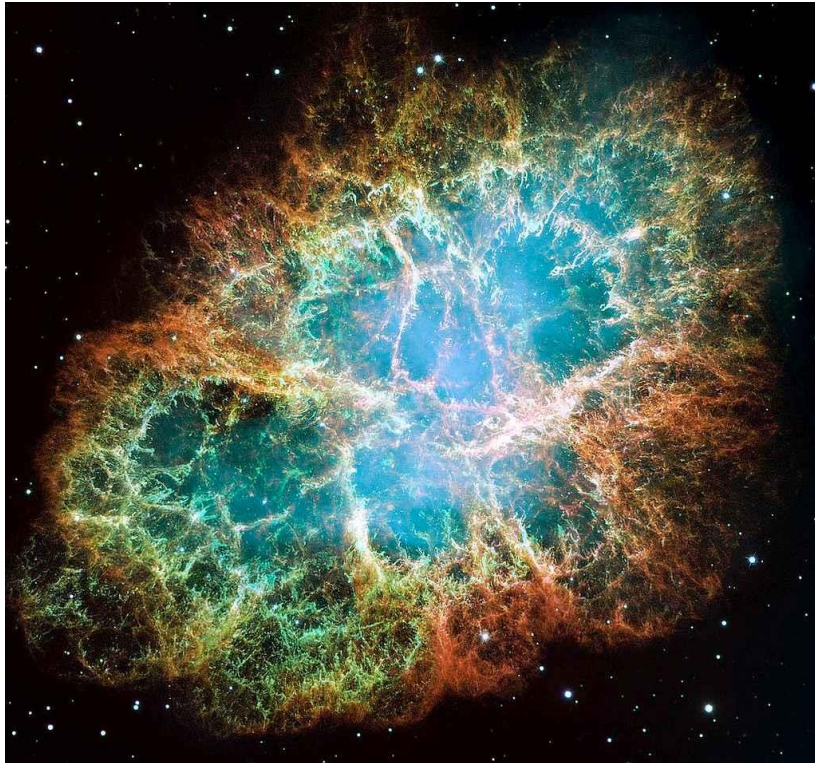


## Wissenschaftlicher Hintergrund zum Zitat



Überreste einer im Jahre 1054 entdeckten Supernovae im Sternbild Krebs (Krebsnebel)

*Wie alle Lebewesen sind wir Kinder des Universums,  
in hunderten von Millionen Jahren dauernden Geburtswehen  
hervorgebracht von unserer Mutter Erde, welche entstanden ist  
aus dem Sternenstaub sterbender oder explodierender Sterne.  
Bevor wir in diesen großen Naturkreislauf zurückkehren,  
können wir jeden Tag dafür dankbar sein,  
dass wir ein extrem kurzlebiger und unbedeutender Zeuge  
dieses ganz großen Geschehens sein konnten.  
(Reinhard Mundt)*

Ich bin Astrophysiker von Beruf. Ich habe in diesem Zitat versucht, wichtige Kenntnisse aus verschiedenen Bereichen der Astrophysik und Astrobiologie sowie der Evolution des Lebens auf unserer Erde zusammenzufassen.

Die erste Aussage „*Wie alle Lebewesen sind wir Kinder des Universums*“ beschreibt das Bild der modernen Astrophysik und Astrobiologie, dass das Leben auf unsere Erde eine „natürliche“ Folge verschiedener Entwicklungsabläufe ist. Diese Entwicklungsabläufe ergeben sich aus den grundlegenden physikalischen Eigenschaften unseres Universums. Ein wichtiger Entwicklungsablauf, nach der Bildung von Galaxien, ist die Bildung von Sternen und Planeten, insbesondere von Planeten mit fester Oberfläche. Inzwischen kennen wir fast 4000 Planeten um andere Sterne, wobei viele davon Gasplaneten ohne feste Oberfläche sind [1]. Die Astrophysiker gehen davon aus, dass sich Leben im Laufe der Zeit auf den geeigneten Planeten um diese Sterne mehr oder weniger „automatisch“ entwickelt (bei der Erde ca. eine Milliarde

Jahre nach ihrer Entstehung - siehe unten). Als geeignete Planeten kommen nur solche in Frage, die in der passenden Entfernung von ihrem Zentralgestirn sind, so dass dort Wasser in flüssiger Form vorhanden ist, d.h. sie sollten weder zu heiß noch zu kalt sein [2,3]. Darüber hinaus sollten sie z.B. noch folgende Eigenschaften besitzen: eine feste Oberfläche ähnlich unserer Erde, genügend Masse, um eine dichte Atmosphäre zu halten, und eine geringe Rate von Einschlägen großer Meteoriten. Vermutlich kommen noch einige anderer „gute“ Voraussetzungen hinzu (siehe z.B. [4]).

In der zweiten Aussage *„in hunderten von Millionen Jahren dauernden Geburtswehen hervorgebracht von unserer Mutter Erde“* wollte ich hervorheben, dass die Evolution komplexer Lebensformen und der heutigen Biodiversität (mit sehr grob geschätzt 5 Millionen Arten [5]) sehr lange gedauert hat. Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass es wahrscheinlich bereits vor 3,3 – 3,5 Milliarden Jahren (also 1 -1,2 Milliarden Jahre nach der Entstehung der Erde) erste primitive Lebensformen gab (Einzeller – Bakterien und Archaeen). Diese primitiven Lebensformen repräsentierten das Leben auf der Erde während der darauffolgenden 1,5 Milliarden Jahre [6]. Dann setzte mit der Entwicklung der Photosynthese eine Anreicherung der Erde mit Sauerstoff vor ca. 2 Milliarden Jahren ein. Dies führte zu einer enormen Erhöhung der Biodiversität um ca. einen Faktor 1000, da nun der Sauerstoff zur Energieerzeugung zur Verfügung stand [6]. Die ältesten bekannten Fossilien von komplexeren Lebensformen (den ersten Wirbeltieren) sind etwa 520 Millionen Jahre alt, und komplexere Lebensformen ohne erhaltenes Skelet gab es vermutlich schon deutlich vorher. Die ältesten Fossilien von Säugetieren haben ein Alter von ca. 220 Millionen Jahre. Den heutigen modernen Menschen (*Homo sapiens*) gibt es erst seit ca. 200 000 Jahren und die ältesten Funde von Vormenschenarten sind ca. 2 Millionen Jahre alt. Somit taucht der *Homo sapiens* praktisch erst in der letzten Minute der Erdgeschichte auf (z.B. [4, 6]).

Bei der dritten Aussage *„Welche entstanden sind aus dem Sternenstaub sterbender und explodierender Sterne“* muss ich etwas weiter ausholen, um diese verständlich zu machen. Unser Universum bestand bei seiner Entstehung durch den Urknall (vor 13.8 Milliarden Jahren) praktisch nur aus den zwei leichtesten Elementen (Gasen) Wasserstoff und Helium [7]). Wie sind aus diesen leichten Elementen die wichtigsten festen Baustoffe unserer Erde entstanden, wie z.B. die verschiedenen Verbindungen (vielfach Oxide) von Silizium, Aluminium, Eisen, Magnesium? Hierzu bedarf es der sogenannten Kernfusion im Innersten von sehr heißen und massenreichen Sternen, in denen in deren Endstadien Temperaturen von 1-2 Milliarden Grad herrschen [8,9]. Bei der Kernfusion, nicht nur bei massereichen Sternen, entsteht auch das für die das Leben auf unserer Erde so wichtige Element Kohlenstoff, zusammen mit Stickstoff und Sauerstoff. Kohlenstoff ist das einzige Element, das zu den extrem vielen komplexen chemischen Verbindungen fähig ist, die man für die Entstehung von Leben braucht, selbst für das Leben der einfachsten Einzellers (z.B. [4]). Die Zahl der bekannten Kohlenstoffverbindungen liegt bei mehreren Millionen, während die Zahl der Verbindungen aller anderen Elemente nur bei etwa 300 000 liegt [10].

Ein Teil dieser im Sterninnern erzeugten schweren Elemente wird in gewaltigen Sternexplosionen, sogenannten Supernovae [11], wieder an die Umgebung abgegeben. Diese Umgebung nennt man das interstellare Medium. Der sich dort aus den schwereren Elementen bildende Staub ist das „Baumaterial“, aus dem sich dann während der Stern- und Planetenentstehung erdähnlichen Planeten bilden können. [10]. Die Anreicherung des interstellaren Mediums mit schweren Elementen ist ein schon lange andauernder Prozess, der schon vor der Entstehung unserer Milchstraße

(unserer Muttergalaxie, [12]), vor ca. 12 Milliarden Jahren begann und sich bis heute fortsetzt. Das hier gezeigte Bild eines Supernova-Überrestes, des sogenannten Krebsnebels [13], zeigt das durch die Supernova-Explosion in die Umgebung geschleuderte Sternmaterie und die Materie des umgebenden interstellaren Mediums. Hervorzuheben ist, dass auch andere „sterbende“ Sterne in ihren Endstadien als Riesensterne (ohne, dass sie als Supernova enden) wesentliche Beiträge zur Bildung des interstellaren Staubes liefern und somit zur Bildung von erdähnlichen Planeten [14]. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten Kohlenstoffsterne [15].

Nun zur letzten Aussage *„Bevor wir in diesen großen Naturkreislauf zurückkehren, können wir jeden Tag dafür dankbar sein, dass wir ein extrem kurzlebiger und unbedeutender Zeuge dieses ganz großen Geschehens sein konnten“*

Hier möchte ich insbesondere daran erinnern, dass unsere Sonne nur eine von 100 bis 300 Milliarden Sternen in unserer Milchstraße ist [12]. Unsere Milchstraße ist wiederum nur eine von 200 bis 2000 Milliarden Galaxien in unserem Universum [16]. Somit ist aus Sicht des Universums unser Sonnensystem mit der Erde absolut unbedeutend. Darüber hinaus ist unser kurzes Leben von etwa 80 Jahren extremst klein gegenüber dem Alter des Universums von 13,8 Milliarden Jahren oder dem Alter unserer Sonne und die Erde von etwa 4,6 Milliarden Jahren.

Wir können immer wieder tiefen Dank empfinden für das Geschenk des eigenen persönlichen Lebens. Auch sollten wir tief dankbar dafür sein, dass es überhaupt Menschen unter den mehreren Millionen Tierarten auf dieser Erde gibt. Biologisch gesehen ist es vermutlich nicht zwingend notwendig, dass sich auf einem „geeigneten“ und alten Planeten, wie unserer Erde, intelligentes Leben entwickelt. Somit kann es im Universum viele Planeten mit einer großen Biodiversität und komplexen Lebensformen geben, ohne dass es dort Lebewesen gibt, die sich Gedanken machen können über die Entstehung des Lebens auf ihren Mutterplaneten und über die Entwicklung und Entstehung des Universums und all den darin sich befindlichen Strukturen.

#### Literaturangaben und Weblinks

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet>
- [2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Chemische\\_Evolution](https://de.wikipedia.org/wiki/Chemische_Evolution)
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable\\_Zone](https://de.wikipedia.org/wiki/Habitable_Zone)
- [4] Ulmscheider, P, „Intelligent Life in the Universe“, Springer Verlag 2010
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Artenvielfalt>
- [6] <http://www.oekosystem-erde.de/html/leben.html>
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Urknall>
- [8] <https://de.wikipedia.org/wiki/Nukleosynthese>
- [9] Scheffler, H., & Elsässer, H. „Physik der Sterne und der Sonne“, BI Wissenschafts-Verlag 1990
- [10]. <http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http://www.chemie-master.de/pse/pse.php?modul=C>
- [11]. <https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova>
- [12]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Milky\\_Way](https://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way)
- [13]. <https://de.wikipedia.org/wiki/Krebsnebel>
- [14]. Höfner, S. & Olofsson, H. Astron. Astrophys. Rev. 2018, 26,1, <https://doi.org/10.1007/s00159-017-0106-5>
- [15]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_star](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_star)
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/Galaxy>

Wegen der vielfach genaueren und detaillierteren Angaben wurde mehrmals der englischsprachige Link von Wikipedia angegeben.

Bildnachweis zum oben gezeigten Bild des Krebsnebels

NASA, ESA und STScI, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab\\_Nebula.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crab_Nebula.jpg),

Autor: NASA, ESA, J.Hester and A.Loll (Arizona State University)

Lizenz: CC 0 <https://creativecommons.org/share-your-work/public-domain/cc0>

*Das Bilddokument (Foto) ist gegenüber dem Original verändert. Es wurden Bildteile oben und unten abgeschnitten.*

Reinhard Mundt, Heidelberg im September 2018