

Erdähnliche Planeten in der Milchstraße - auf der Suche nach Leben

In Ergänzung zur „SuW-Nachricht „Gibt es Millionen erdähnlicher Planeten?““ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ 4/2021, S. 10, WIS-ID: 1421049, Zielgruppe: Mittelstufe bis Oberstufe

Oliver Debus

Gibt es Leben im All? Diese Frage zählt sicherlich zu den spannendsten Fragen in der Astronomie und Weltraumforschung. Kein Wunder also, dass es viele Astronomen gibt, die an der Lösung dieser Frage arbeiten. Im Sonnensystem wird auf aussichtsreichen Planeten und Monden nach einfachem Leben gesucht. Mit großen Radioschüsseln lauschen die Forscher des SETI-Instituts nach Radiobotschaften außerirdischer Zivilisationen. Weltraumteleskope wie Corot oder Kepler suchen nach extrasolaren Planeten. Zahlreiche erdähnliche Planeten wurden so aufgespürt. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass diese erdähnlichen Planeten auch belebt sind. Dies hängt davon ab, in welchem Abstand die Planeten von ihrem Stern stehen, d. h., ob sie sich in der habitablen Zone um ihren Stern befinden.

Eine entsprechende habitable Zone gibt es auch in unserer Milchstraße. Die stellare habitable Zone unterscheidet sich grundlegend von der galaktischen habitablen Zone und deren Einfluss auf die Entstehung des Lebens auf erdähnlichen Planeten. Sowohl zu den Begriffen der habitablen Zonen gibt es einführende Erläuterungen, die durch Internetrecherche vertieft werden können. Zudem liefert das Material eine vereinfachte Darstellung der Nukleosynthese in Sternen, um den Einfluss der Sternentwicklung auf die galaktische habitable Zone zu verdeutlichen. Aufgaben zum Abschluss sollen zur Diskussion anregen und die Problematik der Suche nach belebten Planeten konkretisieren. Die SchülerInnen sollen ebenfalls überlegen, wo sie nach belebten Planeten suchen würden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Sterne, Planeten, Galaxien	stellare habitable Zone , galaktische habitable Zone
Fächer- verknüpfung	Astro-Ch	Elemententstehung
Lehre allgemein	Kompetenzen (Erkenntnisgewinnung), Unterrichtsmittel	Daten-Recherche, Aufgaben zum Thema Exoplaneten und Habitabilität

