

Enceladus – Lebensspendender Mond? [15. Apr.]

Zwei Monde des *äußeren Sonnensystems* [1] werden zu primären Zielen für die **Suche nach Leben** im *Planetensystem* [1]. Unter ihren eisigen Oberflächen besitzen beide sehr wahrscheinlich tiefe Ozeane, die sich über den jeweiligen gesamten Himmelskörper erstrecken. Diese Ozeane bestehen höchstwahrscheinlich aus flüssigem Wasser, das von dem jeweiligen Mutterplaneten gewärmt werden könnte. Ob etwas in diesen Ozeanen schwimmt, bleibt bisher ein Geheimnis – möglicherweise nicht für lange ...

Pressekonferenz zum Saturnmond Enceladus

Die *US-amerikanische Raumfahrtbehörde NASA* [1] hatte für diese wichtige wissenschaftliche Meldung eigens eine **Pressekonferenz** angekündigt. Vor wenigen Tagen verkündeten die Verantwortlichen, die *Saturnsonde Cassini* [1, 2] habe **Schlüsselsubstanzen des Lebens auf dem Saturnmond Enceladus** [1] entdeckt.

Anlaß für die Meldung ist die Entdeckung von **Wasserstoff** [1] **in den Rauchschwaden** bzw. *Jets* [2] des Mondes (Abb. 1). Die Existenz von Wasserstoff weist auf eine potentielle Energiequelle für *Mikroben* [1] hin, die in den Ozeanen des Saturnmondes existieren könnten, und macht Sonnenenergie für die Entstehung von Leben auf dem Mond nicht länger notwendig.



Abb. 1 Künstlerische Darstellung der Wasserstoff-Rauchschwaden auf Enceladus.
Die Saturnsonde Cassini beobachtete erneut Jets aus Wasserstoff, die aus der Oberfläche des Saturnmondes Enceladus austreten.

© M. Garlick/Getty Images

Der Saturnmond Enceladus

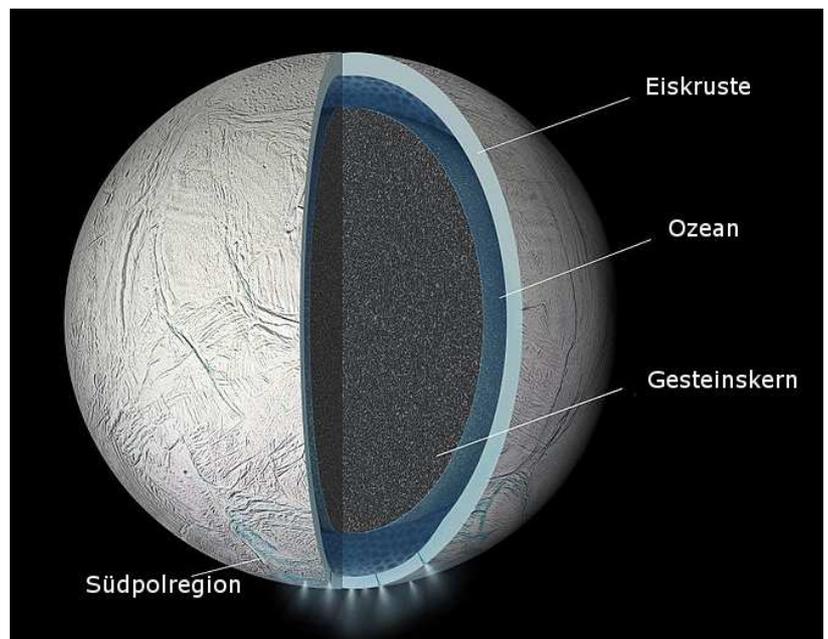
Die Existenz der Jets (Abb. 1-4) auf Enceladus ist nicht neu, sie wurden erstmals im Jahr 2005 beobachtet wie sie aus Rissen in der Nähe des Südpols des Mondes aufsteigen.

Abb. 2

Schematischer Aufbau des Saturnmonds Enceladus.

Bisher gehen die Forscher davon aus, daß Enceladus eine Eiskruste besitzt, die einen riesigen Ozean unter sich verbirgt. Wahrscheinlich besitzt der Mond einen Gesteinskern. Die Jets aus Wasserstoff wurden in der Region des Südpols erstmals im Jahr 2005 beobachtet.

© NASA/JPL



Der Saturnmond Enceladus ist fast vollständig mit einer **Eiskruste** bedeckt (Abb. 2). Seit Jahren vermuten Wissenschaftler die Existenz eines **Ozeans aus flüssigem Wasser** unter der Oberfläche. Dies könnte den austretenden Wasserdampf erklären. In diesem Fall müßte ein Mechanismus existieren, der dafür sorgt, daß der Ozean trotz der niedrigen Temperaturen auf dem Mond nicht einfriert, eine sog. **Wärmequelle** (Abb. 3).

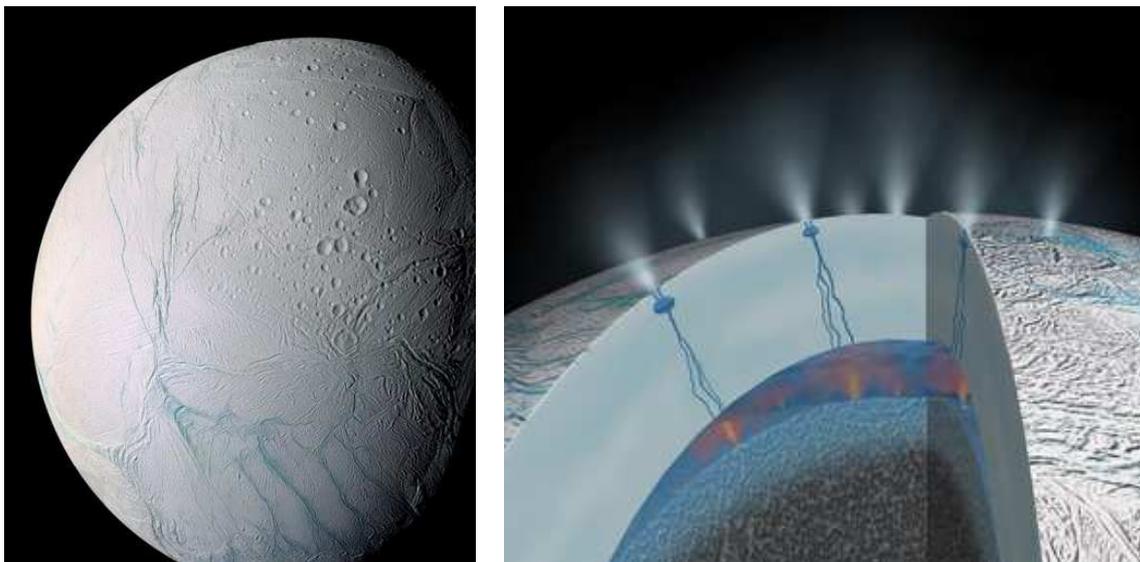


Abb. 3 Schematische Darstellung von Hydrothermalquellen als Ursache der Jets.

Rechts: Bereits seit Jahren überlegen die Forscher, ob die von Cassini beobachteten Jets durch *Hydrothermalquellen* [1] entstanden sein könnten. Durch eine Wärmequelle unterhalb der Eiskruste könnten die Rauchgasschwaden an der Oberfläche des Mondes erklärt werden.

Links: Farbverstärkte Aufnahme der südlichen Hemisphäre des Saturnmonds Enceladus. Die bläulichen „Tigerstreifen“ befinden sich vornehmlich am Bereich des Südpols. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um die Auswirkungen der sublunaren Hydrothermalquellen des Ozeans, die als Quelle der an der Oberfläche beobachteten Jets gelten.

© NASA/JPL/CalTech // NASA/CalTech//SSCI

Vor allem könnte **Ammoniak** [1] den *Gefrierpunkt des Wassers* [1] im Ozean absenken; in diesem Fall würde das Wasser nicht bei Temperaturen um 0 Grad gefrieren, sondern bei wesentlich niedrigeren Temperaturen.

Die Saturnsonde flog bereits mehrmals durch die beobachteten Dampfschwaden hindurch, um deren chemische Zusammensetzung zu erkunden (Abb. 4). Im Jahr 2009 konnte Cassini die **Existenz von Ammoniak** nachweisen, im Jahr 2015 die Existenz von Wasserstoff.

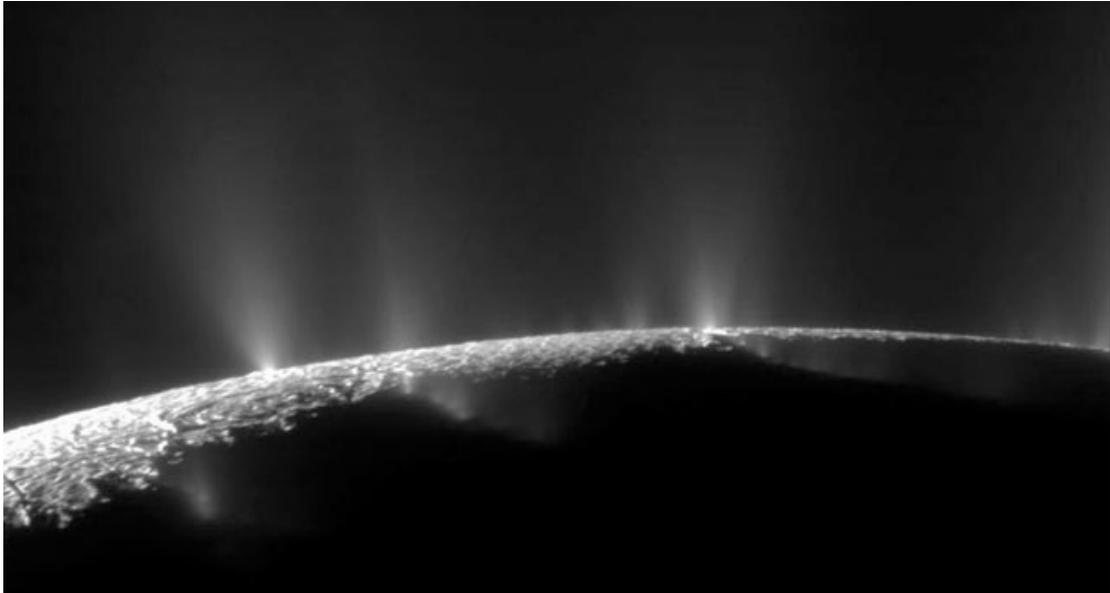


Abb. 4 Cassini beobachtet Wasserstoff-Rauchschwaden auf Enceladus.

Die Saturnsonde Cassini hat zum wiederholten Mal Wasserstoffschwaden des Saturnmonds Enceladus beobachtet. Nach der Passage durch die Strukturen konnte Wasserstoff als Bestandteil dieser Jets identifiziert werden.

© NASA/JPL/SSCI

Als Ursache für den Austritt der Jets auf dem Saturnmond schlug ein Team von Chemikern die Existenz **hydrothermaler Reaktionen** [1] im sublunaren Ozean vor (Abb. 3) [3]. Allerdings können die von Cassini nachgewiesenen Substanzen erst bei Temperaturen von mehr als 50 Grad Celsius erzeugt werden.

Seit etwa einem Jahr ist nach einem Überflug der Saturnmission in einer Höhe von nur 48 Kilometern bekannt, daß die beobachteten Jets Wasserstoff enthalten, zuvor waren *Methan* [1] und *Formaldehyd* [1] gefunden worden. Die Anwesenheit von Wasserstoff deutet auf die Existenz einer **geochemischen Quelle** [1] im Ozean des Saturnmondes, die sich aus der Wechselwirkung von warmem Wasser und Gestein speisen und so „warme“ Temperaturen erzeugen könnte.

Hydrothermalquellen

Auf der Erde stellen **hydrothermale Quellen** in der Tiefsee die Energie für die Existenz von Leben zur Verfügung. Bei den dortigen Lebensformen handelt es sich um Bakterien, die die Grundlage der Nahrungskette darstellen, und Lebensformen wie Würmer, Shrimps, etc. Die neue Entdeckung auf dem Saturnmond könnte auf eine ähnliche Entwicklung hinweisen [5] (Abb. 5).

Bei Ammoniak und Kohlendioxid*, die beide auf dem Saturnmond existieren, handelt es sich um Substanzen, die vermutlich bereits in der Vorzeit auf unserem Planeten existierten; aus ihnen könnte sich das terrestrische Leben entwickelt haben.

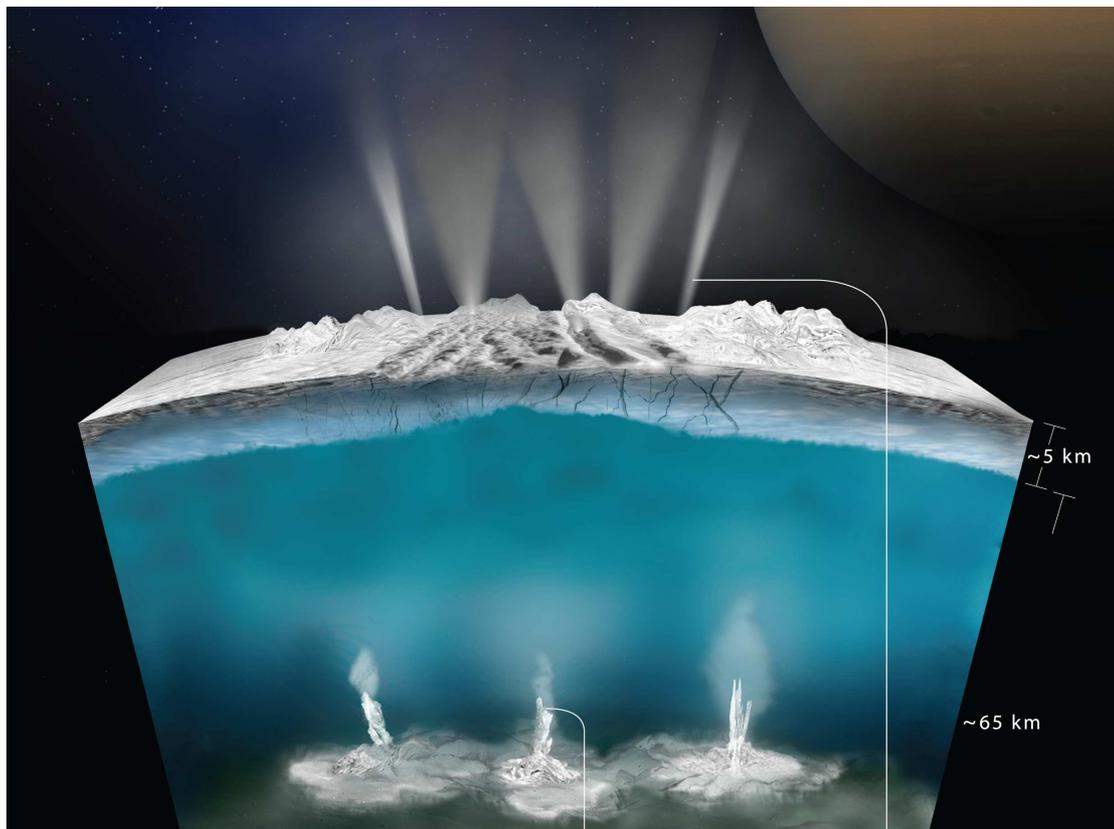


Abb. 5 Schematische Darstellung der Hydrothermalquellen auf Enceladus.

Die obige Darstellung soll die Wechselwirkung von Wasser mit Gestein am Boden des Ozeans verdeutlichen. Dabei wird (*molekularer*) *Wasserstoff* [1] erzeugt. Dieser wurde von Cassini im Oktober 2015 entdeckt. Die beobachteten Jets* enthalten rund 98 Prozent Wasserdampf, etwa 1 Prozent Wasserstoff und zu einem Prozent eine Mixtur aus anderen Gasen wie Kohlendioxid, Methan und Ammoniak. Die Forscher vermuten, daß Enceladus eine rund 5 Kilometer dicke Eiskruste (oben) besitzt, die einen etwa 65 Kilometer tiefen Ozean (unten) verdeckt. Im Zentrum besteht der Mond wahrscheinlich aus Gestein (unterhalb des Bildrands, nicht sichtbar). Wenn das Wasser des Ozeans über den Boden zirkuliert, wird es aufgeheizt und wechselwirkt chemisch mit dem Gestein. Das so aufgewärmte Wasser reichert sich mit *Mineralien* [1] und gelösten Gasen (einschließlich Wasserstoff und möglicherweise Methan) an, die mithilfe der Jets an die Oberfläche des Mondes gelangen. Die neuen Beobachtungen der Saturnsonde beweisen die Existenz dieser hydrothermalen Aktivität im Ozean des Mondes und bestätigen die Vermutung, daß die Wechselwirkung des Ozeanwassers mit dem Gestein geochemische Reaktionen hervorruft. Die Entdeckung des Wasserstoffgases in den Jets weist auf die Existenz einer Wärmequelle in diesem Ozean hin, die freie chemische Energie erzeugt.

© NASA/JPL/CalTech//yahw

Falls **Mikroben** im Ozean des Saturnmonds existieren, könnten diese den von Cassini beobachteten Wasserstoff im Rahmen der sog. **Methanogenese** [1] verwenden. Dabei kann durch die Kombination von Wasserstoff mit in Wasser *gelöstem Kohlendioxid* [1] Energie entstehen. Dieser Prozeß erzeugt als Abfallprodukt *mikrobielles Methan* [1].

Die Methanogenese wird auf der Erde von Bakterien betrieben; durch diesen Prozeß gewinnen sie in der Tiefsee Energie, ohne jemals Sonnenlicht zu benötigen. Die Methanogenese ist ein wichtiger Prozeß des *Kohlenstoffzyklus* [1] für die Bildung von Leben auf unserem Planeten.

Fazit

Die Bestätigung der Annahme, daß chemische Energie als Basis für die Entwicklung von Lebensformen in einem Ozean eines kleinen Saturnmondes existiert, ist ein wichtiger Schritt bei unserer Suche nach bewohnbaren Welten außerhalb der Erde.

Die Identifizierung von wichtigen Bestandteilen, die eine **lebensfreundliche Umgebung** erzeugen können, in der Südpolregion des Saturnmondes ist eine sehr wichtige Entdeckung.

Soweit wir wissen, existieren **drei Bausteine**, die für die Existenz von Leben unausweichlich vorhanden sein müssen: Wasser, Energie und die „richtigen“ chemischen Komponenten. Im Falle von Enceladus sind die notwendigen chemischen Elemente vorhanden, außerdem besitzt der Saturnmond Wasser und – wie man nun weiß – eine Energiequelle.

... und Europa?

Die NASA bestätigte zudem, daß das Weltraumteleskop Hubble (HST) ähnliche Jets bzw. *geysirartige Auswürfe* [1] auf dem *Jupitermond Europa* [1] gesichtet habe. Diese wurden bereits im Jahr 2014 beobachtet, danach jedoch nicht mehr. Im Jahr 2016 entdeckte das HST Jets im gleichen Bereich des Jupitermondes, an der Stelle, an der die Sonde *Galileo* [1] einen *thermischen Hot Spot* [1] vermutet hatte [5]. (Abb. 6)

Der Jupitermond Europa ist sogar größer als der *Zwergplanet Pluto* [1], dem ehemaligen 9. Planeten des Sonnensystems. Die Größe Europas spricht ebenfalls für die Existenz einer inneren Wärmequelle, die hydrothermale Prozesse und Jets steuern könnte. Falls dort ein Ozean existiert, enthielte er mehr Wasser als sämtliche Meere der Erde, und bestünde unterhalb der Eisoberfläche eine **Ausdehnung** von 15-25 Kilometern.

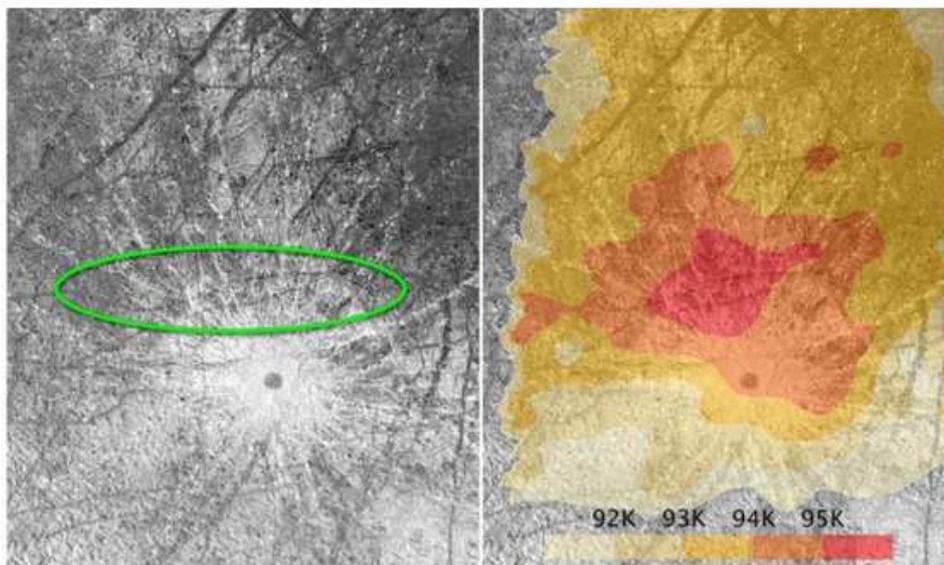


Abb. 6 Thermische Anomalie auf dem Jupitermond Europa.

Links: Die Aufnahmen des Jupitermondes Europa durch die Galileo-Mission zeigen eine *Anomalie* [1] auf der eisigen Mondoberfläche (links, **grünes** Oval). Innerhalb der Markierung befindet sich wahrscheinlich die Quelle potentieller Jets, aus denen Wasserdampf an die Oberfläche gelangt. Der Wasserdampf war mit dem HST im Jahr 2014 und erneut im Jahr 2016 beobachtet worden.

Rechts: Die thermische Karte der Region zeigt die Überlappung der Anomalie mit abnormal warmen Regionen (**gelb- bis orangefarben**) auf der Oberfläche des Mondes.

Unter der Annahme, daß die Überlappung der Region des Jets und anomaler Erwärmung real ist und das HST tatsächlich Jets beobachtet hat, existieren **2 mögliche Erklärungen**:

(1) entweder befindet sich flüssiges Wasser unter der Oberflächeneisschicht des Mondes und Wärme steigt von unten nach oben und verursacht die thermische Anomalie (Abb. 6), was die Eisschicht aufbrechen und Jets auftreten läßt; das würde voraussetzen, daß sich das Wasser lediglich 2 Kilometer unter der Mondoberfläche befindet; oder
(2) der beobachtete Jet, dessen Ursache unter der Mondoberfläche liegt, kann die Anomalie erzeugen, indem er die thermische Eigenschaft der betroffenen Region verändert, also die *Textur* [1] und Kompaktheit der Eisoberfläche; dadurch entstünden wellenartige Erhebungen und Senken dichteren Eises, das mit Schnee bedeckt ist, und schneller erkalte als die Umgebung.

In beiden Fällen gehen die Forscher in Bezug auf die Ursache des Ausbruchs von einer „Chaos-Region“ aus, die aus gebrochenem Eis besteht. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit Reservoirs flüssigen Wassers, die sich unter der Eiskruste zwischen der Oberfläche und einem inneren Ozean bilden. Diese **temporären Wassertaschen** könnten die Oberfläche des Jupitermondes langsam aufbrechen.

Abb. 7
Künstlerische Darstellung eines Wasserstoff-Jets auf dem Mond Europa.
Falls die Deutung der unterschiedlichen Beobachtungen korrekt ist, zeigt neben dem Saturnmond Enceladus auch der Jupitermond Europa Jets, die warmes Wasserstoffgas aus einer Region unterhalb der eisigen Oberfläche nach außen schleudern. Derartige Ausbrüche wurden von Galileo, dem HST und ALMA beobachtet.
© NASA/ESA/K. Retherford/SWRI



Das *Submillimeter-Teleskop ALMA (Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array)* [1] der *europäischen Südsternwarte ESO (European Southern Observatory)* [1] hat die abnormal warme Region auf dem Jupitermond ebenfalls gemessen.

Allerdings wird Europa – wie Enceladus – durch die **Gezeitenwirkung** [1] seines Mutterplaneten bedrängt; möglicherweise gaukeln uns diese Gezeitenkräfte eine Art *Pseudo-Plattentektonik* [1] vor, der Grund für eine junge Mondoberfläche.

Bisher wissen wir nicht, ob Europas Ozeans Wasserstoff enthalten. Die Aufregung ist groß. Aufklärung könnte der Nachfolger des HST, das *James Webb-Weltraumteleskop* (JWST) [1], das im nächsten Jahr gestartet werden soll, bringen, außerdem die *SOFIA-Plattform* [1], ein *Infrarot-Teleskop* [1] auf einer *modifizierten Boeing 747* [1].

... und nun?

Die US-amerikanische Weltraummission **Europa Clipper** [1] soll den Jupitermond Europa bald untersuchen, die Dicke der Oberflächeneissschicht bestimmen sowie die Tiefe und den Salzgehalt seines (sublunaren) Ozeans. Außerdem sollen die Atmosphäre des Mondes und die chemische Zusammensetzung der beobachteten Jets untersucht werden. Die Mission soll im Jahr 2022 gestartet werden.

Eine Mission zum Saturnmond Enceladus ist bisher nicht vorgesehen. Eine dafür ange-dachte Mission ist der **Enceladus Life Finder** (ELF) [1]. ELF soll wahrscheinlich 8-10 mal durch die Gasjets des Mondes fliegen und weitere chemische Analysen ausführen. Doch der Start dieser Mission steht sozusagen in den Sternen.

Wo endet die Suche – wo beginnt sie?

Die Entdeckung von Wasserstoff in den Gasschwaden des Saturnmondes Enceladus ist faszinierend. Allerdings birgt diese Neuigkeit Fragen wie Machen wir alles falsch? Suchen wir an den falschen Orten nach Leben?

Bisher hat sich die **Suche** der Wissenschaftler **nach Leben** hauptsächlich auf *Exoplaneten* [1] konzentriert und anschließend auf solche, die sich in den *bewohnbaren Bereichen* [1] um ihre *Zentralsterne* [1] befinden. Gegenwärtig sucht man nach anderen Erden bzw. erdähnlichen Planeten.

Wird die Entdeckung auf Enceladus diesen Fokus verändern (können)?

Sind es eher die Eiswelten und deren Eismonde, die die eigentlichen Ziele für die Suche nach Leben sein sollten? Die neue Entdeckung der Cassini-Mission und des HST suggerieren, daß ein sehr guter Ort, an dem man nach Leben suchen sollte, unser eigenes Sonnensystem ist.

Wenn das so einfach wäre ...

Es existiert ein 4. Bestandteil für die Entstehung von Leben außerhalb der Erde: **Zeit**. Neben Wasser, Energie und den richtigen chemischen Elementen benötigt die Entstehung von Leben vor allem ZEIT.

Wieviel Zeit benötigt die Entstehung von Leben?

Das wissen wir nicht genau. Genau darin könnten sich Enceladus und Europa voneinander unterscheiden. Der Jupitermond Europa ist rund 4 Milliarden Jahre alt, etwa 500.000 Jahre jünger als die Erde. Auf der Erde begann das Leben vor rund 3,5 Milliarden Jahren. Damit hätte Europa viel Zeit für die Entwicklung von Leben gehabt, aber das bedeutet nicht, daß dort tatsächlich Leben existiert.

Eine NASA-Mitarbeiterin ist ebenfalls skeptisch, ihrer Meinung nach seien die großen Mengen Wasserstoff und Kohlendioxid für die Entwicklung von Leben nicht besonders hilfreich. Falls auf Enceladus Leben existiere, sei es nicht besonders aktiv. Sie vergleicht die Unmengen Wasserstoff auf dem Mond mit einer Pizza: Wenn man immer mehr Stapel

mit Pizza habe, wie an einer Schule, blieben diese irgendwann einfach liegen – ähnlich den Unmengen von Nahrung auf Enceladus, die nicht verbraucht würden.

Der Saturnmond Enceladus dagegen ist wahrscheinlich viel jünger als Europa. Die Untersuchung der Bahnen der (zahlreichen) Saturnmonde läßt vermuten, daß Enceladus wahrscheinlich nur etwa 100 Millionen Jahre alt ist. Das ist sehr jung im Vergleich zur Erde. Möglicherweise hatte Enceladus noch nicht ausreichend viel Zeit, damit sich dort Leben entwickeln konnte.

Die Entdeckung von Wasserstoff, der aus dem Inneren des Saturnmondes stammt, ist von grundlegender Bedeutung für die Suche nach Leben, aber sie wirft ebenfalls Fragen auf, die zu heftigen Debatten führen werden. Dennoch deutet die Entdeckung wahrscheinlich auf die Existenz einer Energiequelle auf Enceladus und birgt einen starken Hinweis, daß es sich um ähnliche hydrothermische Wärmequellen handeln könnte wie wir sie von der Erde kennen.

„Wir haben zwar keine Mikroben gesehen, aber ihre Nahrung.“ - Alles, was wir jetzt benötigen, ist ... eine Mission zum Saturnmond Enceladus.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über Objekte des Sonnensystems und astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Mehr Information zur Saturnmission Cassini
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/cassini%20geht%20die%20luft%20aus%20-%20apr%202017%20-%20TSAN.pdf>

[3] Sekine, Y., et al., *Nature Communications* **5**, 8604 (2015)

[4]
Waite, J. H., et al., *Science* **356**, 6334, 155-159 (14 Apr 2017)
Voosen, P., *Science* (13 Apr 2017)
Hsu, H.-W., et al., *Nature* (12 March 2015)

[5]
Sparks, W. B., et al., *ApJL* **839**, 2 (2017)
Rhoden, A. R., et al., *Icarus* **253**, 169-178 (2015)