

Abbildung 1: Mars Rover «Curiosity» auf der Oberfläche des Mars. (Courtesy NASA/JPL-Caltech)



«E.T., wo steckst du?»

**Auf dem Mars und den eisigen Monden des Jupiters und Saturns wird nach der Antwort auf eine der ältesten Fragen der Menschheit gesucht:
Gibt es ausserirdisches Leben?**

Dr. Florian Kehl, Nanowissenschaftler am NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Kalifornien*

«Wo das Teleskop aufhört, fängt das Mikroskop an. Und wer weiss, welches den grösseren Weitblick hat?»
Victor Hugo, Les Miserables

Auf den ersten Blick, so scheint es, könnten die betrachteten Dimensionen der beiden Instrumente nicht unterschiedlicher sein. Zum einen die beinahe unendlich erscheinenden Weiten des Weltraums, die unzähligen Planeten, Sterne und Galaxien. Auf der anderen Seite der Mikrokosmos mit seinen Zellen, Bakterien und Biomolekülen; den Bausteinen des Lebens. Diese Welten verschmelzen jedoch im interdisziplinären Forschungszweig der Astrobiologie, welcher sich mit dem Studium des Ursprungs, der Evolution, der Verteilung und der Zukunft des Lebens im Universum beschäftigt.

Die Frage, ob es Leben ausserhalb unseres Heimatplaneten Erde gibt, beschäftigt die Menschen seit jeher, und die Suche danach ist eines der prioritären Ziele der internationalen Luft- und Raumfahrtbehörden. Doch wo soll man überhaupt beginnen zu suchen? Durch immer leistungsfähigere, erdgebundene sowie Weltraumteleskope wie das Hubble-Space-Teleskop geht man heute grob geschätzt davon aus, dass es mindestens 100 Milliarden Galaxien gibt, mit durchschnittlich je etwa 100 Milliarden Sternen, um welche nochmals im Schnitt mindestens ein bis mehrere Planeten kreisen. Seit der Entdeckung des ersten Exoplaneten (also eines Planeten, der um einen anderen Stern als unser Zentralgestirn, die Sonne, kreist) im

Jahr 1995 durch die Schweizer Forscher Michel Mayor und Didier Queloz ist das Wissen um und über Exoplaneten regelrecht explodiert. Heute sind bereits über 3800 solcher fernen Welten bekannt, Tendenz stark steigend. Gleichzeitig haben in den letzten Jahrzehnten Dutzende unbemannter Raumsonden mittlerweile alle Planeten unseres Sonnensystems sowie eine Vielzahl von Monden, Kometen und Asteroiden besucht und mit ihren Instrumenten untersucht. So wissen wir zum Beispiel dank zahlreichen Marsorbitern, -landern und -rovern (sechsrädrigen Fahrzeugen, eines davon, «Curiosity» [Abb. 1], von der Grösse eines Kleinwagens, angetrieben von einer Nuklearbatterie), dass der Mars vor ein paar Milliarden Jahren Flüsse, Seen, und gar ganze Ozeane hatte. Flussläufe, Sedimentablagerungen, Deltas sowie abgerundete Kieselsteine zeugen noch heute davon.

Bausteine des Lebens

Die Suche nach Leben bedeutet indirekt auch die Suche nach flüssigem Wasser. Alles uns bekannte Leben ist im Wasser entstanden und braucht Wasser, um zu leben. Ähnlich wie bei einem Lagerfeuer, bei dem es einen gewissen Abstand gibt, an dem es weder zu heiss noch zu kalt ist, verhält es sich auch bei den Planeten mit dem Abstand zu ihrem Zentralgestirn. Befindet sich ein Planet zu nahe an seinem Mutterstern, ist die Oberfläche zu heiss, das

Wasser verdampft. Ist er jedoch zu weit entfernt, gefriert das Wasser und ist im festen Aggregatzustand dem Leben ebenfalls nicht zugänglich. Diese gemässigte Zone um einen Stern wird auch als *Habitable Zone* bezeichnet. In unserem Sonnensystem befindet sich die Erde beinahe perfekt in der Mitte dieser Zone, der Mars gerade so am eisigen Rand. Auf Merkur und Venus ist es zu heiss, bei den äusseren Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zu kalt.

Das Vorhandensein von flüssigem Wasser reicht jedoch nicht aus für eine weitere Genesis. Für die komplexen biochemischen Strukturen des Lebens braucht es auch einen gewissen Grundstock an chemischen Bausteinen wie zum Beispiel Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor und Schwefel, aus denen sich erste Biomoleküle synthetisieren lassen. Damit es überhaupt dazu kommt, zusätzlich die Zutaten drei und vier: Energie (auf der Erde primär durch die Sonne zur Verfügung gestellt) und enorm viel Zeit.

Dank unbemannten Raumsonden der NASA sowie der ESA wissen wir nun seit ein paar Jahren, dass einige der Monde der äusseren Planeten mehr Wasser beherbergen als alle Erdenozeane zusammengenommen. Beispiele sind der Jupitermond *Europa* sowie der Saturnmond *Enceladus*. Diese sogenannten *Ocean Worlds* bedecken unter einer mehrerer Kilometer dicken Eisschicht einen globalen, dutzende Kilometer tiefen Ozean und einen festen Gesteinskern im Inneren des Mondes.

Aber halt – hiess es nicht eben, dass es jenseits des Marsorbits zu kalt sei für flüssiges Wasser? Wie der Erdmond durch seine Gezeitenkräfte die Erde beeinflusst und den Boden in der Schweiz täglich um dutzende Zentimeter hebt und senkt, beeinflussen auch die riesigen Planeten Jupiter und Saturn ihre Monde und kneten deren Inneres richtiggehend durch, während diese ihre Kreise in ihrer Umlaufbahn drehen. Dieses Durchkneten führt zu innerer Reibung im Kern der Monde, und die Reibung wiederum führt zu Wärme, welche ausreicht, um das Wasser in diesen ausserirdischen Ozeanen in einem flüssigen Zustand zu halten. Des Weiteren führt die Interaktion des Wassers mit dem Gesteinskern und dessen Mineralien gelöste Substanzen zutage und reichern das Wasser mit verschiedenen chemischen Substanzen an. Da diese Monde schon seit Milliarden von Jahren bestehen, wären hiermit eigentlich die vier Grundzutaten Wasser, Energie, Chemie und Zeit gegeben.

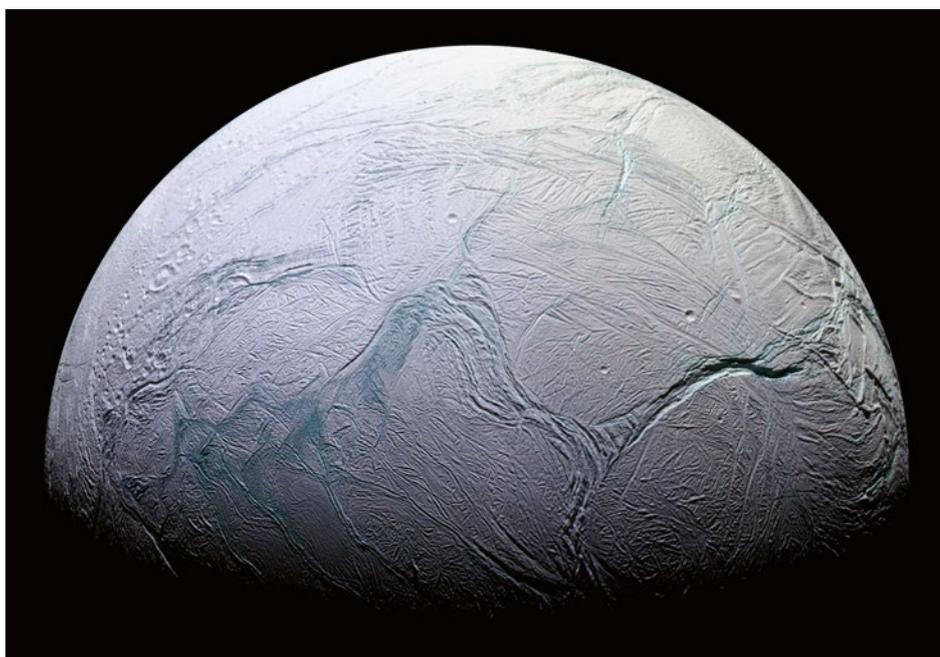


Abbildung 2: Fotografie des eisigen Saturnmondes Enceladus, aufgenommen durch die NASA-Sonde «Cassini». (Courtesy NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)

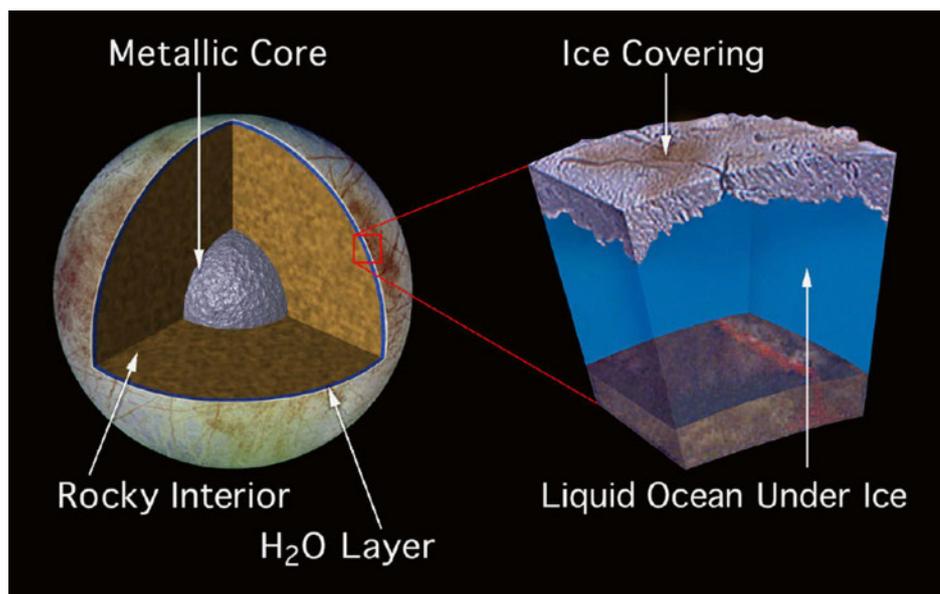


Abbildung 3: Messungen der Galileo-Mission der NASA deuteten darauf hin, dass sich unter der eisigen Kruste des Jupitermonds «Europa» ein flüssiger Wasserozean befinden könnte. (Courtesy NASA/JPL-Caltech)

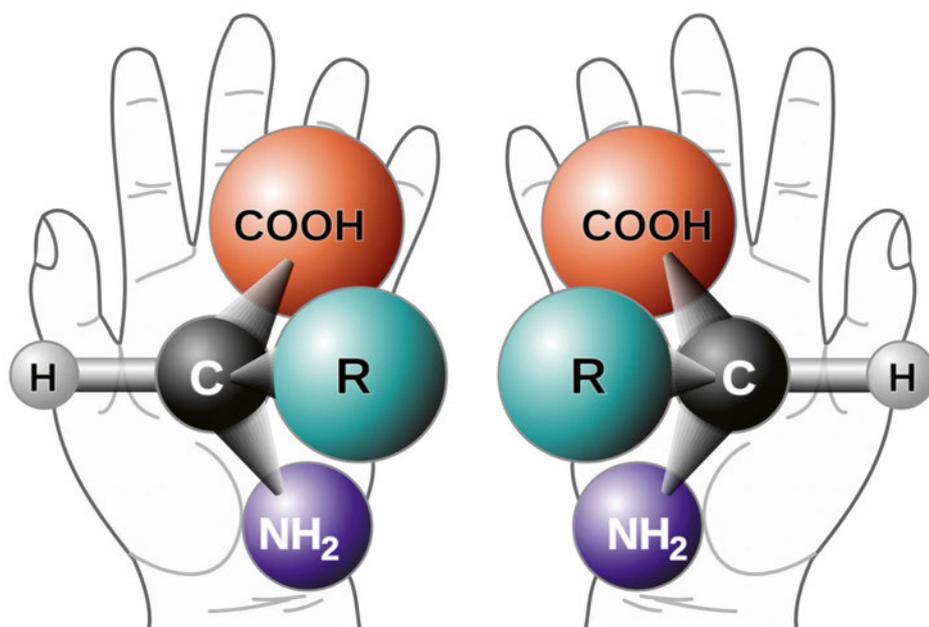


Abbildung 4: Chirale Moleküle unterscheiden sich räumlich voneinander im Aufbau, ähnlich wie die linke und die rechte Hand. (Courtesy NASA)

Links oder rechts oder beides?

Doch wonach soll man suchen? Da keine «grüne (Wasser)Männchen» zu erwarten sind, konzentriert man sich auf die Detektion von Biomolekülen zum Nachweis von potentiell vorhandenem oder bereits ausgestorbenem Leben. Eine aufschlussreiche Klasse von Molekülen sind hierbei Aminosäuren, die Bausteine von Proteinen, welche sich in jeder Zelle finden und zumeist mehr als die Hälfte deren Trockengewichts ausmachen. Die relativ stabilen Aminosäuren haben zudem den Vorteil,

dass man mit geeigneten Methoden unterscheiden kann, ob deren Ursprung ein abiotischer, also rein chemischer Prozess war, oder ob diese durch biotische Prozesse, also Leben, entstanden sind. Diese Unterscheidung kann zum einen durch die relative Häufigkeit sowie die Art und Komplexität von Aminosäuren gemacht werden, zum anderen durch ihre Chiralität, auch «Händigkeit» genannt: Wie unsere linke und rechte Hand kommen auch Aminosäuren in zwei sich spiegelbildlichen Formen vor. Das Leben, wie wir es

kennen, setzt hierbei für die Proteinbiosynthese fast ausschliesslich auf die linkshändige Form. Unsere Zellen produzieren deshalb fast ausschliesslich die ihnen dienlichen L-Aminosäuren, wodurch in der Natur ein signifikanter Überschuss von linkshändigen Aminosäuren besteht. Vereinfacht gesagt verhält es sich fast wie bei einer Schraubenfabrik: die Kunden erwarten ausschliesslich rechtsdrehende Schrauben. Analog zu den Zellen produziert die Fabrik nun natürlich nur rechtsdrehende Schrauben, statt links- und rechtsdrehende zu gleichen Teilen herzustellen und 50 Prozent davon als Ausschuss zu vernichten. Eine ebenso gerichtete Produktion von Aminosäuren entsteht also durch biotische Prozesse. Abiotische Prozesse würden keine der beiden Formen bevorzugen, was zu einer Gleichverteilung der beiden Moleküle führen würde. Fände man nun also auf einem Himmelskörper eine 50:50-Verteilung von rechts- und linkshändigen Aminosäuren, sind diese wohl durch rein chemische Vorgänge entstanden. Wird jedoch ein signifikantes Ungleichgewicht der beiden spiegelbildlichen Formen gemessen, egal in welche Richtung, wäre dies ein starkes Indiz für eine gerichtete, biotische Synthese. Diese Methode könnte es also ermöglichen, Leben, wie wir es kennen, zu entdecken, aber auch Leben, wie wir es *nicht* kennen.

Diese Arbeit wurde am Jet Propulsion Laboratory des California Institute of Technology im Auftrag der National Aeronautics and Space Administration durchgeführt.

Copyright 2019 California Institute of Technology. U.S. Government sponsorship acknowledged. All rights reserved.

Referenzen:

Willis, P. A., et al., Analytical and bioanalytical chemistry 407.23 (2015): 6939–6963.

Creamer, J. S., et al., Analytical chemistry 89.2 (2016): 1329–1337.

* Der Autor arbeitet seit drei Jahren am NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology in Pasadena. Als Life-Detection-Instrumentation-Technologist in der Gruppe von Peter A. Willis entwickelt er Instrumente zur Detektion von Grundbausteinen des Lebens auf fremden Himmelskörpern.