explosion aus, die Teile massereicher Sterne komplett zerstören.³

Abschließend bilden ein Fazit und abschließende Überlegungen zu diesem Thema das Ende dieser Seminararbeit. Beim Lesen dieser wissenschaftlichen Arbeit werden Sie ein besseres Verständnis vom Universum und dessen Prozesse erlangen, sowie einen kleinen Einblick in die vielfältigen Vorgänge des kosmischen Raums erhalten.

¹Zitiert nach National Geographic:

<https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2019/03/was-ihr-schon-immer-ueber-die-sterne-wissen-wolltet>

²Vgl. nach Welt der Physik: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/galaxien-und-galaxienhaufen/>

³Vgl. nach Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova>

2 Sterne und ihre Entwicklung

2.1 Kurze Einführung in die Entstehung von Sternen

Unsere Sterne, wie wir Sie heute kennen, waren ursprünglich große Gaswolken, welche zum größten Teil aus Wasserstoff und etwas Helium bestanden, den beiden Elementen, die beim Urknall entstanden sind.

Diese Gaswolken, welche sich im Universum befinden, weisen unter ihren Teilchen eine Gravitationskraft auf. Laut dem Gravitationsgesetz zieht sich nämlich jede Masse untereinander an. Durch diese herrschende Gravitationskraft werden die einzigen Moleküle innerhalb dieser Gaswolke immer weiter untereinander zusammengezogen, wodurch in bestimmten Bereichen eine regelrechte Anhäufung der Teilchen entsteht.

Infolge der höheren Dichte in diesen isolierten Bereichen steigt die Gravitationskraft. Dadurch werden umgebende Teilchen noch stärker angezogen und es kommt final zu einem Kollaps bei dem die gesamte Wolke in Richtung Schwerkraft hingezogen wird. Der ganze Prozess ist dabei mit Wirbeln und turbulenten Bewegungen verbunden. Es entsteht somit durch die Ballung der Moleküle eine riesige Gaskugel, welche selbst eine Rotation aufweist. Durch das weitere Zusammenziehen der Kugel(aufgrund der in ihr herrschenden Gravitation) passiert etwas spektakuläres.⁴

Die Kugel fängt sich an immer schneller zu drehen⁵, dies liegt an den sogenannten *Piroutteneffekt*⁶ bzw. am Drehimpulserhaltungssatz, welcher besagt, dass in einem geschlossenen System der Drehimpuls den gleichen Wert betragen muss. Wenn wir uns nun die Formel für den Drehimpuls eines Körpers anschauen $L = J \cdot \omega$, stellen wir fest das bei der Minderung von dem Trägheitsmoment J , die Winkelgeschwindigkeit ω steigen muss, damit Drehimpuls L konstant bleiben kann. Genau das passiert bei der Gaskugel, denn durch das Zusammenziehen des Körpers, verringert sich der Trägheitsmoment und die Kugel erhöht dabei ihre Winkelgeschwindigkeit bzw. Rotationsgeschwindigkeit, um den Drehimpuls konstant zu halten.⁷

4 Vgl. nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=Vi3n78Hm7j0>

5 Vgl. nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=Vi3n78Hm7j0>

6 Verweis auf Glossar

7 Vgl. nach LEIFphysik:
<https://www.leifiphysik.de/mechanik/drehbewegungen/grundwissen/drehimpuls>

Durch die erhöhte Rotationsgeschwindigkeit kommt es zu einer enormen Steigerung der Fliehkraft, diese Fliehkraft widersetzt sich nun in der waagerechten Ebene, also in der Ebene der Rotation dem weiteren Zusammenziehen der Kugel, infolgedessen ziehen sich die Moleküle nur noch senkrecht zur Ebene zusammen, was zu einer Entstehung einer Scheibe führt.⁸

