Exotisches Leben

Auf der Suche nach biologischer Komplexität abseits terrestrischer Normen



Von Mag. Johannes Leitner

Ein Blick auf den dritten Planeten von innen eines relativ durchschnittlichen Zentralsterns vom Typ G2V offenbart ein Phänomen das seinesgleichen sucht und bis heute nirgendwo sonst im Universum zu finden ist: Leben. Der ganze Planet und selbst die unwirtlichsten Gegenden der Erde sind mit den verschiedensten Arten von Lebewesen bevölkert. 1.75 Millionen verschiedene Arten sind bis heute taxonomisch von Biologen erfasst, doch selbst diese große Zahl ist nur ein Bruchteil der vermutlich tatsächlich vorhandenen Arten. Zwischen 3 und 30 Millionen warten vermutlich noch auf ihre Entdeckung, manche Biologen gehen sogar von noch 100 Millionen unbekannten Arten aus. Trotz dieser Vielfalt gibt es einige wenige Charakteristika, die alle Lebewesen und seien es Bakterien, Insekten oder auch wir Menschen, miteinander teilen: letztendlich basiert die gesamte terrestrische Biochemie auf dem Lösungsmittel Wasser und einem Kohlenstoff-Sauerstoff Metabolismus. Schon die fundamentalsten Bausteine des Lebens auf der Erde, die Aminosäuren, vereinen diese beiden Prinzipien. Es drängt sich natürlich die Frage auf, ob dies nun universelle Eckpfeiler von Leben sind, oder doch nur Eigenschaften terrestrischen Lebens? Da wir bis heute nur einen einzigen Planeten kennen der Leben hervorgebracht hat, es sozusagen nur eine einzige Stichprobe gibt, kann man ihre Repräsentativität ohne weiteres anzweifeln. Dennoch, heutige Strategien in der Astrobiologie für die Suche nach extraterrestrischem Leben berufen sich hauptsächlich auf diese beiden Eigenschaften und fassen Planeten und Monde, wo es flüssiges Wasser auf deren Oberflächen gibt, vordergründig ins Auge. Und solche Orte gibt es in unserem Sonnensystem zahlreiche, nur kurz sei hier der Mars als ein primäres Beispiel genannt, aber auch der Jupitermond Europa besitzt gemäß unseren heutigen Vorstellungen einen Ozean aus flüssigem Wasser und Eis *(RC berichtete bereits über Europa, Ausgabe 3/2003).*

Doch die Grundfrage bleibt ungeklärt. Ist Wasser das einzige mögliche Lösungsmittel und ein Kohlenstoff-Sauerstoff Metabolismus der einzig mögliche, oder stellen beide Merkmale vielleicht nur eine Anpassung an die frühen Gegebenheiten unseres Planeten dar (und vielleicht auch von anderen Himmelskörpern, wo Wasser in ausreichender Menge vorhanden ist oder war). Bis heute liegen noch viele Aspekte der Entstehung von Leben im Dunkeln. Verschiedene Theorien über den Ursprung werden heute in den (Bio-)Chemielabors der Welt untersucht, aber auch die Befruchtung der Erde mit den Bausteinen für das Leben von außen durch Kometen, die Panspermia Hypothese, ist ein Denkmodell in der Astrobiologie. Eine Analyse der Proben der NASA Stardust Sonde hat den ersten direkten Nachweis gebracht: beim Kometen Wild-2 konnte die Aminosäure Glycin nachgewiesen werden.

Dennoch, Wasser ist nicht das einzige Lösungsmittel, auch beispielsweise Schwefelsäure, Ammoniak, oder aber auch Methan stellen durchaus denkbare Alternativen dar. Von Methan selbst wissen wir ja bereits heute, dass es auf dem Saturnmond Titan in flüssiger Form vorkommt. Aber selbstverständlich ist nicht jeder mögliche Metabolismus für jedes Lösungsmittel geeignet. Die meisten Vertreter terrestrischen Lebens würden äußerst unvorteilhaft auf den Kontakt mit Schwefelsäure reagieren. Ein potentielles Lösungsmittel für exotisches Leben muss deswegen immer im Kontext eines dafür geeigneten Metabolismus betrachtet werden.

Auf der Suche nach einer Definition für Leben

Doch was ist exotisches Leben? Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, selbst für das uns bekannte Leben und seine vielfältigen Ausprägungen gibt es bis heute keine anerkannte Definition. Allein in der naturwissenschaftlichen Literatur sind hunderte verschiedene Definitionsvorschläge und Arbeitshypothesen auszumachen. Der amerikanische Astrobiologe Serhiy Tsokolov schuf eine Einteilung der Definitionen in drei verschiedene Kategorien und fasste in seiner Arbeit auch die jeweiligen Probleme dieser zusammen. Die erste Kategorie bilden Definitionen, die jedoch selbst wiederum Begriffe verwenden, die nicht exakt definiert sind, oder in unterschiedlichen Wissenschaften (wie der Physik, der Biologie, der Informatik) unterschiedlich interpretiert werden. Solche Definition umfassen meist Begriffe wie zunehmende Komplexität, Ordnung oder Information.
Die zweite Kategorie bildet im eigentlichen Sinne keine Definition, sondern stellt Auflistungen von Eigenschaften dar, die lebende Systeme aufweisen, wobei diese natürlich nur die bekannten Systeme der Erde umfassen. In einem Report des National Research Council (NRC) der USA über die theoretischen Möglichkeiten von Leben auch abseits der klassischen Bedingungen, wird ebenfalls eine Lebensdefinition basierend auf den terrestrischen Prinzipien als Ausgangshypothese benutzt. Mit Wasser als Lösungsmittel, Zellen als Bausteine, einem Kohlenstoff-Sauerstoff-Metabolismus, der Fähigkeit



Graduelle Evolution als eine Möglichkeit zur Definition von minimalemLeben. Der Marker wird auf einen gewissen Punkt gesetzt und definiert dadurch die minimalen Eigenschaften, die ein System aufweisen muss, um als lebend zu gelten. Grafiken: Autor (2).

Mit Docutain erstellt

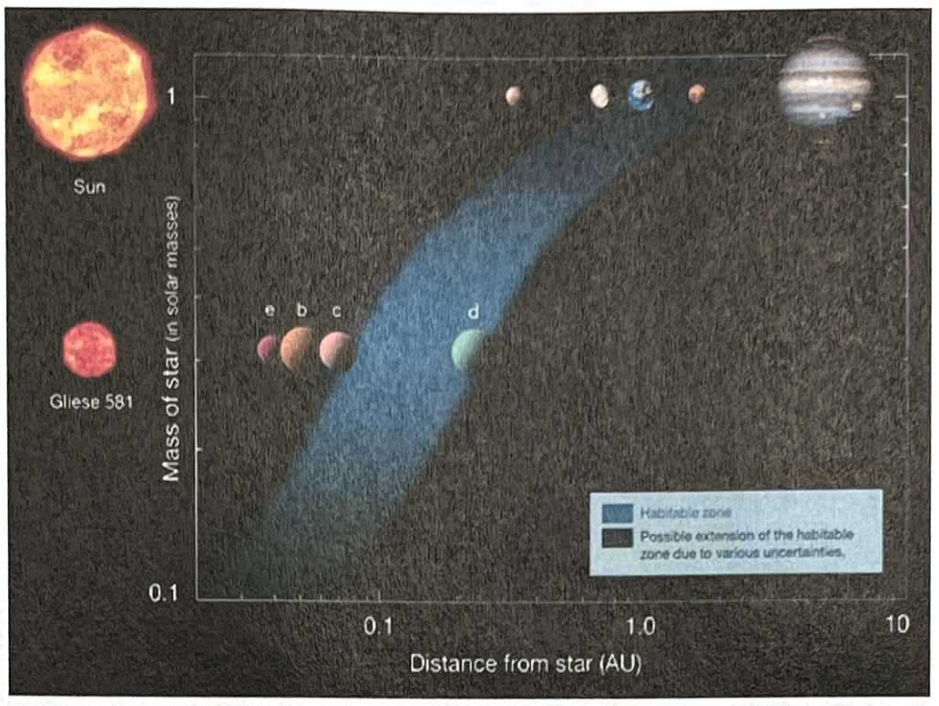
verschiedene Energiegradienten auszunutzen, einer 2-Biopolymer Architektur mit Nukleinsäuren für die genetischen Funktionen und Proteinen als Katalysatoren und der Systemfähigkeit evolutionäre Prozesse zu durchlaufen wurde ein solcher Katalog erschaffen.

Das dritte Konzept einer möglichen Lebensdefinition beruht auf der Idee vom „minimalen Leben". Dafür wird eine Kette von verschiedenen zunehmend komplexen Eigenschaften definiert und Systeme, die diese Eigenschaften bis zu einem gewissen Punkt der Kette (dem Marker für das minimale Leben) erfüllen, werden als lebend bezeichnet. Ungeklärt ist auch bei diesem Konzept einerseits die Grenze, ab welchem Punkt ein System als lebend angesehen wird, und andererseits die Problematik, dass ein System vielleicht nicht alle der vor dem Grenzwert liegenden Eigenschaften erfüllt und dafür vielleicht eine weitere Eigenschaft aufweist, die sonst nur höheren Leben zu eigen ist. Der entscheidende Schritt in Richtung einer anerkannten Definition kann nur in internationaler und interdisziplinärer Zusammenarbeit vollzogen werden. Aber insbesondere für Fragen der Astrobiologie wäre eine anerkannte Definition schon heute von großer Wichtigkeit, denn wie sonst könnte überhaupt jemals eine Antwort auf die Frage nach extraterrestrischem Leben gegeben werden, wenn man eigentlich gar nicht weiß, wonach man sucht?

Das Konzept des exotischen Lebens geht noch einen Schritt weiter. Ausgehend von der Arbeitshypothese des NRC müssen weitere Abstriche gemacht werden. Nicht unbedingt muss Wasser das Lösungsmittel der Wahl einer extraterrestrischen Biochemie sein. Ebenfalls nicht direkt Zellen, sondern vielleicht nur eine Art von makromolekularen Strukturen als Bausteine und ebenfalls kein Kohlenstoff-Sauerstoff-Metabolismus. Dieser muss im Kontext des jeweiligen Lösungsmittels gesehen werden. Nur die Fähigkeit des Systems zu thermodynamisch dissipativem Verhalten und die Möglichkeit evolutionäre Prozesse durchlaufen zu können, kann man noch direkt ummünzen, um ein vorläufiges Konzept (ebenfalls eine Arbeitshypothese) für exotisches Leben zu erhalten.

Leben in fremden Welten?

Mars, Titan, Enceladus, Europa, aber auch die Wolkenregionen der Venus sind nur einige Beispiele potentieller Habitate für Leben im Sonnensystem. Wohl hauptsächlich wegen der einfacheren Zugänglichkeit liegt der Schwerpunkt der nächsten Generation von Sonden mit Fokus auf Astrobiologie auf dem Mars. Sowohl die ESA mit ExoMars als auch die NASA mit dem Mars Science Laboratory (MSL) planen für das nächste Jahrzehnt eine detailierte Suche nach Spuren von Leben auf dem Mars. Aber auch für die anderen Habitate im Sonnensystem sind die Vorbereitungen am Laufen um noch in absehbarer Zukunft Missionen mit astrobiologischen Primärzielen starten zu können. Ein Thema sollte dabei jedoch nicht vergessen werden: Sowohl die heute bekannten Biomarker (also chemische Elemente/Verbindungen, die das direkte Produkt von biotischen Reaktionen sind) als auch beispielsweise die Verwendung von Antikörpern zur Detektierung von Leben beruhen auf Vorstellungen von Leben, wie wir es von der Erde her kennen. Als zwei einfache Beispiele kann man hier Sauerstoff und Methan nennen. Beide Gase stehen einerseits im direkten Zusammenhang mit Leben auf der Erde (Photosynthese und Stoffwechselreaktionen), haben aber auch im Falle des Methans das Problem, dass es auch ein Entgasungsprodukt ist. Also die alleinige Messung von atmosphärischen Methan (wie sie auf dem Mars bereits erfolgreich durchgeführt wurde), ist noch kein eindeutiger Beweis für Leben. Das Grundprinzip, das der Astrobiologie in diesem Punkt zugrunde liegt ist immer noch zu sehr vom geozentrischen Denken geprägt. Obwohl es natürlich ein erster und gut vertretbarer Schritt ist, nach Leben zu suchen, dass in seinen Eigenschaften dem terrestrischen Leben ähnlich ist, sollte die Möglichkeit von exotischem Leben ebenfalls immer im Augenmerk behalten werden.



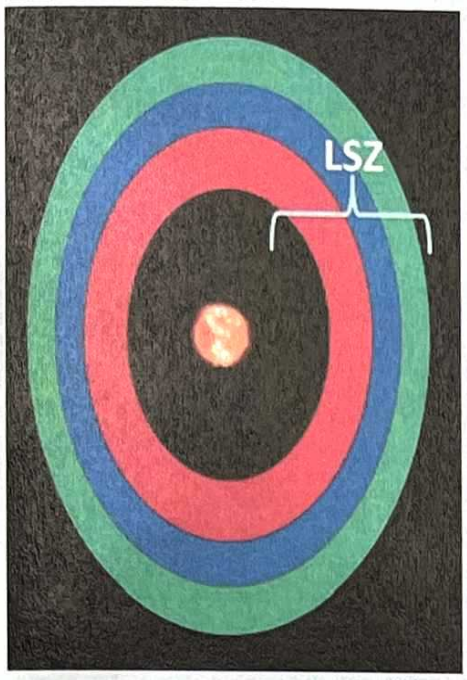
Klassische habitable Zone für das Gliese 581-System mit seinen 4 Planeten im Vergleich zu unserem Sonnensystem. Der Planet Gliese 581d liegt innerhalb der habitablen Zone, flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche ist daher denkbar. Gliese 581b besitzt die 16fache Erdmasse, 581c die 5fache, 581d die 7fache und 581e nur etwa 1.9 Erdmassen. Grafik: ESO.

Heute würde sich exotisches Leben den verwendeten Analysemethoden noch gänzlich seiner Entdeckung entziehen. Es ist noch sehr viel Grundlagenforschung nötig, einerseits um die Möglichkeiten von exotischen Lebensformen grundsätzlich auszuloten, aber auch um Biomarker definieren zu können, welche auf solche exotischen Reaktionen zurückzuführen wären.

Forschungsplattform: Exolife

Im Mai 2009 wurde an der Universität Wien die Forschungsplattform „Alternative Solvents as a Basis for Life Supporting Zones in (Exo-)Planetary Systems", kurz „Exolife" (Leitung: Univ.-Prof. Dr. Maria Firneis) initiiert. Ziel dieser interdisziplinär arbeitenden und international stark vernetzten Forschungsgruppe ist es die Möglichkeiten für exotisches Leben auszuloten, potentielle Metabolismen geeigneten Lösungsmitteln zuzuordnen, aber auch grundsätzliche Fragen, die die Synthese dieser Lösungsmittel betreffen, zu bearbeiten. Eine Kernfrage ist beispielsweise, durch welche chemischen und/oder geologischen Prozesse Lösungsmittel auf der Oberfläche eines Planeten konzentriert werden können und welchen Einfluss solche Flüssigkeiten auf die Atmosphäre (gemeinsam mit Vulkanismus als Lieferant von Aerosolen als Wolkenkondensationskeime) und allgemein auf den globalen thermischen Haushalt haben. In den Modellrechnungen werden dabei unterschiedlichste Szenarien untersucht,

Mit Docutain erstellt



Schematische Darstellung des Konzepts der life supporting zone (LSZ). Das blaue Areal um den Zentralstern entspricht der klassischen habitablen Zone für Wasser. Der rote innere Bereich hingegen ist für ein Lösungsmittel geeignet, welches auch bei höheren Temperaturen flüssig bleibt, der äußere grüne Abschnitt erfordert ein Lösungsmittel, das auch bei tieferen Temperaturen als jenen für Wasser noch flüssig ist. Diese verschiedenen Zonen können sich auch gegenseitig überlappen und bilden gemeinsam die LSZ eines Zentralsystems.

von verschiedenen Spektralklassen der Zentralsterne, bis hin zu verschieden massereichen Planeten (von der Erdmasse bis zur Supererde mit der zehnfachen Masse unseres Heimatplaneten).

Darüber hinaus stellt auch der Mechanismus der Photosynthese eine Teilaufgabe der Forschungsplattform dar. Wir wissen heute, dass die Photosynthese der einzige Prozess ist, der letztendlich Biomasse aufbauen kann. Verschiedene Ausprägungsformen, wie zum Beispiel die sogenannte oxygene oder anoxygene Photosynthese, stellen die einzigen Mechanismen dar, die in der Lage sind direkt aus Sonnenlicht Biomoleküle herzustellen. Bis heute ist die Photosynthese noch nicht 100%ig verstanden und einige der dabei ablaufenden chemischen Reaktion sind sehr kritisch gegenüber den Umweltbedingungen. Auf der Erde selbst funktioniert die Photosynthese weit unter ihrem eigentlichen Potential, wenn man den CO_2-Gehalt in der Atmosphäre berücksichtigt. Optimal wäre, so vermutet man, ein atmosphärischer CO_2-Gehalt von 0.1 bis 1 % (im Vergleich zu dem heute vorhandenen von fast 0.04 %, natürlich nur für den Aspekt der Photosynthese). Auch auf anderen Planeten könnte ein der Photosynthese ähnlicher Prozess für den fundamentalen Aufbau von Biomaterie verantwortlich sein. Bis heute kann darüber jedoch nur spekuliert werden, aber eine gewisse Anpassungsfähigkeit des Prozesses an die vorherrschenden Bedingungen auf anderen Planeten ist denkbar. Dieser Aspekt wird ebenfalls im Rahmen der Forschungsplattform Exolife untersucht.

Von der habitablen Zone zur Live Supporting Zone

Vor mehr als 15 Jahren wurde in der Astrobiologie das Konzept der habitablen Zone eingeführt. Darunter versteht man den Bereich um einen Zentralstern, wo flüssiges Wasser auf der Oberfläche eines Planeten vorhanden sein könnte (annähernd terrestrische Parameter für den Planeten vorausgesetzt). Bis heute wurden für viele verschiedene Zentralsterne deren habitable Zonen berechnet, und auch Planeten die sich in dieser befinden, wurden entdeckt (zum Beispiel im Gliese 581 System). Die Grundproblematik dabei bleibt jedoch erhalten. Flüssiges Wasser dient immer noch aus Ausgangskriterium für die Identifizierung von Planeten, die vielleicht geeignet wären Leben hervorzubringen. In diesem Sinne wiederspiegelt auch das Konzept der habitablen Zone geozentrisches Denken. Im Rahmen der Forschungsplattform Exolife wird gegenwärtig das Prinzip der habitablen Zone insofern erweitert, als dass verschiedene solche Zonen für verschiedene Lösungsmittel errechnet werden. So ist zum Beispiel Ammoniak eine denkbare Lösung, bezüglich dem Temperaturbereich für seine flüssige Phase aber verschieden von Wasser. Wasser ist bei Standardbedingungen zwischen 273 und 373 K flüssig, Ammoniak von 195 bis 240 K. Damit würde eine habitable Zone für reinen Ammoniak außerhalb der habitablen Zone für Wasser liegen. Die Verwendung von beispielsweise Schwefelsäure als Lösungsmittel würde in einer Zone näher am Zentralstern resultieren. Der im Rahmen von Exolife etablierte Begriff der life supporting zone (also einer grundsätzlich lebensermöglichenden Zone) fasst diese Regionen zusammen und beschreibt dadurch einen verglichen mit der Wasserzone breiteren Bereich um einen Zentralstern, wo exotisches Leben sich auf innerhalb dieser Zone befindlichen Planeten entwickeln könnte. Einzelne Regionen, also einzelne lösungsmittelbedingte Subzonen überlappen sich und auch Gemische von beispielsweise Wasser und Ammoniak sind denkbar. Dabei könnte Ammoniak auch die Funktion eines Kühlmittels übernehmen und schon in geringer Menge gemeinsam mit Wasser den Bereich um den Zentralstern, wo ein solches Gemisch in seiner flüssigen Phase vorkommt, verändern. Selbstverständlich spielen dabei die weiter oben genannten Aspekte des Einflusses des jeweiligen Lösungsmittels auf die Atmosphären auch eine bedeutende Rolle um die tatsächliche Raumregion um einen Stern ermitteln zu können, wo ein Lösungsmittel für eine potentielle extraterrestrische Biochemie flüssig vorkommen kann. Letztendlich ist es die Oberflächentemperatur eines Planeten, die darüber bestimmt.

Zukunftsperspektiven

Mehr als 400 extrasolare Planeten sind uns bereits heute bekannt. Obwohl viele davon noch in die Kategorie der Gasriesen zählen, passieren auch Entdeckungen von Supererden immer häufiger. Es scheint, dass Sterne mit Planeten eher die Regel als die Ausnahme sein könnten. Die vermehrte Entdeckung von Gasplaneten liegt wohl hauptsächlich in den heute verwendeten Verfahren zur Suche nach Exoplaneten begründet. Große Gasriesen mit nur geringen Umlaufperioden könnten aber auch nur einen Sonderfall darstellen, der eben durch unsere technologischen Möglichkeiten bedingt am einfachsten zu entdecken ist. Auch stellen heute noch Systeme mit nur einem Planeten die Mehrheit der Entdeckungen dar, aber auch in unserer kosmischen Nachbarschaft beim Stern Gliese 581 (20 Lichtjahre von uns entfernt) weiß man schon heute von 4 Planeten, die ihre Bahnen um den roten Zwergstern ziehen. Und weitere solche Systeme, vielleicht auch um wirtlichere Spektralklassen, sind vermutlich nur mehr eine Frage der Zeit.

Die Antwort auf eine der wohl größten Grundfragen der Menschheit, ob sich in solchen Habitaten auch Leben entwickelt hat und wir nicht allein sind, liegt jedoch noch weiter in der Zukunft. Wir sollten aber schon jetzt versuchen die gesamte für uns denkbare Bandbreite von Leben zu erforschen, auch um nicht möglicherweise an gar nicht so weit entfernten Orten Mikroorganismen zu übersehen, die vielleicht nicht unseren Konzepten von Leben entsprechen, aber dennoch der erste Beweis für extraterrestrisches Leben sein könnten.

Mag. Johannes Leitner
ist Mitarbeiter der Forschungsplattform Exolife an der Universität Wien und Lehrbeauftragter für Planetologie und Astrobiologie am Institut für Astronomie der Universität Wien.

Kontakt
johannes.leitner@univie.ac.at
Weiter Infos
www.univie.ac.at/EPH/exolife

Mit Docutain erstellt