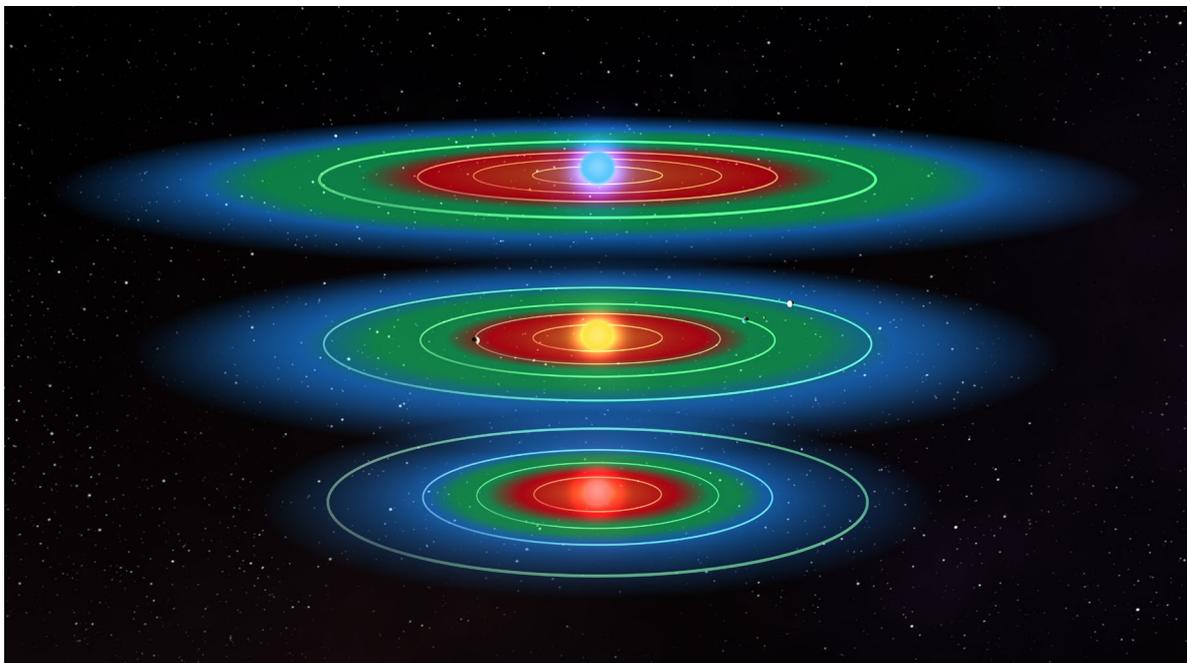


Abbildung 1: Vergleich der habitablen Zonen verschieden heißer (und größer) Sterne ©: NASA - NASA website, gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31116754>.

Suche nach Leben im All

Wenn wir an den nächtlichen Sternhimmel schauen, können wir unzählige Sterne sehen. Vor allem, wenn wir ein Fernglas oder Teleskop verwenden, entdecken wir immer mehr Sterne. Schätzungen ergeben allein in unserer Milchstraße eine Anzahl von 100 – 200 Milliarden Sternen. Bei dieser Zahl ist es undenkbar, dass die Erde der einzig belebte Planet sein könnte. In zahlreichen Science Fiction-Geschichten, Filmen und Serien kommen Außerirdische in vielen Variationen vor.

Dass es Planeten bei anderen Sternen gibt ist schon lange bekannt. Die Frage, die die Wissenschaftler interessiert ist, wie viele Planeten es in der Milchstraße gibt und wie viele davon erdähnliche, lebensfreundliche Planeten sind. Aus den Daten des Weltraumteleskops Kepler, das von 2009 – 2018 in Betrieb war, haben Forscher nun eine Abschätzung erstellt. Allerdings konnte Kepler nur vier Jahre lang das eigentliche Hauptareal der Sterndurchmusterung im Sternbild Schwan mit gut 150.000 Sternen untersuchen. Dabei wurden hauptsächlich Sterne der Spektralklassen G und K, also sonnenähnliche Sterne unter die Lupe genommen. Bei diesen Sternen wurde nach erdähnlichen Planeten gesucht, die sich in der habitablen Zone um den Stern befinden. Die Auswertung der Daten deutet an, dass 37-88 % der sonnenähnlichen Sterne von erdähnlichen Planeten in der habitablen Zonen umrundet werden. Allerdings könnten es auch nur 7 % sein. Das wären aber auch mehr als 100 Millionen Sterne. Die große Schwankung in den Zahlen hat ihre Begründung in der Auslegung der Größe einer möglichen habitablen Zone. Der nächste Schritt auf der Suche nach Leben auf extra solaren Planeten wäre nun die Untersuchung der Atmosphären der potentiell lebensfreundlichen Planeten.

Ob ein Planet als potentiell lebensfreundlich betrachtet wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zum einen hängt es davon ab, ob er im richtigen Abstand zu seinem Stern steht, so dass auf seiner Oberfläche Wasser in flüssiger Form vorkommen kann, sofern er eine Atmosphäre hat. Dieser Abstand wird als habitable Zone des Sterns bezeichnet. Weitere Faktoren werden in Abb. 2 gezeigt.

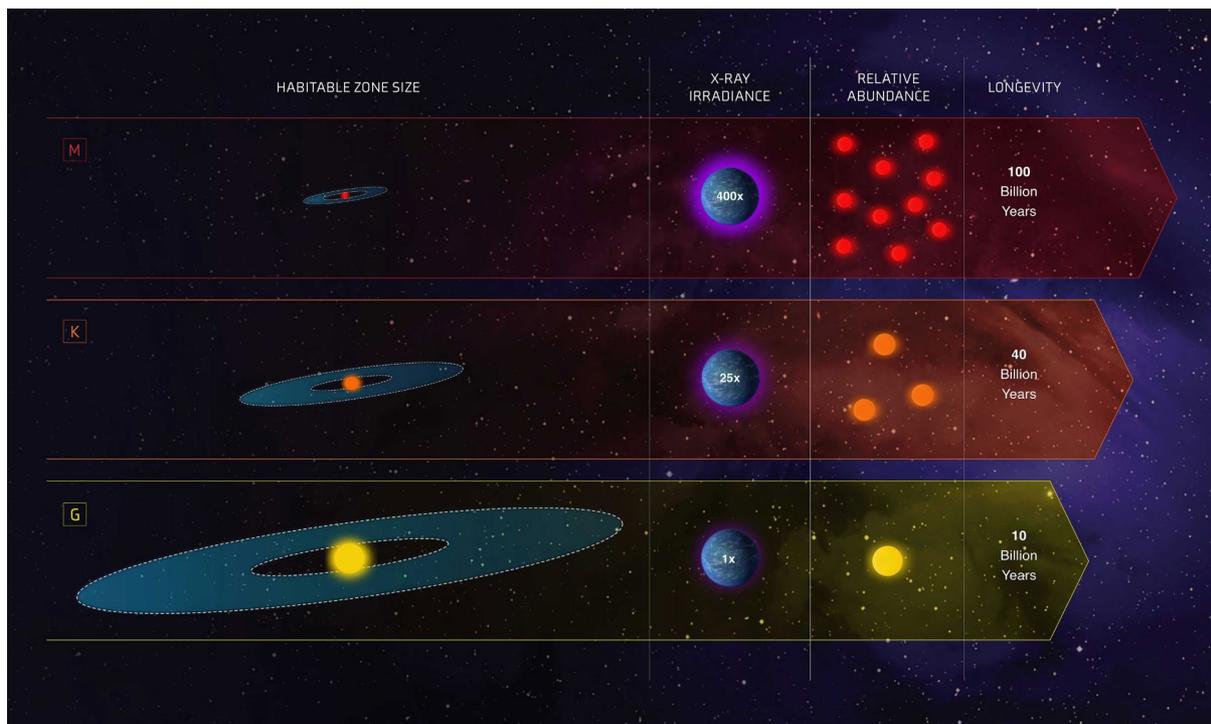


Abbildung 2: Vergleich von maßgeblichen Faktoren für mögliches Leben im Umfeld von Sternen der Spektraltypen M, K und G: die Größe der habitablen Zone, die Stärke der harten Strahlung, die Häufigkeit des Sterntyps und die Lebensdauer des Sterntyps. ©: NASA, ESA and Z. Levy (STScI), Quelle: NASA Ames/JPL-Caltech.

Neben der stellaren habitablen Zone gibt es noch die galaktische habitable Zone. Hier sind die bestimmenden Faktoren das Vorkommen schwerer Elemente, damit sich Gesteinsplaneten bilden können und die Sternentstehungsrate aber auch die Lebensdauer eines Sterns.

Die stellare habitable Zone

Als stellare habitable oder bewohnbare Zone wird der Bereich um einen Stern bezeichnet, in dem das Temperaturniveau auf einem Planeten mit Atmosphären derart ist, dass flüssiges Wasser auf dem Planeten vorkommen kann. In unserem Sonnensystem gibt es flüssiges Wasser auf der Erde. Aktuelle Forschungen zeigen, dass es auch flüssiges Wasser auf dem Mars in größeren Mengen gab und vermutlich teilweise heute noch in geringen Mengen kurzzeitig auftritt.

Ausschlaggebend für die Lage der Zone und deren Ausmaß ist die Leuchtkraft des Sterns. Diese wiederum spiegelt sich u. a. in der Oberflächentemperatur und der Spektralklasse des Sterns. Bei kühlen M-Sternen liegt die habitable Zone deutlich dichter am Stern als bei heißen O-Sternen (siehe auch Abb. 2). Man kann eine vereinfachte Abschätzung aufstellen, mit der man den mittleren Abstand der habitablen Zone um einen Stern berechnen kann. Demnach bestimmt sich der Abstand d in Astronomischen Einheiten (1 AE = 149,6 Millionen Kilometer) aus der Wurzel des Quotienten aus der Leuchtkraft des Sterns

$$\text{und der Leuchtkraft der Sonne: } d [\text{AE}] = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}}}$$

Dabei ist $d[\text{AE}]$ der Abstand in Astronomischen Einheiten, L_{Stern} ist die Leuchtkraft des Sterns und L_{Sonne} die Sonnenleuchtkraft. Für einen Stern mit einer Leuchtkraft von $\frac{1}{4}$ Sonnenleuchtkraften ergibt sich ein Abstand von $\frac{1}{2}$ AE und für einen Stern mit 4 Sonnenleuchtkraften ein Abstand von 2 AE. Die Formel für die Abstandsberechnung gibt lediglich den mittleren Abstand der Zone an.

Im Sonnensystem nimmt man an, dass die habitable Zone von der Venus bis zum Mars reicht. Das würde einen Schlauch von einer Dicke von beinahe einer Astronomischen Einheit um die Sonne herum ergeben, mit der Erde im Zentrum und der Venus am inneren, dem Mars am äußeren Rand der Zone (siehe Abb. 3).

So gesehen können durchaus mehrere Planeten in der habitablen Zone eines Stern liegen. Auf diese Weise kann man für alle Sterne, deren Leuchtkraft man kennt, die Lage der habitablen Zone bestimmen und feststellen ob ein Planet dort liegt. Handelt es sich um einen erdähnlichen Gesteinsplaneten, könnte es dort Leben geben, wenn der Planet eine Atmosphäre hat. Die Atmosphäre des Planeten könnte man nun auf Schlüsselemente untersuchen, die auf vorhandenes Leben hindeuten könnten.

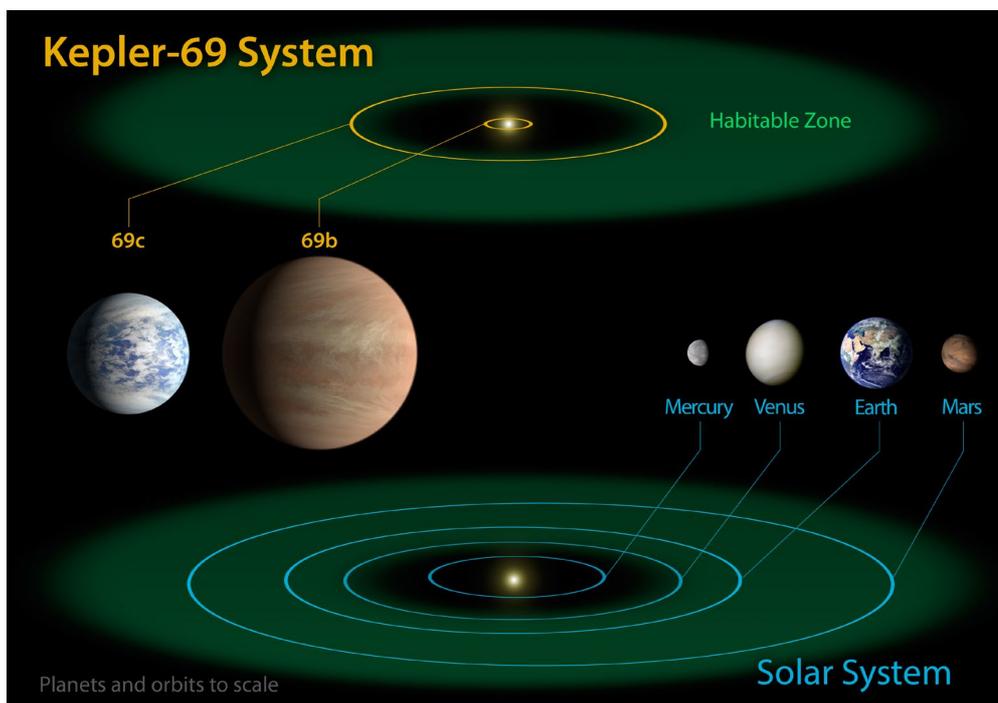


Abbildung 3: Vergleich der habitablen Zone des Sterns Kepler-69 und der Sonne. ©: NASA Ames/JPL-Caltech.

[zurück zum Anfang](#)

Die galaktische habitable Zone

So wie es in einem Planetensystem eine habitable Zone gibt, spricht man auch in der Galaxis (dem Milchstraßensystem), von einer habitablen Zone. Allerdings sind die betrachteten Bedingungen, die diesen Bereich lebensfreundlich werden lässt, andere als in einem Planetensystem. Hier geht es nicht um die Frage, ob Wasser in flüssiger Phase vorkommen kann oder nicht, sondern ob sich erdähnliche Planeten, also Gesteinsplaneten bilden können oder nicht.

Damit dies geschehen kann, braucht es ausreichende Mengen an schweren Elementen, aus denen sich zum Beispiel Silikate für eine Planetenkruste bilden können. Dann braucht es noch schwere, radioaktive Elemente, die im Kern eines terrestrischen Planeten Energie durch Kernspaltung erzeugen und somit die geologischen Aktivitäten wie Plattentektonik und Vulkanausbrüche antreiben. Selbstverständlich braucht es auch genügend Elemente wie Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Weitere zum Bau organischer Moleküle als Grundlage für das Leben. Die Elemente, die schwerer sind als Wasserstoff und Helium, werden in den Sternen durch die im Kern der Sterne betriebene Kernfusion erzeugt. Je nach Sternmasse entstehen dabei Elemente bis hin zum Eisen. Noch schwerere Elemente werden bei Supernova-Explosionen gebildet. Die Menge an Elementen schwerer als Wasserstoff und Helium hängt also von der Entstehung von Sternen ab.

Die Häufigkeit schwerer Elemente in der Atmosphäre der Sterne wird als **Metallizität** bezeichnet. Als Metall werden in der Astrophysik alle Elemente bezeichnet, die schwerer als Wasserstoff und Helium sind. Aus der Metallizität kann man die Häufigkeit schwerer Elemente im Weltall ableiten. Diese ist im Zentrum unserer Milchstraße am höchsten und nimmt zu den Außenbereichen hin immer weiter ab.

Die Sternentstehungsrate gibt an, wie viele Sterne pro Zeiteinheit, zum Beispiel einem Jahr, gebildet werden. Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Entwicklung von Leben auf einem Planeten ist die **Lebensdauer der Sterne**. (siehe auch Abb. 2). Je länger ein Stern existiert, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich auf einem lebensfreundlichen Planeten um den Stern Leben bilden und entwickeln kann. Die Lebensdauer der Sterne hängt ganz entscheidend von ihrer Masse ab. Je massereicher

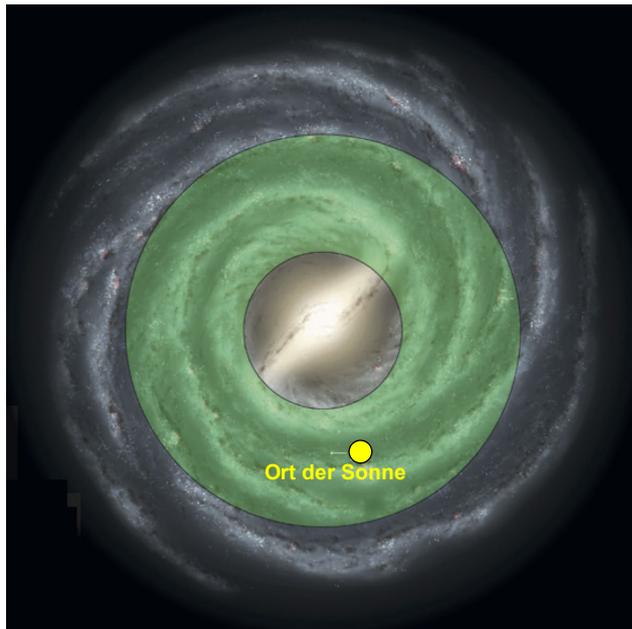


Abbildung 4: Die Grüne Zone ist die galaktische habitable Zone. Das Zentrum der Milchstraße ist zu energiereich für Leben. In den äußeren Regionen gibt es zu wenig schwere Elemente. ©: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech).

ein Stern ist, desto schneller laufen die Kernfusionsprozesse in seinem Inneren ab, da Temperatur und Druck im Kern deutlich höher sind als bei unserer Sonne.

Die sehr massereichen Sterne brauchen ihren Wasserstoffvorrat viel schneller auf und werden nach einem kurzen Leben zu einer Supernova. Bei einer Supernova-Explosion gibt der Stern nicht nur einen Teil der von ihm erzeugten schweren Elemente an den Weltraum ab, sondern schleudert noch eine immense Menge an harter, lebensfeindlicher Strahlung wie Gamma- und Röntgenstrahlung ab. In massearmen Sternen dauert der Wasserstoffverbrauch deutlich länger.

Die Anzahl und Masse der Sterne hängt von der Verteilung der interstellaren Materie von der Dichte von Wasserstoff und Helium in der Galaxis ab. Für das Vorkommen von lebensfreundlichen Planeten in der Galaxis bedeutet dies nun Folgendes (siehe auch Abb. 4): Im Zentrum der Galaxis ist die Sternentstehungsrate am höchsten und dadurch das Vorkommen schwerer Elemente am höchsten. Aller-

dings sind die Sterne hier so massereich, dass sie nur kurz existieren, zu kurz um die Entstehung von Leben zu ermöglichen. Am Rand unserer Milchstraße ist die Sternentstehungsrate so gering, dass nur wenige und zumeist massearme Sterne entstehen und somit das Vorkommen schwerer Elemente zu gering ist, um die Entstehung von terrestrischen Planeten zu ermöglichen.

Somit bleibt ein Bereich zwischen dem Milchstraßenzentrum und dem Rand, in dem das Vorkommen schwerer Elemente ausreicht, damit sich erdähnliche Planeten bilden können. Darüber hinaus ist die Lebensspanne der Sterne so lang, dass auf einem lebensfreundlichen Planeten Leben entstehen und sich entwickeln kann (siehe Abb. 2). Diesen Bereich bezeichnet man als habitable Zone der Galaxis.

[zurück zum Anfang](#)

Sternentwicklung und Elemententstehung – kurz und knapp

Elemente schwerer als Wasserstoff und Helium werden in Sternen durch Kernfusion erzeugt. Wie dies passiert, soll hier kurz vereinfacht dargestellt werden. Im frühen Universum wurden relativ rasch die Elemente Wasserstoff und Helium gebildet. Dabei wurde mehr Wasserstoff gebildet und weniger Helium.

Sterne werden in Gaswolken geboren, die vor allem aus diesen beiden Gasen bestehen. Die Gaswolke verdichtet sich und rotiert. Im Innern eines jungen Sterns wird der Wasserstoff durch die Gravitation so stark komprimiert, dass Druck und Temperatur so hoch werden, dass Wasserstoff zu Helium fusioniert. Aus 4 Wasserstoffkernen wird 1 Heliumkern. (Dieser Prozess setzt die Energie frei, die für das Leben die Grundvoraussetzung darstellt.)

Mit der Zeit nimmt der Wasserstoff im Kern ab und die Menge an Helium nimmt zu. Wenn der Fusionsprozess im Kern erlahmt, nimmt der von innen wirkende Druck ab und die Gravitation gewinnt die Überhand. Der Kern des Sterns wird zusammengepresst. Bei ausreichender Temperaturzunahme im Kern kann nun Helium zu Kohlenstoff fusionieren. Aus drei Heliumkernen entsteht ein Kohlenstoffkern. Um den Kern herum wird in einer Schale weiterhin Wasserstoff zu Helium fusioniert.

Dieser Wechsel der Fusionsprozesse wird begleitet mit einer Ausdehnung des äußeren Bereichs des Sterns und einem Schrumpfen des Kerns bis evtl. der nächste Prozess startet. Dabei gibt der Stern einen Teil seiner äußeren Hülle an den Weltraum ab, Material, welches die interstellare Materie mit schweren Elementen anreichert.

Je nach Masse können im Stern weitere Prozesse gestartet werden. Aus Kohlenstoff und Helium wird Sauerstoff, Sauerstoff und Helium erzeugen Neon, Neon und Helium verbinden sich zu Magnesium, Kohlenstoff und Sauerstoff fusionieren zu Silizium, Sauerstoff und Sauerstoff bilden Schwefel und aus zwei Siliziumkernen bildet sich ein Eisenkern. Wenn sich im Kern eines Sterns zu viel Eisen angesammelt, kommt der Fusionsprozess gänzlich zum Erliegen, da aus der Verschmelzung von Eisen keine Energie mehr freigesetzt werden kann. Das heißt, um Eisen zu schwereren Elementen zu fusionieren muss man Energie aufbringen. Der sich verringernde Innendruck im Stern kann die Gravitation nicht mehr ausgleichen und der Stern stürzt zusammen. Durch diese Implosion wird der Kern massiv zusammengepresst, dabei wird so viel Energie freigesetzt, dass jetzt einige Eisenkerne weiter fusionieren. Diese Fusion geschieht explosionsartig und der Stern wird zur Supernova. Dabei gibt er einen großen Teil seiner Masse an den Weltraum ab und somit auch die Elemente, die im Laufe seines Lebens erzeugt wurden.