Innerhalb dieser protoplanetaren Scheibe, welche sich durchgehend dreht, werden die schwereren Elemente nach außen geschleudert, woraus im weiteren Verlauf Planeten entstehen. Im Zentrum dieser Scheibe zieht die Gravitation hingegen die Masse weiter in das Massenzentrum der Scheibe hinein, wodurch sich das meiste Gas sich im Zentrum ansammelt, daraus resultiert der sogenannte Protostern. Wenn der Protostern jetzt immer mehr Masse anhäuft, steigt der Druck und die Temperatur im Zentrum dieses Protosterns immer mehr an, schließlich wird der Druck so stark, dass die Kernfusion von Wasserstoff im Zentrum starten kann, dabei werden einfach gesagt 2 Wasserstoffkerne miteinander verschmolzen. Bei dieser Fusion wird eine nach außen gerichtete Energie bzw. Strahlungsdruck frei, welche gegen die Gravitation wirkt und das weitere Zusammenziehen den Sterns stoppt, somit entwickelt sich ein stabiles, hydrostatisches Gleichgewicht zwischen dem Strahlungsdruck und der Gravitation. Der Stern hat sich gebildet, ab diesem Zeitpunkt befindet sich der Stern im Hauptreihenstadium, in diesem Zustand sorgt das Wasserstoffbrennen für eine hohe Stabilität und der Stern kann die meiste Zeit seines Lebens in diesem Zustand verbringen, bis der Brennstoff für die Fusion aufgebraucht ist.⁹

Die Masse des Sterns entscheidet nun, wie lange er in diesem Zustand verbleibt, desto massereicher der Stern, desto mehr Wasserstoff wird verbraucht und desto schneller endet dieses Stadium.¹⁰

⁸Vgl. nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=Vi3n78Hm7j0&t=216s>

⁹Vgl. Nach LEIFIphysik:

<https://www.leifiphysik.de/astronomie/fixsterne/grundwissen/hauptreihenstadium>

¹⁰ Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 122

3 Was geschieht nach der Hauptreihe?

3.1 Kollaps von massearmen Sternen

Daher, dass die weiteren Entwicklungsstadien bzw. Endstadien stark von der Masse des Sterns abhängen¹¹, ist es sinnvoll die weiteren Verläufe darauf basierend aufzubauen. Um dies strukturiert und einheitlich gestalten zu können, konzentriere ich mich der Einfachheit halber auf die Sonnenmassen der Sterne.

3.1.1 Erste Einteilung der massearmen Sterne

Angefangen mit den massearmen Sternen, welche etwa das 0,08 bis 0,5-fache einer Sonnenmasse aufweisen.¹² Ist der Wasserstoff im Kern bei diesen Arten von Sternen vollständig zu Helium fusioniert, gibt es keine Energie bzw. Druck mehr, welche dem Gravitationsdruck standhält. Somit fängt der Stern an sich zusammenzudrücken.“Es kommt zu Instabilitäten, worauf der Stern seine äußeren Schichten[,welche außerhalb des Heliumkerns übrig geblieben sind] vom Kern abstößt“¹³ Im Kern steigt dabei wieder die Temperatur und der Druck des Sterns, dennoch reicht die erhöhte Temperatur nicht aus um die Heliumfusion im Inneren zu starten¹⁴, da die Kerne des Heliums aufgrund ihrer doppelten, positiven Ladung viel schwerer zu fusionieren sind, als die Wasserstoffkerne, welche lediglich einfach positiv geladen sind.¹⁵

Das weitere Zusammenziehen wird durch einen Effekt aus der Quantenmechanik gestoppt: Die Elektronen, welche sich nämlich im Kern des Sterns befinden sind durch die hohen Temperaturen und den hohen Druck vollständig ionisiert.¹⁶ Es bildet sich im Inneren des Sterns ein *entartetes Elektronengas*¹⁷, welche einen Druck, den sogenannten Entartungsdruck, gegen die Gravitation ausübt. Dieser Druck basiert auf dem Pauli-Prinzip, welche vereinfacht gesagt, den Elektronen

