



Von der Molekülwolke zum Sternensystem

Facharbeit zum Seminarfach Astronomie

Jacques Chiriac

Fachlehrer: Florian Riemer

Jahrgang 12

Abgabedatum: 07.03.2022, Bramsche

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Molekülwolken – Sternentstehungsgebiet.....	3
2.1 Allgemein.....	3
2.2 Entdeckung.....	4
2.3 Riesenmolekülwolken.....	4
2.4 Bok-Globule.....	5
2.5 Jeans-Kriterium.....	5
3. Phasen der Sternentstehung.....	6
3.1 Allgemein.....	6
3.2 Erster Kollaps.....	7
3.3 Der Einfluss von Magnetfeldern.....	7
3.3.1 Magnetischer Druck behindert den Kollaps.....	8
3.3.2 Der positive Einfluss.....	9
3.4 Zweiter Kollaps – Protosterne.....	10
3.4.1 Akkretion.....	10
3.5 Vorhauptreihensterne.....	10
3.5.1 Akkretionsscheibe.....	11
3.5.2 T-Tauri Sterne.....	11
3.5.3 Herbig-Ae/Be-Sterne.....	11
4. Schluss.....	12
5. Quellenverzeichnis.....	13

1. Einleitung

In dunklen Nächten, wenn der Himmel klar ist, sehen wir Tausende von Sternen als winzige Lichtpunkte über unseren Köpfen funkeln. Alle diese Sterne gehören zu unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße. Insgesamt gibt es rund 100 Milliarden Sterne in unserer Galaxie, doch nur die hellsten sind mit dem bloßen Auge sichtbar. Einige sind sehr hell und auffällig, andere wiederum eher blass und unauffällig. Manche Sterne erscheinen näher beieinander zu liegen als andere. Wenn man diese mit Linien verbindet, hat man den Eindruck, Dinge zu erkennen. Auf diese Weise haben Menschen angefangen, Sternbilder zu sehen. Früher glaubten viele Menschen, dass die Götter die Sterne erschaffen haben. Sie dachten auch daran, dass man die Zukunft aus den Sternen ablesen kann. Das Licht der Sterne erreicht die Erde zu sehr verschiedenen Zeiten, da die Entfernung des jeweiligen Sterns zur Erde unterschiedlich ist. So erreicht uns das Licht der Sonne schon nach 8 Minuten, das Licht des Sirius dagegen erst nach 8 Jahren. Deshalb können wir die Sterne heute nur so sehen, wie sie vor dieser Zeit aussahen, als das Licht sie verließ.

Die Sternentstehung in unserer Galaxie ist keinesfalls als eine in der Vergangenheit abgeschlossene Angelegenheit zu betrachten. Im Gegenteil, es bilden sich auch über die heutige Zeit hinaus immer wieder neue Sterne im Bereich der dichten und kalten interstellaren Gaswolken. Dieser Prozess dauert eine Ewigkeit. Die Sterne werden geboren, sie leben eine bestimmte Zeit und sterben schließlich.

Der Titel meiner Facharbeit lautet „Von der Molekülwolke zum Sternensystem“. Im folgenden werde ich versuchen, diesen Ablauf zu erklären.

Ich beginne mit den Molekülwolken, dem Geburtsort der Sterne. Danach erkläre ich, was eine Molekülwolke ist und woraus sie besteht und wie sie entdeckt wurden. Im Anschluss erläutere ich, was Riesenmolekülwolken

sind und befrage mich mit den Bok-Globulen und dem Jeans-Kriterium.

Im nächsten Kapitel erkläre ich die verschiedenen Phasen der Sternentstehung und welchen Einfluss Magnetfelder auf sie haben.

2. Molekülwolken – Sternentstehungsgebiet

2.1 Allgemein

Interstellare Molekülwolken sind der Geburtsort von Sternen. Nur ihre besonderen Eigenschaften erlauben die Entstehung von Sternen. Eine Molekülwolke bezeichnet eine sehr dichte Ansammlung von Gas und Staub im interstellaren Medium.¹ Diese Molekülwolken befinden sich meist in den Spiralarmen der Galaxien.² Von einer gewöhnlichen Gaswolke unterscheidet sie sich vor allem durch ihre sehr niedrige Temperatur. Durch ihre Dichte und Temperatur enthält eine Molekülwolke das häufigste Element im



Emissionsnebel M42 - Orionnebel
(<https://www.astrogarten-bramsche.de/astrofotos/>)

Universum den atomaren Wasserstoff in molekularer Form.³ Diese Molekülwolken bestehen zu etwa 70 % aus molekularem Wasserstoff, das von einer Hülle aus neutralen Wasserstoffatomen (H-I) umschlossen ist. In ihnen sind neben Wasserstoff auch andere Moleküle zu finden, z.B. Kohlenmonoxid. Ungefähr 1 % der Masse liegt außerdem in Form von

1 <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

2 <https://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>

3 <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

interstellarem Staub vor.⁴

2.2 Entdeckung

Die ersten Anzeichen dieser Wolken wurden durch Beobachtungen im 18. und 19. Jahrhundert deutlich: Caroline Herschel berichtete dass ihr Bruder Wilhelm Herschel im Sternbild Skorpion eine scheinbar sternlose Region gefunden hatte die aus heutiger Sicht einer solchen Molekülwolke entspricht. Am Anfang des 20. Jahrhunderts konnten groß angelegte Himmelsaufnahmen mit Fotografien zeigen dass diese dunklen Bereiche durch interstellare Wolken verursacht wurden, die die dahinter liegenden Sterne verdeckten. Bart Bok identifizierte diese dunklen Wolken schließlich als Orte der Sternentstehung während ihre Zusammensetzung ein Rätsel blieb.⁵

2.3 Riesenmolekülwolken

Sehr massereiche Molekülwolken mit einer Sonnenmasse von 10^4 Sonnenmassen und mehr heißen Riesenmolekülwolken oder Giant molecular clouds (GMCs). Ihr Durchmesser reicht von 15 bis 600 Lichtjahren und sie kondensieren mit der Zeit, wodurch sich ihre Dichte zunehmend erhöht.⁶

Der molekulare Wasserstoff in der Milchstraße befindet sich zu etwa 80 % in GMCs. Die Sternentstehung in der Milchstraße und den benachbarten Galaxien vollzieht sich nahezu vollständig in GMCs. In unserer Galaxie befinden sich die meisten Riesenmolekülwolken in den Spiralarmen.⁷ Für die Entstehung von Sternen sind die Strukturen innerhalb einer Molekülwolke von entscheidender Bedeutung. Diese entstehen, wenn sich Teile einer Molekülwolke bedingt durch ihre Schwerkraft gegenseitig anziehen und sich zu Filamenten verfestigen. Man spricht bei diesem Prozess von Fragmentation und es entstehen sogenannte molekulare Kerne,

4 Wikipedia - Sternentstehung

5 Wikipedia - Sternentstehung

6 <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

7 Wikipedia Molekülwolke

die ganz uneinheitlich in der Molekülwolke angeordnet sind. In diesen Kernen befindet sich zum Beispiel das bereits erwähnte Kohlenstoffmonoxid, während Elemente wie Ammoniak in den extrem dichten Regionen, den dichten molekularen Kernen, vorkommen. Die spätere Bildung von Protosternen findet nicht in der eigentlichen Riesemolekülwolke statt, sondern in deren Kernen.⁸

2.4 Bok-Globule

Vergleichbar mit den molekularen Kernen sind die Bok-Globule. Diese wurden zum ersten Mal von Bart Bok beobachtet und sind räumlich isolierte Fragmente von Molekülwolken.

Sie bestehen aus molekularem Wasserstoff und sind durch ihre Schwerkraft an die sie umgebende Molekülwolke gebunden. Falls sie unter dem Einfluss ihrer eigenen Schwerkraft kollabieren, können Bok-Globule, genau wie molekulare Kerne, zum Geburtsort von Sternen werden.⁹

2.5 Jeans-Kriterium

Das Jeans-Kriterium entscheidet darüber, ob ein Kollaps überhaupt stattfindet. Wenn sich die nach innen wirkende Gravitationsenergie und der nach außen wirkende Gasdruck in einer interstellaren Molekülwolke gegenseitig ausgleichen, befindet sie sich im Gleichgewicht. In diesem Stadium ist kein Kollaps und damit keine Sternentstehung möglich. Damit eine Molekülwolke kollabiert und ein Stern entsteht muss ihre Masse größer sein als die Jeans-Masse.¹⁰ Die Jeansmasse einer Molekülwolke ohne den Einfluss äußerer Kräfte und ohne Drehimpuls lässt sich vereinfacht mit dieser Formel berechnen:

$$M_{Jeans} = \pi^{\frac{3}{2}} \frac{1}{\sqrt{\rho}} \left(\frac{RT}{\mu G} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Anhand der Formel wird deutlich, dass die Jeans-Masse vor allem von ihrer

8 <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

9 <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

10 <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Jeans-Kriterium>

Temperatur T , ihrer Dichte ρ und ihrem Radius R abhängig ist. μ ist die Masse eines Gasmoleküls, G ist die Gravitationskonstante.¹¹

3. Phasen der Sternentstehung

3.1 Allgemein

Die wesentliche Voraussetzung für die Entstehung eines Sterns ist der Kollaps des Sternmaterials. Dabei hängt es von zahlreichen Faktoren ab, ob und wie dieser Kollaps stattfindet. Genau genommen ist es nicht die gesamte Molekülwolke, die unter ihrem eigenen Gewicht kollabiert. Sondern es sind die einzelnen Kerne der Molekülwolke, die die Wolke zuvor fragmentierten, die kollabieren. Ein Molekülwolkenkern ist so lange stabil, wie sich die potenzielle Gravitationsenergie und die thermische Energie ihrer Teilchen gegenseitig ausgleichen. Die Gravitationskräfte üben kontinuierlich Druck auf den Wolkenkern nach innen aus, doch die thermische Energie der Teilchen kann diesem entgegenwirken und einen Druck nach außen erzeugen. Sind beide Kräfte im Ausgleich, so ist der molekulare Kern im sogenannten hydrostatischen Gleichgewicht und somit stabil. Nach dem Virialsatz muss die thermische Energie doppelt so groß sein wie die Gravitationsenergie, damit das hydrostatische Gleichgewicht erhalten bleibt. Ist diese Bedingung erfüllt, ist ein Kollaps des Wolkenkerns nicht möglich.

Die thermische Energie hängt von der Temperatur des Kerns ab. Damit ist die Temperatur ein entscheidender Faktor für den Kollaps eines Wolkenkerns. Genauso einflussreich wie die Temperatur des Wolkenkerns ist der Drehimpuls der Molekülwolke. Die Rotation bewirkt eine Zentrifugalkraft, die die Teilchen nach Außen trägt und so dem Gravitationspotenzial entgegenwirkt. Zusätzlich zu diesen Faktoren spielen auch die Geometrie des Wolkenkerns, der zusätzliche turbulente Druck und Magnetfelder eine Rolle. Damit das hydrostatische Gleichgewicht

¹¹ <https://sternentstehung.de/wie-das-jeans-kriterium-ueber-die-sternentstehung-entscheidet>

verhindert oder zerstört wird und somit der Kern der Molekülwolke kollabiert, so muss entweder die Masse ausreichend hoch oder die Temperatur ausreichend niedrig sein. Weist die Molekülwolke eine Eigenrotation auf, dann muss die Wolke zusätzlich an Drehimpuls verlieren, da dies den Kollaps erheblich erschwert.¹²

3.2 Erster Kollaps

Durch die hohe Durchlässigkeit der äußeren Schichten - sie sind optisch dick - kann die von den Teilchen abgegebene Strahlung austreten. Durch den Austritt der Strahlung bleibt die Temperatur im Inneren des Wolkenkerns zu Beginn des Kollapses unverändert. Dies wird als isothermischer Prozess bezeichnet. Die Temperatur im Inneren des Wolkenkerns bleibt durch das Entweichen der Strahlung unverändert zum Beginn des Kollapses.

Allerdings nimmt mit der Zeit die Dichte zu und damit auch die optische Dicke. Aufgrund der verringerten Durchlässigkeit der einzelnen Schichten des Wolkenkerns wird der Kern stark aufgeheizt

Da die Erhitzung mit einer höheren thermischen Energie zusammenhängt, die dem Gravitationspotential entgegengesetzt ist, kann sich das hydrostatische Gleichgewicht so wieder einfänden. Es entsteht ein nahezu hydrostatischer Kern, auf den die Materie von außen stetig einfällt. Es hat sich der erste Kern gebildet.¹³

3.3 Der Einfluss von Magnetfeldern

Magnetfelder haben bei der Sternentstehung eine tragende Rolle. Zum einen behindern Magnetfelder zunächst den Kollaps der Molekülwolke, zum anderen fördern sie die Entstehung von Sternen.¹⁴

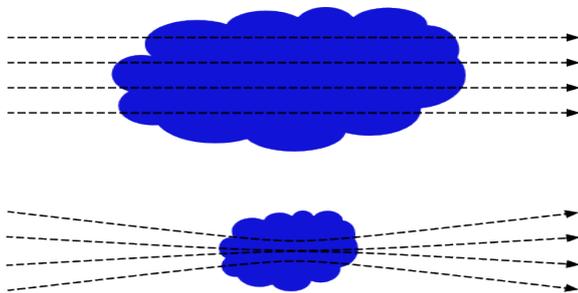
12 <https://sternentstehung.de/kollaps-von-molekuelwolken>

13 <https://sternentstehung.de/kollaps-von-molekuelwolken>

14 <https://sternentstehung.de/der-einfluss-von-magnetfeldern-auf-die-sternentstehung>

3.3.1 Magnetischer Druck behindert den Kollaps

Im Allgemeinen liegt ein Teil des Wolkengases nicht in Form von elektrisch neutralen Atomen vor, sondern aus geladenen Teilchen. Es handelt sich dabei um sogenannte Ionen, die an das umgebende Magnetfeld stark gekoppelt sind und sich im Raum nur noch eingeschränkt bewegen können. Wenn nun ein Wolkenkern kollabiert, zieht sich das Magnetfeld mit ihm zusammen. Durch die Kopplung des Gases an das Magnetfeld wird das Magnetfeld beim Kollaps der Wolke komprimiert. Die Feldliniendichte nimmt dabei deutlich zu.



<https://sternentstehung.de/der-einfluss-von-magnetfeldern-auf-die-sternentstehung>

Die hohe Feldliniendichte führt zu einem magnetischen Druck, der verhindert, dass sich die Ionen im äußeren Bereich der Gaswolke zusammenziehen und somit gegen einen weiteren Kollaps der Gaswolke entgegen wirken. Es kann dennoch zu einer schwerkraftbedingten Kompression des Gases kommen, da nicht das ganze Gas elektrisch geladen ist. So trennen sich durch ambipolare Diffusion ungeladene von geladenen Teilchen und können kollabieren. Der Kollaps kann nur fortgesetzt werden, wenn sich ein positiv geladenes Ion und ein negativ geladenes Ion verbinden und elektrisch neutral werden, womit sich die Bindung an das Magnetfeld aufhebt.¹⁵

3.3.2 Der positive Einfluss

Ein Magnetfeld hat trotz dieser blockierenden Wirkung auch Einflüsse, die

¹⁵ <https://sternentstehung.de/der-einfluss-von-magnetfeldern-auf-die-sternentstehung>

den Kollaps der Wolke begünstigen. Dabei kreist die Gaswolke und zeigt einen Eigendrehimpuls. Die geladenen Teilchen bewegen sich senkrecht zu den magnetischen Feldlinien. Dabei wirkt die Lorentzkraft am stärksten. Bei der Rotation wird das Magnetfeld schraubenartig aufgewickelt, weil die starke Kopplung zwischen den geladenen Teilchen und dem Magnetfeld noch vorhanden ist. Auf Grund der Erhaltung des Drehimpulses hätte die Rotationsgeschwindigkeit der Gaswolke eigentlich zunehmen müssen, wenn diese sich zusammenzieht: Damit der Drehimpuls erhalten bleibt, muss die Geschwindigkeit zunehmen, wenn der Radius abnimmt.

Das " Aufwickeln " des magnetischen Feldes bewirkt allerdings eine Ausdehnung der Magnetfeldlinien, wodurch die Rotationsgeschwindigkeit nicht zunimmt. Wegen dieser Ausdehnung, die der Rotation entgegenwirkt, wird die Rotationsgeschwindigkeit der Gaswolke praktisch nicht verändert.

Nähme die Rotationsgeschwindigkeit weiter zu, so würde die nach außen gerichtete Zentrifugalkraft der nach innen wirkenden Gravitationskraft gegen wirken. Damit wäre ein Kollaps der Gaswolke nicht möglich.¹⁶

3.4 Zweiter Kollaps – Protosterne

Durch das stetige Einfallen von Materie auf den ersten Kern nimmt dessen Temperatur immer mehr zu. Etwa ab 1800 K ist der Kern so heiß, dass sich aufgrund der hohen thermischen Energie die Wasserstoffmoleküle dissoziieren, mit anderen Worten, in einzelne Atome teilen. Dabei geht Energie verloren, die zuvor zur Stabilisierung des Kerns diente, sodass das hydrostatische Gleichgewicht wieder gestört wird. Der Kern kollabiert aufgrund des Gravitationspotentials ein zweites Mal. Der Kollaps endet erst, nachdem der Kern auf etwa 100.000 K erhitzt wurde und sämtliche Atome des Kerns bereits ionisiert sind. Es hat sich, ebenso wie zuvor, aufgrund der hohen thermischen Energie wieder ein nahezu hydrostatisches Gleichgewicht eingestellt. Der zweite, prästellare Kern wird später durch Akkretion seine Leuchtkraft erhalten. Dieser Aufbau wird als Protostern

¹⁶ <https://sternentstehung.de/der-einfluss-von-magnetfeldern-auf-die-sternentstehung>

bezeichnet.¹⁷

3.4.1 Akkretion

Akkretion ist in der Astronomie ein Prozess, bei dem ein kosmisches Objekt aufgrund seiner Gravitation oder Gezeitenkräfte Materie aufammelt.¹⁸

3.5 Vorhauptreihensterne

Als letzter Schritt der Sternentstehung folgt die Entwicklung zu einem Vorhauptreihenstern. Man unterscheidet zwischen T-Tauri-Sternen und Herbig-Ae/Be-Sternen. Ein Vorhauptreihenstern nennt man einen früheren Protostern, welcher seine Leuchtkraft hauptsächlich aus seiner eigenen Kontraktion bezieht. In dieser Phase akkretiert der Stern nur noch Masse aus der zirkumstellaren Scheibe. Energie kann nun nicht mehr nur durch Konvektion, sondern auch durch Strahlung transportiert werden. Die Masse ist das wesentliche Kriterium, mit dem der Vor-Hauptreihenstern eingeordnet werden kann.¹⁹

3.5.1 Akkretionsscheibe

Als Akkretionsscheibe bezeichnet man in der Astrophysik eine Scheibe, die um ein zentrales Objekt rotiert und dabei Materie in Richtung Zentrum transportiert. Sie kann aus atomarem Gas, aus Gas mit unterschiedlichen Ionisierungsgraden (Plasma) oder aus interstellarem Staub bestehen.²⁰ Solche Scheiben kommen um junge Sterne während und einige Zeit nach der Sternentstehung vor.²¹

3.5.2 T-Tauri Sterne

Ein Stern der Vor-Hauptreihe mit einer Masse von weniger als zwei Sonnenmassen wird als T-Tauri-Stern bezeichnet. Dieser Sterntyp hat eine Gashülle mit sehr geringer optischer Dicke, so dass der Zentralstern sichtbar

17 <https://sternentstehung.de/kollaps-von-molekuelwolken>

18 [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_\(Astronomie\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_(Astronomie))

19 <https://sternentstehung.de/vorhauptreihensterne>

20 <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretionsscheibe>

21 <https://de.wikipedia.org/wiki/Akkretionsscheibe>

ist. Die Kernfusion ist noch nicht gezündet, sodass der T-Tauri-Stern noch keine interne Energiequelle hat und sich noch immer kontrahiert. Aufgrund der Akkretionsscheibe haben T-Tauri-Sterne einen erheblichen Überschuss an Infrarotstrahlung, der auch als Infrarotexzess bezeichnet wird. Nach einiger Zeit löst sich die Akkretionsscheibe jedoch durch äußere Einflüsse wie stellare Winde oder Planetenbildung auf. Damit ist die Phase der Akkretion beendet. Ein Hauptmerkmal eines T-Tauri-Sterns sind seine periodischen und spontanen Helligkeitsschwankungen.²²

3.5.3 Herbig-Ae/Be-Sterne

Wenn sich aus einem T-Tauri-Stern ein Stern mit einer Masse von zwei bis acht Sonnenmassen im Laufe seiner eigenen Kontraktion entwickelt, nennt man ihn einen Herbig Ae/Be-Stern. Die Herbig Ae/Be-Sterne zeichnen sich wie die T-Tauri-Sterne durch ihren Infrarotüberschuss und die noch nicht erfolgte thermonukleare Kernfusion aus.

Die Sterne mit einer Masse von mehr als acht Sonnenmassen überspringen die Vor-Hauptreihenphase. Sie haben genügend Masse, um das Wasserstoffbrennen (Kernfusion) sofort zu zünden.²³

4. Schluss

Die Entstehung von Sternen erfolgt in riesigen Gaswolken, sie ziehen sich zusammen und beginnen mit der Fusion von Wasserstoff zu Helium. Mehrere hundert Sterne können aus einer Wolke entstehen, die anfangs offene Sternhaufen bilden. Mit der Zeit lösen sich die offenen Haufen auf. Beim Schreiben dieser Arbeit habe ich viel zu diesem Thema recherchiert und mich intensiv damit befasst, dabei war ich oftmals überwältigt von dem, was ich erfahren habe. Es ist beeindruckend, wie viel bereits über die Sternentstehung bekannt ist. Vor allem auch die Fotos von den Sternentstehungsgebieten, die ich gesehen habe. Für die Astronomie sind Sterne wichtige Einzelobjekte und Gegenstand der modernen

²² <https://sternentstehung.de/vorhauptreihensterne>

²³ <https://sternentstehung.de/vorhauptreihensterne>

astrophysikalischen Forschung. Andererseits sind Sterne auch schlichtweg schön anzusehen. Der Sternenhimmel ist eine wahre Pracht und gleichzeitig schützenswert. Die zunehmende Lichtverschmutzung gefährdet den Blick auf den Sternenhimmel. Darunter versteht man die Aufhellung des natürlichen Nachthimmels, die vor allem durch übermäßigen oder unangemessenen Einsatz von künstlichem Licht verursacht wird. Die zunehmende Lichtverschmutzung gefährdet den Blick auf den Sternenhimmel. Dieser muss geschützt werden, denn sonst werden zukünftige Generationen nicht mehr in der Lage sein, diesen in seiner vollen Pracht wahrnehmen zu können.

Wer weiß, was noch alles in den Weiten des Weltraums verborgen ist. Die
Zeit wird es zeigen.

5. Quellenverzeichnis

- Abenteuer-Universum: Entstehung und Entwicklung der Sterne

Aus: <https://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>

- FLORIAN RIEMER (19.12.2021): Emissionsnebel M42 – Orionnebel

Aus: <https://www.astrogarten-bramsche.de/astrofotos/>

- Wikipedia: Akkretionsscheibe

Aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Akkretionsscheibe>

- HELMUT ZIMMERMANN und ALFRED WEIGERT (2000):

Riesenmolekülwolken

Aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Molekülwolke>

- J. S. MATHIS, W. RUMPL, K. H. NORDSIECK (1977): Molekülwolken

Aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sternentstehung>

- Physik.cosmos-indirekt: Akkretion (Astronomie)

Aus: [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_\(Astronomie\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_(Astronomie))

- Physik.cosmos-indirekt: Akkretionsscheibe

Aus: <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretionsscheibe>

- Physik.cosmos-indirekt: Jeans-Kriterium

Aus: <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Jeans-Kriterium>

- Physik.cosmos-indirekt: Akkretion (Astronomie)

Aus: [https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_\(Astronomie\)](https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Akkretion_(Astronomie))

- Sternentstehung.de: Der Einfluss von Magnetfeldern auf die Sternentstehung

Aus: <https://sternentstehung.de/der-einfluss-von-magnetfeldern-auf-die-sternentstehung>

- Sternentstehung.de: Interstellare Molekülwolken

Aus: <https://sternentstehung.de/interstellare-molekuelwolken>

- Sternentstehung.de: Kollaps von Molekülwolken

Aus: <https://sternentstehung.de/kollaps-von-molekuelwolken>

- Sternentstehung.de: Vorhauptreihensterne

Aus: <https://sternentstehung.de/vorhauptreihensterne>

- Sternentstehung.de: Wie das Jeans-Kriterium über die Sternentstehung entscheidet

Aus: <https://sternentstehung.de/wie-das-jeans-kriterium-ueber-die-sternentstehung-entscheidet>

Alle aufgeführten Quellen wurden das letzte Mal am 06.03.2022 aufgerufen.

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 _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

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

Bramsche, den _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers