



Aufeinander treffende Welten

URSPRÜNGE DES LEBENS

Zwar treibt die Frage, wie das Leben aus unbelebter Materie entstanden ist, die Menschheit seit Anbeginn der Zivilisation um, doch die moderne Wissenschaft begann erst im 20. Jahrhundert Antworten darauf zu liefern. Basierend auf dem Ansatz von Alexander Oparin aus den 20er Jahren wiesen Stanley Miller und Harold Urey 1953 die Entstehung von Aminosäuren und anderen organischen Verbindungen – Bausteinen des Lebens – in einer ‘‘Ursuppe’’ nach. Ohne einen entscheidenden Durchbruch in den darauf folgenden Jahrzehnten verlor dieses Gebiet jedoch an Schwung.

Erst die Entdeckung des ersten Planeten in einem anderen Sonnensystem im Jahr 1995 weckte das Interesse an den für das Leben notwendigen Bedingungen erneut¹. Seitdem arbeiten Astrophysiker, Planetenforscher, Chemiker und Biologen auf diesem Gebiet zusammen – der Beginn eines goldenen Zeitalters. Unser Modell zum Verständnis der Atmosphären junger Planeten beruht jedoch auf dem, was wir über die frühe Erde wissen, und hier bleibt uns noch viel zu lernen. Zudem haben wir nur ein Beispiel für Leben, basierend auf Zellen und DNA; ob diese Elemente eine Voraussetzung für das Leben oder nur eine mögliche Variante davon sind, bleibt ungewiss.

VORSTUFEN DER VORSTUFEN

Wir werden den Ursprung des Lebens auf der jungen Erde nur verstehen, wenn wir in der Lage sind zu erklären, wie sich aus den damals vorhandenen einfachen Molekülen große, informationstragende und selbst-replizierende Polymere entwickeln konnten. Die Entstehung einiger großer Strukturen, z.B. die Bildung von Membranen aus amphipathischen Molekülen, die sich selbst organisierten und schließ-

» Die RNA enthält nicht nur den genetischen Code, sie katalysiert auch die Translation dieses Codes in Proteine und besitzt damit eine erstaunlich große Bedeutung.

lich empfindlichere Substanzen wie beispielsweise DNA umschlossen, ist relativ leicht nachzuvollziehen. Weit rätselhafter ist die Entstehung der DNA selbst, deren Information in heutigen Lebewesen in ein ähnliches, kürzeres Molekül, der sogenannten RNA, kopiert und sodann von der RNA in Proteine übersetzt wird.

Eine Hypothese besagt, dass das heutige Leben, mit DNA als Informationsträger, Proteinen als Katalysatoren und RNA als Mittler, auf eine Vorform zurückgeht, in der RNA alle Funktionen wahrgenommen hat. Diese ‘‘RNA-Welt’’-Hypothese wurde untermauert, als man 1981 herausfand, dass RNA nicht nur als Träger genetischer Information fungieren kann, sondern in bestimmten Bestandteilen der Zelle, den sogenannten Ribosomen, auch die Translation dieser Information in Proteine katalysiert.

Zwar haben die ‘‘prä-RNA-Welt’’-Hypothesen, gemäß denen es genetisches Material in Form einfacherer, selbst-replizierender Moleküle bereits vor der RNA gab, ebenfalls ihre Anhänger², derzeit gewinnt aber die RNA-Welt-Hypothese aufgrund sich verdichtender Hinweise die Oberhand.

2009 konnten unter Bedingungen, wie sie laut den Modellen auf der jungen Erde herrschten, Ribonukleotide erzeugt werden – Vorstufen der DNA und der ‘‘Buchstaben’’ des genetischen Codes³. Eine neuere Studie, in der einige der in hydrothermalen Tiefseespalten herrschenden Bedingungen reproduziert wurden (Abb. 1), ergab Hinweise zur Lösung eines weiteren, seit langem beste-

henden Rätsels. Man entdeckte, dass bei kleinen Temperaturgefällen ‘‘Wärmefallen’’ entstehen, in denen sich Nukleotide sammeln, zusammenschließen und RNA bilden können. Diese RNA findet sich dann ebenfalls in dieser Falle⁴. Die Verwendung eines mathematischen Modells in der Studie veranschaulicht, dass wir nicht alle Antworten bezüglich der langwierigen und langsamen Entstehung des Lebens im Reagenzglas finden werden.

EXTRATERRESTRISCHER URSPRUNG

Die für das Leben erforderlichen Bestandteile können aber auch extraterrestrischen Ursprungs sein. Planeten entstehen aus Gas-Staub-Scheiben, die sich um junge Sterne bilden und sowohl Wasser als auch komplexe organische Moleküle enthalten. Da sich diese chemischen Verbindungen auch in primitiven Meteoriten und Kometen finden, hoffen einige Wissenschaftler, die chemischen Zusammensetzungen dieser möglichen Quellen vergleichen zu können, um auf diese Weise festzustellen, wie für das Leben günstige Bedingungen auf der jungen Erde entstehen konnten⁵. Dabei ist interessant anzumerken, dass einige Meteoriten sogar Aminosäuren enthalten,

HEIMAT FERN DER HEIMAT

Dank bodengestützter Beobachtungen und der Kepler-Mission der NASA wurden selbst in größerer Entfernung bislang rund 2000 Exoplaneten entdeckt, die um Sterne jenseits unseres Sonnensystems kreisen. Die Anzahl erdgroßer Planeten,

die sich auf einer Umlaufbahn befinden, die die Entstehung von flüssigem Wasser, d.h. einer habitablen Zone ermöglicht (Abb. 2), ist erheblich größer als einst angenommen⁶. Astronomen versuchen gegenwärtig, die thermischen und chemischen Eigenschaften der Atmosphären dieser extrasolaren Planeten mittels hochentwickelter optischer Verfahren zum Nachweis der hierdurch verursachten spektralen Veränderungen des Sternenlichts zu charakterisieren. Durch spektroskopische Analyse der Signale aus diesen Atmosphären suchen Astronomen nach den Signaturen von Leben.

Doch wonach genau soll man in diesen Atmosphären suchen? Auch hier wenden sich die Forscher zwecks Inspiration wieder der Erde zu, insbesondere den geologischen Prozessen, die zum Zeitpunkt der Entstehung des Lebens am Wirken waren. Die Beweislage ist schwierig – die Menge 3,5 Milliarden Jahre alten Gesteins aus der Zeit, als sich das Leben entwickelte, ist heute verschwindend gering. Dennoch beginnen wir langsam zu verstehen, wie sich die Menge maßgeblicher Elemente (vor allem Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel) allmählich entwickelten. Mit diesem Wissen können wir andernorts nach vergleichbaren Atmosphären suchen.

Wir sind in jeder Hinsicht noch weit von einer zufriedenstellenden Erklärung für den Ursprung des Lebens entfernt. Was jedoch immer deutlicher wird, ist, dass wir dieses Ziel niemals allein durch die Betrachtung von Reagenzgläsern oder alten Gesteins erreichen werden. Stattdessen müssen wir den interdisziplinären Ansatz der letzten Jahrzehnte noch deutlich weiterentwickeln und Wissenschaftler aus allen Gebieten – Chemie, Biologie, Biochemie, Geologie und Astrophysik – zusammenführen. Wenn diese Welten aufeinander treffen und der Nebel sich lichtet, stellen wir vielleicht fest, dass wir die älteste aller Fragen eines Tages beantworten können.

1 Mayor, M. & Queloz, D. *Nature* **378**, 355-359 (1995).
 2 Shapiro, R. in *Planets and Life*. (eds Sullivan, W. T. III & Baross, J. A.) 132-153 (Cambridge University Press, 2007).
 3 Powner, M. W. et al. *Nature* **459**, 239-242 (2009).
 4 Mast, C. B. et al. *Proc. Natl Acad. Sci.* **110**, 8030-8035 (2013).
 5 Cronin, J. R. & Pizzarello, S. *Science* **275**, 951-955 (1997).
 6 Petigura, E. A. et al. *Proc. Natl Acad. Sci.* **110**, 19273-19278 (2013).

- Das Leben auf der Erde basiert auf Nukleinsäuren. Theorien zu ihrer Entstehung aus einfachen Molekülen der frühen Erde erhielten jüngst Auftrieb.
- Einige Wissenschaftler glauben, dass es Asteroide bzw. Kometen waren, durch die Aminosäuren und Wasser ursprünglich auf die Erde gelangten.
- Inspiriert durch bodengestützte Beobachtungen sucht man auf Planeten jenseits unseres Sonnensystems nach Spuren biologischer Aktivität.

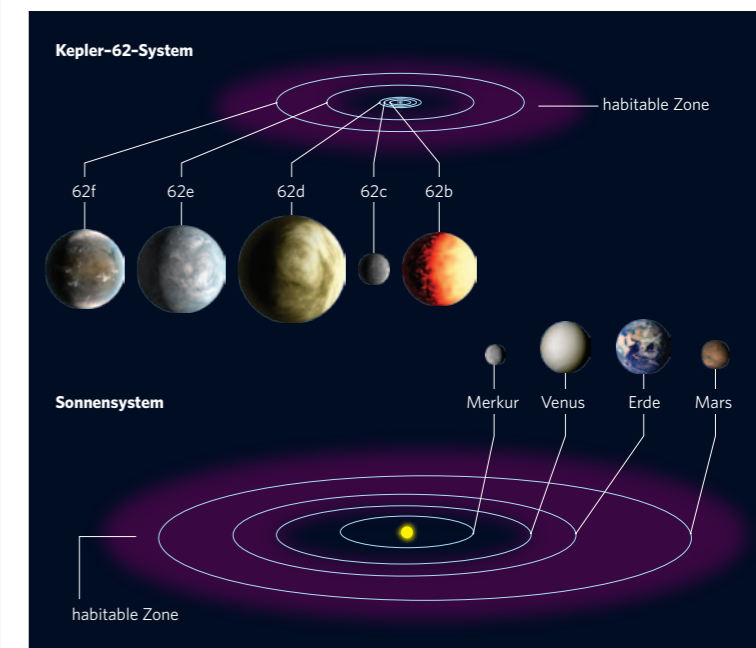
Abbildung 1 | Weißer Raucher, eine Form hydrothermaler Tiefseespalten

Möglicherweise entstanden biologische Polymere und Makromoleküle erstmals in dieser extremen Umgebung mit starkem chemischen und thermischen Gefälle.



Abbildung 2 | Das Planetensystem Kepler-62 im Vergleich zum Sonnensystem

Der Zentralstern des Kepler-62-Systems ist kühler als die Sonne; zwei seiner Planeten liegen innerhalb der habitablen Zone.



Zwar lässt sich das Leben als Ergebnis der chemischen Aktivität von Proteinen betrachten, die kompliziert gefaltete Proteine von heute sind aber zu komplex um durch abiotische Vorgänge entstanden zu sein. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Entwick-

lungsbiologie erforschen, wie sich Proteine aus kürzeren, primitiven Peptiden entwickelt haben könnten, indem sie untersuchen, wie heterogene Proteinfragmente zu gefalteten Strukturen zusammengefügt werden können (Rico JA & Höcker B, *Methods Enzymol.* **523**, 389-405; 2013).