11Vgl nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=6nJBVd3wjEM&t=17s>

12Vgl nach cosmos-indirekt: https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Roter_Zwerg?utm_content=cmp-true

13Zitiert nach:sternwarte-berfing: <http://www.sternwarte-berfing.de/Fuehrung/Objektbeschreibung/Sternentwicklung.html>

14Vgl nach Mario Lehwald: http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm

15

Vgl nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=vA9jdObwRkM>

16Vgl. nach nuclphys: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/n10a.htm> über DeepL ins Deutsche übersetzt

17 Verweis auf Glossar

eine Grenze ihres einnehmbaren Raums gibt, dabei reicht die Gravitationskraft nicht aus, um die den Mindestraum noch weiter zu verkleinern.¹⁸

Das weitere Zusammendrücken des Sterns wird also verhindert.¹⁹ Der Stern ist im Laufe dieses Prozesses dennoch stark geschrumpft und man bezeichnet ihn nun als einen weißen Zwergen, dieser verharrt nun lange in seinem Zustand und wird in dem kommenden Milliarden Jahren langsam abkühlen, er wird sich zu einem schwarzen Zwergen fortentwickeln.²⁰

3.2 Kollaps von Sternen, welche eine mittlere Masse enthalten

Schauen wir uns nun die Sterne an, welche das 0,5 bis 4-fache einer ursprünglichen Sonnenmasse aufweisen. Diese Sterne durchgehen auch den normalen Prozess der Hauptreihe und fusionieren zunächst Wasserstoff im Kern des Sternes zu Helium, ist der Großteil des Wasserstoffs im Kern jedoch zu Helium aufgebraucht, kann, wie bereits schon erwähnt, die Gravitation siegen und der Heliumkern beginnt sich anfangs zusammenzudrücken, dies führt wieder zu einem starken Anstieg von Druck und Temperatur im Innern, sodass die Heliumfusion zünden kann. Durch diesen Vorgang wird erneut enorm viel Energie und Wärme frei, sodass selbst die Schale um den Kern, welche selbst noch Wasserstoff enthält, anfangen kann ihr noch vorhandenes Wasserstoff zu Helium zu fusionieren. Dieser Vorgang wird als „Schalenbrennen“ bezeichnet.²¹

Der Strahlungsdruck vom Wasserstoffbrennen in der Schale führt infolgedessen dazu, dass sich die äußeren Schichten des Sterns extremst aufblähen.²² Bei diesem „Aufblähprozess“ kann der Durchmesser des Stern bis aufs Zehnfache ansteigen.²³

Ist nun im Zentrum des Sterns das Helium fast vollständig zu Kohlenstoff fusioniert, drückt der Kern sich wieder zusammen, dabei wird der Druck und die Temperatur erneut erhöht, dass nun auch wieder die äußere Schale des Kohlenstoffkerns, das noch vorhandene Helium auch fusionieren kann. Diese

18 Vgl. nach nuclphys: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/n10a.htm> DeepL ins Deutsche übersetzt

19 Vgl. nach Sun.org: <https://www.sun.org/de/encyclopedia/degeneracy>

20 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 125

21 Vgl. nach Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schalenbrennen>

22 Vgl. nach Wikipedia:

https://de.wikipedia.org/wiki/Roter_Riese#Entwicklung_Roter_Riesen_bis_zum_Asymptotischen_Riesenast

23 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124

Fusion endet jedoch auch irgendwann und das Schalenbrennen findet somit auch sein Ende.²⁴

Der Kohlenstoffkern fällt ab diesem Zeitpunkt in sich zusammen und stößt dabei die flexiblen, instabilen äußeren Schichten des Kerns weg, die äußeren Schichten entwickeln sich im weiteren Verlauf zu einem planetarischen Nebel, der Kern selbst erleidet hingegen das gleiche Schicksal wie der weiße Zwerg und kühlt in Laufe von Millionen von Jahren zu einem schwarzen Zwerg ab.²⁵