Welche Elemente ein Stern im Laufe seiner Existenz erzeugen kann, hängt ganz entscheidend von der Masse ab, die er aus dem anfänglichen Gasnebel zusammenklauben konnte. Je weiter wir in unserer Milchstraße in die Randgebiete kommen, desto weniger Masse haben die Sterne und desto weniger schwere Elemente können sie durch Fusion erzeugen.

Quellen

- J. Bennet, M. Donahue, N. Schneider, M. Voit: „Astronomie – Die kosmische Perspektive“, Pearson Studium
- Weiterführende Webseiten:
 - <https://www.wikipedia.de> - zu den Sternen und weiteren Themen
 - <https://supernova.eso.org/germany/exhibition/> - zur galaktischen habitablen Zone
 - https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html - zur Keplermission

Aufgaben zum Thema Exoplaneten und Habitabilität

1. Informiert euch über die Kepler-Mission und erklärt, auf welche Weise das Teleskop Planeten bei anderen Sterne aufspürte! Klärt auch die Frage, wie man aus den Beobachtungen die Größe und die Umlaufzeit von Planeten bestimmen kann.
2. Erläutert die Begriffe der stellaren und der galaktischen habitablen Zone! Welche Unterschiede bestehen zwischen der stellaren und der galaktischen habitablen Zone?
3. Erklärt den Begriff der Metallizität und inwieweit er ein Indiz für das Vorkommen schwerer Elemente sein kann!
4. Berechnet für die Sterne in der Liste unten den Abstand der habitablen Zone! Benutzt dazu die Formel $d \text{ [AE]} = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}}}$.
5. Vergleicht den Abstand der verschiedenen habitablen Zonen mit der Zone im Sonnensystem! Welche Planeten des Sonnensystems würden in den verschiedenen habitablen Zonen liegen?
6. Ergänzt in der Sternliste unten die fehlenden Angaben für die Spektralklasse und das Alter, soweit ihr Angaben dazu findet!
7. Diskutiert, ob es Sinn macht, bei diesen Sternen nach bewohnten Planeten zu suchen! Bei welchen Sternen ist die Chance groß, belebte Planeten zu finden?
8. Überlegt euch, wie man mit einem Teleskop, wie dem Kepler-Teleskop, herausfinden kann, ob es Leben auf einem Planeten gibt! Informiert euch welche Schlüsselemente es für Leben gibt!
9. Besprecht miteinander, ob sich Leben im Zentrum unserer Milchstraße entwickeln kann und erklärt die Gründe, die dafür oder dagegen sprechen!
10. Findet heraus und erklärt, ob sich belebte Planeten im Außenbereich der Milchstraße bilden können oder nicht!
11. Überlegt, wo ihr in der Galaxis nach belebten Planeten suchen würdet!

Stern	Entfernung [Lj]	Leuchtkraft [L _{Sonne}]	Spektralklasse	Alter [a]	Habitable Zone [AE]
Sonne	≈ 0	1			
Proxima Centauri	4,25	1,38·10 ⁻⁴			
α Centauri	4,34	1,5			
Sirius	8,6	25			
Wega	25	37			
Denebola	35,9	15			
Arktur	36,7	210			
Kapella	42,8	78			
Regulus	79,3	150			
Dubhe	124	224			
Kepler 438	145	0,2			
Alphard	180,3	950			
Spika	250	20.512			
Rigel	770	40.600			
Kepler 62	1200	0,4			
Kepler 90	2800	1,6			

Die Lösungen und die Quellen-Angaben zu den Sternen sind in der anhängenden Excel- Datei „Lösungen“ zu finden.