



NASA/JPL/Space Science Institute

Die NASA-Sonde Cassini beobachtete im Jahr 2005 Fontänen aus Wassereis und -dampf in der südlichen Polarregion des Saturnmondes Enceladus. Außerdem fand die Sonde Hinweise auf komplexere organische Moleküle.

Lebenszeichen im äußeren Sonnensystem?

Die Quantifizierung des Methans in den Geysiren auf dem Saturnmond Enceladus deutet auf eine biotische Quelle hin.

Pia Friend

Einige Monde, die ihre Bahnen in vielen hunderttausend Kilometern Entfernung um die Gasriesen Saturn und Jupiter ziehen, sind überraschend und faszinierend. Ihre äußere Hülle besteht aus mächtigen Schichten Wassereis und darunter dehnen sich globale Ozeane aus, die teilweise ein Vielfaches des Wassers der Erde beherbergen. Diese „Ocean Worlds“

gelten als vielversprechend bei der Suche nach extraterrestrischem Leben. Die Cassini-Mission hat in den letzten Jahren besonders den Saturnmond Enceladus in den Fokus gerückt [1]. An seiner Südpolarregion zeigt er kryovulkanische Aktivitäten – dort stoßen hunderte Geysire entlang von vier parallel verlaufenden Rücken kontinuierlich Gas-, Eis- und Staubpartikel ins All (Abb. oben).

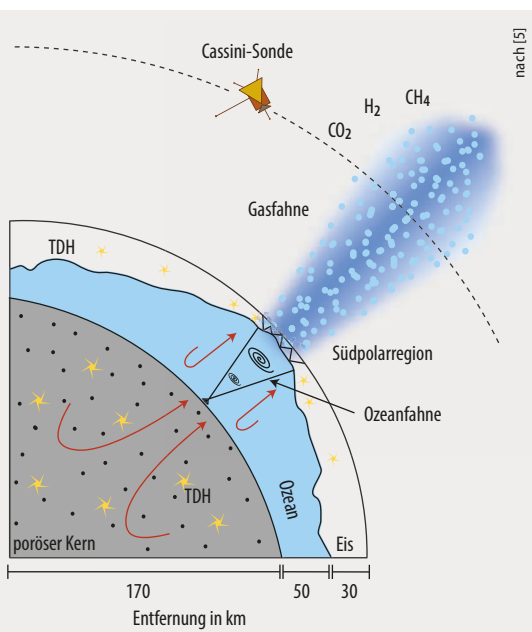
Cassini konnte bei mehreren nahen Überflügen die chemische Zusammensetzung der Emissionen messen (Abb. 1). In der Gasphase macht Wasserdampf dabei mindestens 96 Prozent aus, aber auch Kohlen-

stoffdioxid, Ammoniak, Methan und molekularer Wasserstoff ließen sich nachweisen [2]. Dieser kalte Vulkanismus, der sich an der Oberfläche durch die Geysire zeigt, hat seinen Ursprung im subglazialen Ozean, an der Grenze zum inneren Kern des Mondes. Dort scheint es eine ähnliche Aktivität zu geben wie an den schwarzen und weißen Rauchern in der Umgebung hydrothermaler Quellen am Meeresboden der Erde. Diese gelten als Brutstätten der ersten irdischen Organismen. Der Kern von Enceladus besteht vermutlich aus Silikaten und Metallen, weist eine poröse Struktur auf und wird von den Gezeitenkräften Saturns periodisch aufgeheizt.

Sowohl Methan als auch molekularer Wasserstoff gelten gemeinhin als Biosignaturen, können aber jeweils auch durch abiotische geochemische Prozesse entstehen. So gibt es momentan zwei unterschiedliche Ansätze, um ihre Entstehung auf Enceladus zu erklären:

- Zum einen könnten die Stoffe durch hydrothermal angetriebene chemische Prozesse im Kern entstehen. So setzen in der Nähe des mittelozeanischen Rückens auf der Erde die

Abb. 1 Die innere Struktur von Enceladus ist vermutlich durch gezeitenabhängige dissipative Heizung (TDH, gelbe Sterne) und Wasserzirkulation (rote Pfeile) im Kern und im Ozean geprägt. Auftrieb und Coriolis-Kräfte formen die Ozeanfahnen (schwarze Spiralen). Die Raumsonde Cassini hat bei einem ihrer Vorbeiflüge an Enceladus die Gasfahne des in den Weltraum entweichenden ozeanischen Materials durchquert.



Hydratation von Olivinen (Serpentinisierung), einem häufigen Mineral in der Erdkruste, und Oxidation des enthaltenen Eisens molekularen Wasserstoff frei. Durch weitere Reaktion von H mit CO_2 kann dann Methan (CH_4) entstehen [3].

■ Andererseits könnten die Komponenten als Stoffwechselprodukt von Bakterien auftreten, die mittels Methanogenese statt aus Sonnenlicht Energie gewinnen. Diese „Methanbildner“ finden sich auf der Erde in sehr unterschiedlichen, stets anaeroben Lebensräumen [4].

Ein Team um Antonin Affholder von der Université PSL in Paris hat nun sämtliche möglichen relevanten und gesicherten Rahmenbedingungen berücksichtigt, um zu untersuchen, wie Methan und Wasserstoff auf Enceladus entstehen [5]. Genauer haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch Modellrechnungen die Wahrscheinlichkeit quantifiziert, dass sich die gemessenen Fluchraten beider Stoffe durch biotische Prozesse erklären lassen. Dabei verwenden sie einen bayesischen statistischen Ansatz. Generell quantifiziert dieser unter Berücksichtigung tatsächlich gegebener Beobachtungen eine Wahrscheinlichkeit, ob alternierende Hypothesen wahr sind. Dabei werden zunächst die verschiedenen Hypothesen in mathematische Modelle übersetzt. Darauf basierende Simulationen kombinieren a priori bekannte Fakten und Beobachtungen mit der A-posteriori-Wahrscheinlichkeit, dass die jeweilige Hypothese wahr ist.

Die Autoren stellen die beiden gegensätzlichen Szenarien abiotischer und biotischer Methanproduktion im subglazialen Ozean auf Enceladus gegenüber. In die Modellierung flossen alle relevanten Informationen sowie Unsicherheiten möglicher Gegebenheiten im Inneren von Enceladus ein.

Im ersten Schritt erhalten sie aus über 50 000 Simulationsläufen sogenannte Pseudodaten, die in zwei Klassen aufteilbar sind (Abb. 2): habitabel und nicht habitabel. Offensichtlich erlaubt eine große Bandbreite unterschiedlicher realistischer Parameterwerte auf Enceladus die Entstehung methanogener Lebensformen. Danach überprüften die Forschenden, welche Modelle die von Cassini gemessene quantitative Fluchrate von Methan in den Geysiren erklären können.

Modelle, die sowohl eine abiotische Produktion von Wasserstoff im Kern von Enceladus als auch biotische Methanproduktion einschließen, können die Daten erklären. Allerdings reicht die abiotische hydrothermale Serpentinisierung im Kern von Enceladus alleine nicht aus, um die gemessenen Fluchraten von Wasserstoff und Methan zu erklären.

Bei den gegebenen Beobachtungen ist vielmehr die A-posteriori-Wahrscheinlichkeit für ein biotisches Szenario am höchsten – falls die Wahrscheinlichkeit hoch genug ist, dass Leben in einem habitablen Umfeld wirklich entsteht. Wenn hingegen die Wahrscheinlichkeit, dass sich auf Enceladus lebende Organismen ent-

wickelt haben, zu gering ist, sind die von Cassini gewonnenen Daten konsistent mit einer habitablen, jedoch unbewohnten Umgebung in der Nähe der hydrothermalen Quellen. Dann müsste es aber noch mindestens eine weitere abiotische, bisher unbekannte Methanquelle geben – etwa ein primordiales Reservoir, das langsam ausgast.

Die Autoren weisen darauf hin, dass bestimmte Isotopenverhältnisse weitere Einblicke in die chemischen Vorgänge und Zusammensetzung des Enceladus-Kerns und somit den Ursprung des Methans bieten könnten. Solche Informationen liegen in den Cassini-Daten aber leider nicht vor, sondern müssten in weiteren Missionen, etwa zum Jupitermond Europa oder nochmals zu Enceladus, bestimmt werden. Ein bayesisches Modell scheint jedenfalls ein guter Indikator zu sein, durch Integration des Inneren von Himmelskörpern und ökologischen Modellen Habitabilität und Biosignaturen zu bestimmen.

- [1] P. Friend, *Physik Journal*, Mai 2020, S. 28
- [2] J. H. Waite et al., *Science* **356**, 155 (2017)
- [3] F. Klein, N. G. Grozova und J. S. Seewald, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **116**, 17666 (2019)
- [4] R.-S. Taubner et al., *Nat. Commun.* **9**, 1 (2018)
- [5] A. Affholder et al., *Nat. Astron.* (2021), DOI: 10.1038/s41550-021-01372-6

Die Autorin

Dr. Pia Friend, Arbeitsgruppe Astroteilchenphysik, Bergische Universität Wuppertal, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal

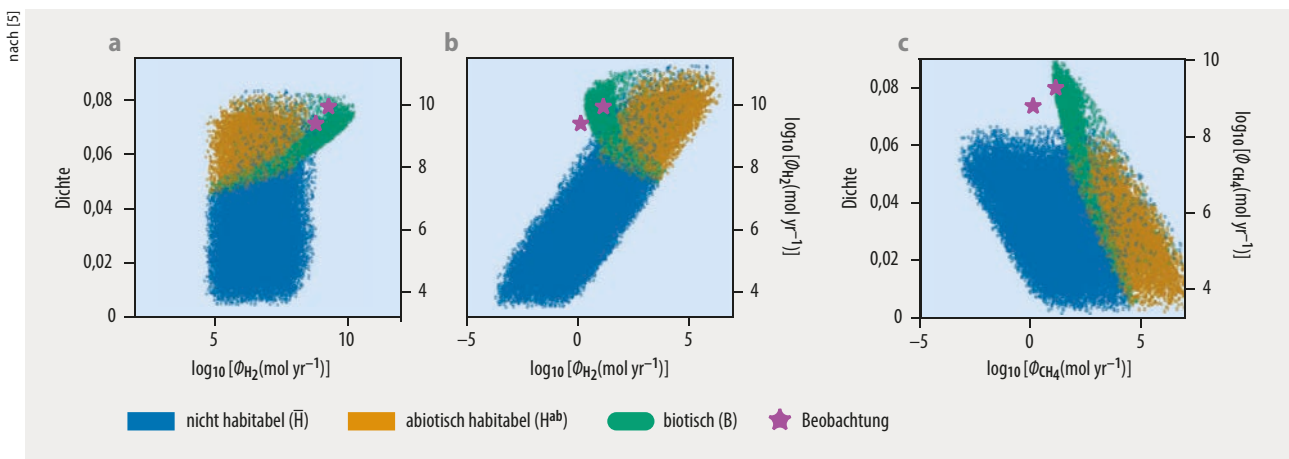


Abb. 2 Im Modell ergeben sich die gemeinsamen Verteilungen der beobachtbaren Pseudodaten für verschiedene Flussraten von CH_4 gegen H_2 (a), $\text{H}_2:\text{CH}_4$ -Gasverhältnis gegen H_2 (b), $\text{H}_2:\text{CH}_4$ -Gasverhältnis gegen CH_4 (c). Die magentafarbenen Sterne zeigen die Cassini-Daten.