3.2.1 Die zweite Einteilung von Sternen mittlerer Massen

Diese 2 eben genannten Fusionsstufen geschehen bei Sternen, welche das 0,5 bis 4-fache einer Sonnenmasse aufweisen. Sterne, welche hingegen das 4 bis 8-fache einer solaren Masse aufweisen, haben genug Masse und somit genug Gravitationsdruck, um den Kern so stark zu erhitzen, dass die Fusion von Kohlenstoff im inneren des Sterns starten kann. Die Fusion verläuft so lange bis der Kohlenstoff erschöpft ist und der Kern des Sterns sich anfängt zu verdichten. Die Pressure und Hitze nehmen im Kern wieder zu, reichen jedoch nicht aus um die Verschmelzung von Kohlenstoff herbeizuführen. Der Stern endet somit auch als weißer Zwerg, der von dem planetarischen Nebel umgeben ist und kühlt über einen langen Zeitraum langsam ebenfalls zu einem schwarzen Zwerg ab.²⁶

3.3 Kollaps von massereichen Sternen

Doch was passiert, wenn die Sterne eine noch höhere Ursprungsmasse aufweisen? Um diese Frage zu beantworten gehen wir auf die nächsthöhere Ebene der Sonnenmassen, Sterne, welche das 8 bis 25 fache einer Sonnenmasse betragen.²⁷

Sterne dieser Massenordnung haben ein durchaus spektakuläreres Ende als ihre Vorläufer. Diese Arten von Sternen haben nämlich genug Masse, um die restlichen Fusionsstufen im Kern auszulösen. Das bedeutet, dass zunächst der Kohlenstoff wie üblich im Innern des Kerns zu Magnesium fusioniert wird,

24 Vgl nach Mario Lehwald:

http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm

25 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/125

26Vgl nach Mario Lehwald: http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm

27 Vgl nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=6nJBVd3wjEM&t=13s>

aufgrund der erhöhten Ursprungsmasse kann jedoch deutlich mehr Kohlenstoff zu Magnesium, dem Produkt des fusionierten Kohlenstoffs, fusionieren.

Dieser Prozess endet infolge des begrenzten Kohlenstoffs allerdings auch mit der Zeit und es bleibt ein massiver Magnesiumkern über. Aufgrund dessen, dass nun kein Strahlungsdruck mehr freigesetzt wird, zieht sich der Kern wieder zusammen.

Durch die erhöhte Masse des Magnesiumkerns hat der Stern jedoch die Möglichkeit, sich so stark zu verdichten, dass der Kern anfangen kann sein Magnesium zu fusionieren, dabei können sogar wieder die Kohlenstoffreste um den Magnesiumkern ebenfalls fusioniert werden.²⁸ Dieser Prozess wiederholt sich und es entstehen, unterschiedliche Elemente²⁹, „wie Neon, Natrium, Magnesium, Silizium, Schwefel, Nickel, Kobalt und schließlich Eisen.“³⁰ Bei dieser Entstehung der unterschiedlichsten Elemente fängt der Kern an um sich herum eine Art Schichtenanordnung zu bilden. Dort werden jeweils die Überreste des vorherig entstandenen Elements in einer Schale(Schicht) um den Kern herum fusioniert.³¹ In jeder einzelnen Schale findet also eine Fusion anderer Elemente statt, ganz außen Wasserstoff, in der Schale darunter Helium und so weiter³²:

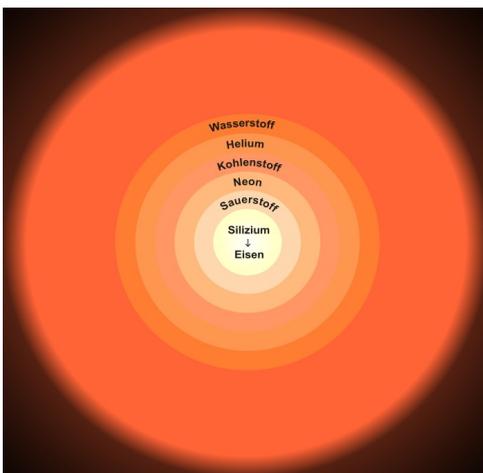


Schaubild 1: Quelle M1 im Literaturverzeichnis

Das Verfahren der Fusion im Kern selbst stoppt allerdings beim Eisen, die Fusion dieses Elements wäre nämlich eine

28 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/126

29 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/125

30 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/125

31 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/125

32 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 124/125

endotherme Reaktion, bei diesem Prozess müsse man also mehr Energie aufwenden, als der Prozess selber abgeben würde. Somit hätte der Kern keinen Strahlungsdruck mehr von der Fusion und er würde der Schwerkraft nicht mehr standhalten können.³³

Das einzige Element, was nun noch im Kern fusioniert, ist das Silizium zu Eisen, die Masse an Silizium nimmt immer mehr ab, parallel dazu die Fusionsleistung und der damit verbundene Strahlungsdruck. Mit dem Wachsen der Eisenmasse verliert der Eisenkern selbst also immer mehr an Stabilität, da sich immer weniger Strahlungsdruck gegen die Gravitationskraft widersetzen kann. Erreicht der Eisenkern beim Wachsen die 1,44-fache Sonnenmasse (Chandrasekhar-Grenzwert³⁴), so erreicht er einen kritischen Grenzwert und es kommt zu einer kritischen Situation: Der Elektronendruck vom elektronentartem Eisen kann der Gravitation ab diesem Punkt nicht mehr standhalten, es kommt zu einer extremen Verdichtung des Kerns, bei diesem extremen Kollaps bricht der komplette Stern „innerhalb von Millisekunden“³⁵ zusammen.³⁶

Bei diesem unglaublichen Vorgang wird es energetisch möglich, dass die Elektronen, welche aufgrund der hohen Temperatur in einem ionisierten Zustand vorliegen, in die Atomkerne hineingepresst werden und sich mit den Protonen verbinden und zu neuen Neutronen werden, nahezu der ganze Stern wird somit in Neutronenmasse verwandelt.³⁷

Der Kern schrumpft nach diesen Umwandlungen noch weiter bis die Neutronen, ähnlich wie die Elektronen im weißen Zwerg, einen neuen Entartungsdruck bilden und den Zusammenziehprozess auf einmal stoppen.³⁸ In der Mitte bildet sich ein stabiler Neutronenstern. Die restliche äußere Masse, welche sich außerhalb des Kerns befindet, prallt durch die immer noch herrschende Gravitationsenergie dabei heftig gegen den stabilen Kern. Es kommt zu einer extremen Explosion, bei der die Schalen mit so einer enormen Kraft gegen den stabilen Kern prallen, dass sie mit einer unvorstellbaren Kraft vom Kern abgesprengt werden und in die Galaxie herausgeschleudert werden. Diese Explosion nennen wir Supernova. Unter diesen unvorstellbaren Energiemengen, wird es in der Umgebung dieser

33 Vgl. nach ChatGPT (2023): chat.open.ai, Prompt: Warum hört die Fusion bei Eisen auf? Screenshot der Antwort im Anhang

34 Verweis auf Glossar

35 Vgl. nach wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova>

36 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 126

37 Vgl. nach Mario Lehwald:

http://www.andromedagalaxie.de/html/sternarten_neutronenstern.htm

38 Vgl. nach Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern>

Explosion möglich, weitere Elemente entstehen zu lassen, die ursprünglich keine Möglichkeit hatten im Sterninneren zu entstehen. Diese Elemente werden anschließend durch die Supernova im Weltall verteilt.³⁹

Zurück bleibt ein Nebel, welcher sich aus der herausgeschleuderten Masse gebildet hat, der Supernova-Überrest. Im Innern des Restes bleibt hingegen, wie bereits erwähnt, ein Neutronenstern über. Dieser besteht nun fast nur aus Neutronen, weist lediglich einen Durchmesser von wenigen Kilometern auf und seine Masse beträgt mindestens 1,44 solare Massen. Damit weist der Neutronenstern eine nahezu unvorstellbar hohe Dichte auf. Ein Kubikzentimeter von diesem kosmischen Körper beträgt die Masse von mehreren Millionen Tonnen auf.⁴⁰

Hinzu kommt die extremst schnelle Rotation des Neutronensterns. Dadurch, dass der ursprüngliche Stern sich gedreht hat, dreht sich der Neutronenstern auch. Der Unterschied ist dabei jedoch, dass durch den Piroutteneffekt die Geschwindigkeit um ein vielfaches zugenommen hat, da sich der Radius extremst minimiert hat.⁴¹ Im Laufe der Zeit verliert der Neutronenstern allerdings immer mehr an Energie und verringert somit seine Rotationsgeschwindigkeit, wodurch er zu einem schwarzen, stark abgekühlten Körper wird.⁴²

3.3.1 Die zweite Einteilung von massereichen Sternen

Widmen wir uns nun den Sternen, welche eine noch höhere Ursprungsmasse aufweisen, Sternen ab ca. 25 Sonnenmassen. Solche massiven Sternen durchlaufen zunächst ähnliche Prozesse, wie ihre Vorläufer. Die Kernfusion findet im Inneren statt, das erzeugt wiederum Strahlungsdruck, welche den Kern vor Gravitation „schützt“. Irgendwann endet der Brennstoff für die Fusion und es bildet sich ebenfalls ein Eisenkern in der Mitte dieser Sterne. Dieser führt dazu, dass kein Strahlungsdruck mehr ausgesendet wird und es zu einem sehr starken Gravitationskollaps kommt und ebenfalls eine Supernova stattfindet, wobei die

³⁹Vgl. nach Mario Lehwald: http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_supernova.htm

⁴⁰ Vgl. nach Mario Lehwald:

http://www.andromedagalaxie.de/html/sternarten_neutronenstern.htm

⁴¹Vgl. nach Dr. Gerd Ganteför: <https://www.youtube.com/watch?v=6nJBVd3wjEM&t=428s>

⁴²Vgl. nach Abenteuer-Universum: <https://abenteuer-universum.de/stersterne/neutro.html#bruch>

äußeren Schichten in den kosmischen Raum geschleudert werden, der Kern hingegen fällt immer weiter in sich zusammen.⁴³

Überschreitet der Eisenkern das 3,2-fache der solaren Masse (Oppenheimer-Volkoff-Grenze), was bei Sternen dieser Massenkategorie der Fall ist, kann der Stern ähnlich zur Chandrasekhar-Grenze, seinen gebildeten Neutronendruck nicht mehr aufrechterhalten, es kommt zu einem noch stärkeren Kollaps über den herrschenden Neutronendruck hinaus.⁴⁴

Drückt der Stern sich nun immer weiter zusammen, steigt die Gravitationskraft und parallel dazu auch die Entweichgeschwindigkeit, die man bräuchte, um das Innere dieses Sterns zu verlassen, an. Im Verlauf dieses Prozesses steigt die Entweichgeschwindigkeit bis zur Lichtgeschwindigkeit an.⁴⁵ In Folge dessen kann nichts mehr den Stern verlassen, nicht mal mehr Licht.⁴⁶ Es hat sich ein schwarzes Loch gebildet, wobei die äußere Oberfläche des Schwarzen Lochs der sogenannte Ereignishorizont ist. Dies ist die Grenze, an der ein Gleichgewicht zwischen dem Gravitationsfeldes und der Anstrengungen des Lichts, das Schwarze Loch zu verlassen, entsteht. Sobald man den Ereignishorizont überschritten hat, ist es nicht mehr möglich, dem schwarzen Loch zu entkommen. Man geht davon aus, dass jedes Objekt, welches den Ereignishorizont überschreitet, sofort in Richtung der Singularität, einem Punkt im Zentrum des schwarzen Lochs, welche sich immer weiter komprimiert, also eine unendlich Dichte besitzt, gezogen wird.⁴⁷

Wie sich ein Schwarzes Loch langfristig entwickelt ist den Menschen noch nicht klar. Es gibt immer noch viele, offene Fragen zum Schwarzen Loch, welche derzeit noch nicht beantwortet werden können.⁴⁸

⁴³[Vgl. nach studysmarter:](https://www.studysmarter.de/schule/physik/astrophysik/schwarzes-loch/)

<https://www.studysmarter.de/schule/physik/astrophysik/schwarzes-loch/>

⁴⁴ Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 130

⁴⁵ Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 130

⁴⁶ Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 130

⁴⁷ Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 130

⁴⁸ Vgl. nach ChatGPT (2023): chat.open.ai, Prompt: Also weiß man nicht genau, wie sich ein schwarzes Loch entwickeln wird? Screenshot der Antwort im Anhang

4 Auswirkungen der möglichen Supernovä

Wie man jetzt bereits gesehen hat, spielen Supernovä eine wichtige Rolle bei den Ende der Lebenszeit von massereichen Sternen, doch was für allgemeine Auswirkungen haben Sie noch auf unseren Kosmos? Ich werde mich hier ausschließlich auf die bereits besprochene Kernkollaps-Supernova beziehen. Wie wir bereits wissen entsteht während dieser Explosion enorm viel Druck und Energie, wodurch es zu der Freisetzung der bereits entstandenen Neutronen in den äußeren Bereichen des Kerns kommt. Durch ihren extremst hohen Druck erreichen die Neutronen sehr schnelle Geschwindigkeiten, gelangen nun Atomkerne aus de Schalen des Kerns in diese Neutronenflüsse hinein, bilden sich neue Kerne, welche Neutronen an sich gebunden haben.

Im weiteren Verlauf kommt es aufgrund der Instabilität der neuen Kerne zu einem Beta-Zerfall der Neutronen, bei dem die Neutronen zu Protonen zerfallen. Durch den Vorgang entstehen neue, schwerere Elemente⁴⁹, welche zusammen mit den anfangs entstandenen Elementen durch die enorme Explosion im Universum verteilt werden. Diese Verstreuungen der Elemente führt unter anderem zur Entstehung von Planeten und eventuell sogar Leben. Die extreme Explosionen fördert allerdings nicht nur die Planetenbildung, sondern gleichzeitig entsteht auch eine unvorstellbare Schockwelle währenddessen, welche zu weiteren Molekülverdichtungen im All führen kann und damit die Bildungen von Sternen enorm fördern kann.⁵⁰

49 Vgl. nach HZDR: <https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10483&pNid=0&pLang=de>

50 Vgl. nach Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 (Verlag Bertelsmann Club GmbH), S. 126

5 Fazit und eigene Überlegungen

Wie man unschwer erkennen kann, ist das Ende eines Sternlebens ein faszinierendes und spektakuläres Thema, es ist ein Thema, welche viele verschiedene Einblicke in die Welt der Astronomie gewährt, es geht von heftigen Explosionen bis hin zur Bildung von Neutronensternen und Schwarze Löchern. Dabei zeigt uns die Thematik der Sterne, vor allem das Ende ihrer, wie spannend Astronomie eigentlich sein kann und wie viel Sie mit uns Menschen aktiv zu tun hat. Ein Stern ist nämlich nicht nur ein einfacher kosmischer Körper, der nichts mit uns am Hut hat, nein, ganz im Gegenteil, er ist der Erschaffer von Elementen und Leben und ermöglicht uns Menschen überhaupt eine Existenz auf unserem Planeten zu haben.

Ich hoffe, dass die Leser dieser Seminararbeit die Astronomie nun aus einem anderen Blickwinkel betrachten können und eine stärkere Motivation erlangen selbst weiter in die Materie einzutauchen und sich weiterzubilden!

6 Glossar

(1) Pirouetteneffekt:

Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit durch Minimierung des Radius beim rotierenden Körper.

(2) entartetes Elektronengas:

Quantengas, welches unter extremen Bedingungen besteht

(3) Chandrasekhar-Grenzwert:

maxximale Massengrenze für einen weißen Zwerg

7 Anhang

7.1 Literaturverzeichnis:

7.2 Analoge Literatur:

- [Clark, Stuart aus: Sterne und Weltall, Sterne und Weltall, veröffentlicht Gütersloh 1995 \(Verlag Bertelsmann Club GmbH\), S. 122-13](#)

7.3 Digitale Literatur:

- [Abenteuer-Universum, aus:https://abenteuer-universum.de/stersterne/neutro.html#bruch](https://abenteuer-universum.de/stersterne/neutro.html#bruch)
- [cosmos-indirekt, aus:https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Roter_Zwerg?studysmarter](https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Roter_Zwerg?studysmarter)
- [studysmarter, aus:https://www.studysmarter.de/schule/physik/astronomie/schwarzes-loch/](https://www.studysmarter.de/schule/physik/astronomie/schwarzes-loch/)
 - [ChatGPT \(2023\): chat.open.ai, Prompt: Also weiß man nicht genau, wie sich ein schwarzes Loch entwickeln wird? Screenshot der Antwort im Anhang](#)
 - [ChatGPT \(2023\): chat.open.ai, Prompt: Warum hört die Fusion bei Eisen auf? Screenshot der Antwort im Anhang](#)
 - [Dr. Gerd Ganteför, aus https://www.youtube.com/watch?v=Vi3n78Hm7j0](https://www.youtube.com/watch?v=Vi3n78Hm7j0)
 - [HZDR, aus:https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10483&pNid=0&pLang=de](https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=10483&pNid=0&pLang=de)
 - [LEIFphysik, aus: https://www.leifiphysik.de/mechanik/drehbewegungen/grundwissen/drehimpuls; https://www.leifiphysik.de/mechanik/drehbewegungen/grundwissen/;https://www.leifiphysik.de/astronomie/fixsterne/grundwissen/hauptreihenstadium](#)
 - [M1: Nach Mario Lehwald:http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm](#)
- [Mario Lehwald, aus: http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm;http://www.andromedagalaxie.de/html/sternarten_neutronenstern.htm ; http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_supernova.htm:](#)
 - [National Graphic, aus: https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2019/03/was-ihr-schon-immer-ueber-die-sterne-wissen-wolltet](#)
 - [nuclphys, aus:http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/n10a.htm über DeepL ins Deutsche übersetzt](http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt/n10a.htm)

- [sternwarte-berfing. aus:http://www.sternwarte-berfing.de/Fuehrung/Objektbeschreibung/Sternentwicklung.html](http://www.sternwarte-berfing.de/Fuehrung/Objektbeschreibung/Sternentwicklung.html)
- [Sun.org. aus:https://www.sun.org/de/encyclopedia/degeneracy](https://www.sun.org/de/encyclopedia/degeneracy)
 - Welt der Physik, aus <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/galaxien-und-galaxienhaufen/>
 - Wikipedia, aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova> ; <https://de.wikipedia.org/wiki/Schalenbrennen> ; https://de.wikipedia.org/wiki/Roter_Riese#Entwicklung_Roter_Riesen_bis_zum_Asymptotischen_Riesenast ; <https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronensterne>

7.4 Abbildungsverzeichnis:

- [M1: Nach Mario](#)
[Lehwald:http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm](http://www.andromedagalaxie.de/html/sterne_massearm.htm)

Alle Quellen wurden zuletzt am 26.02.2024 aufgerufen!

8. Erklärungen

8.1 Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet)

entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den 20.02.24_____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

8.2 Erklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir ver-fasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den 20.02.24_____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers