

■ Ceres' verborgener Wasserozean

Im Asteroidengürtel drehen hunderttausende Asteroiden ihre Bahn um die Sonne. Die meisten davon befinden sich zwischen den Planeten Mars und Jupiter. Der größte Asteroid, Ceres, sieht auf dem ersten Blick wie unser Mond aus und enthält fast 30% der Gesamtmasse aller Asteroiden. Ceres wurde im Jahr 2006 zum Zwergplaneten gekürt und fällt damit in dieselbe Klasse von Himmelskörpern wie der einstige Planet Pluto. Ceres ist der kleinste bislang gefundene Zwergplanet und der einzige im Inneren des Sonnensystems. Alle anderen Zwergplaneten befinden sich jenseits der Neptunbahn. Mit knapp 1000 km Durchmesser ist er zwar wesentlich kleiner als unser Mond, dennoch groß genug, um aufgrund der eigenen Gravitation kugelförmig zu sein, was eines der Kriterien ist, um als Zwergplanet eingestuft zu werden.

In den Jahren 2015 bis 2018 wurde Ceres eingehend von der Raumsonde *Dawn* untersucht und die Ergebnisse lassen die Astronomen immer wieder staunen. So entdeckte man, dass sich die Oberfläche im Laufe des Ceres-Jahres (entspricht 4,6 Erdjahren) verändert. Da Ceres sich auf einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt, schwankt die Sonneneinstrahlung auf Ceres und damit seine Oberflächentemperatur. Dies verursacht Jahreszeiten auf Ceres. Eine Gruppe von Planetenforschern (RAPONI 2018) untersuchten den Einschlagkrater Juling auf Ceres' Südhalbkugel mit Hilfe von Messungen der Raumsonde *Dawn*. Juling hat sehr steile Kraterwände, in denen die Forscher eindeutige Hinweise auf Wassereis in den Gesteinen fanden. Die eishaltige Fläche innerhalb des Kraters vergrößerte sich während des Beobachtungszeitraums von ursprünglich 3,6 Quadratkilometern auf 5,5 Quadratkilometer. Die Forscher erklären diesen Zuwachs damit, dass durch den Anstieg der Temperatur Wasserdampf aus den Gesteinen im Inneren des Kraters freigesetzt wird, der sich als Was-

sereis in den schattigen Bereichen des Kraters absetzt und dadurch die Größe der eishaltigen Flächen erhöht.

Schon bevor dieser Befund gemacht wurde, waren sich die Forscher einig, dass Ceres zu einem großen Teil aus Wassereis besteht. Die beiden wichtigsten Hinweise darauf sind die geringe mittlere Dichte von nur $2,2 \text{ g/cm}^3$ und die Bekraterung von Ceres: Es fehlen große Krater (MARCHI 2016) und es werden weniger kleine Krater als sonst bei solchen Objekten üblich gefunden. Dies deuten die Forscher als Hinweis, dass Ceres unter der Oberfläche aus weichem, zähem Material besteht, was große Einschläge absorbiert, kleinere Einschläge dämpft und im Laufe der Zeit Kraterländer durch geologische Aktivität verschwinden lässt, wie dies auch auf der Erde der Fall ist. Direkte Hinweise auf solch eine geologische Aktivität geben auffallend helle Bereiche wie der Haulani-Krater rechts in Abb. 1. Diese Bereiche sind Salzablagerungen (CARROZZO 2018) und bestehen hauptsächlich aus Magnesium-Kalzium-Karbonaten und aus Natrium-Karbonat. Spektralanalysen dieser Karbonate ergeben, dass sie auch Wasseranteile enthalten. Dies bedeutet, dass die Ablagerungen relativ jung sind, da das Wasser in Abwesenheit einer Atmosphäre in wenigen Millionen Jahren vollständig aus den Salzablagerungen verschwinden würde. Die Forscher gehen demnach davon aus,



Abb. 1 Ceres, fotografiert am 4. Mai 2015 von der Raumsonde *Dawn* aus 13.600 km Entfernung. (© NASA/JPL-CALTECH/UCLA/MPD/DLR/IDA)

dass Ceres vulkanisch aktiv ist und immer wieder salziges Wassereis an die Oberfläche gebracht wird.

Kürzlich berichteten Forscher in *Nature Astronomy Letters* (RAIMOND 2020) von einer weiteren erstaunlichen Entdeckung: Ceres besitzt aller Wahrscheinlichkeit nach einen unter-, „erdischen“ Wasserozean. Damit würde der kleine Zwergplanet in die Reihe der exotischen Eismonde aufgenommen werden, insbesondere des Jupitermondes Europa, der unter einer Eisdecke einen Ozean aus flüssigem Wasser verbirgt.

Auf Ceres landete bislang keine Raumsonde, geschweige denn, dass man dort Tiefbohrungen vorgenommen hätte. Wie also kommen die Astronomen zu dieser Schlussfolgerung? Zu den schon vorher

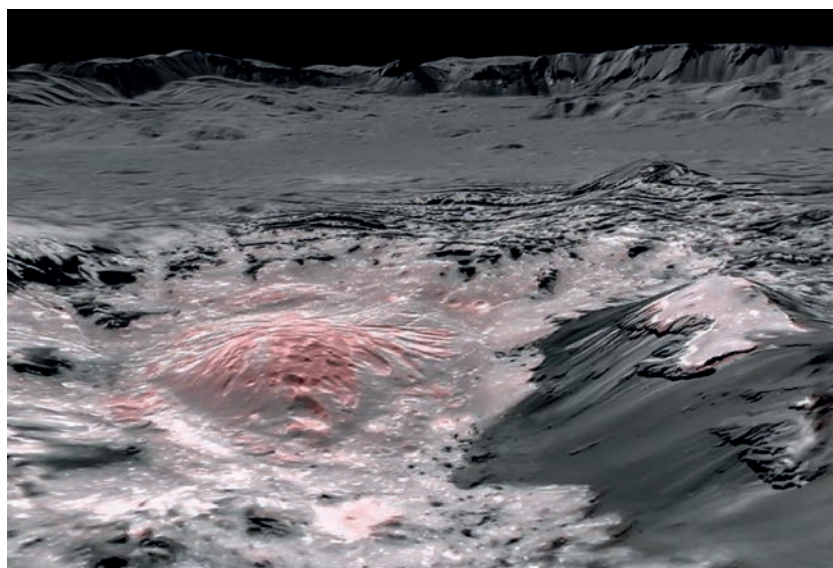


Abb. 2 Salzablagerungen im Occator-Krater auf Ceres (Farbgebung teilweise künstlich). (© NASA/JPL-CALTECH/UCLA/MPD/DLR/IDA)

genannten Indizien auf Wassereis unter der Oberfläche liegen nun Modellierungsergebnisse vor, die auf der Basis detaillierter Messungen des Schwerefeldes von Ceres gemacht wurden. Die Raumsonde *Dawn* ist im Jahr 2018, kurz bevor ihr der Treibstoff ausging, in einem letzten Manöver in geringer Höhe über den berühmten Occator-Krater (Abb. 2) hinweggeflogen und hat dabei sehr genaue Messungen des Schwerefeldes dieses Gebietes gemacht. Diese Messungen wurden ausgewertet und ermöglichen eine detaillierte Modellierung der Dichteverteilung der inneren Schichten um den Krater herum.

Diese Auswertungen legen das Vorkommen flüssigen Wassers unter der Oberfläche nahe. Lange haben die Astronomen gezögert, diese Schlussfolgerung zu ziehen, da ihnen kein Mechanismus bekannt war, wie sich flüssiges Wasser auf einem so kleinen Himmelskörper halten kann. Bei den anderen Eismonden wird als Mechanismus die Gezeitenwirkung der nahe gelegenen Planeten Jupiter und Saturn angenommen, die durch Reibung des Inneren der Monde für die notwendige Wärmeenergie sorgen. Bei Ceres ist aber kein Planet in der Nähe. Die Astronomen setzen nun auf eine mögliche Erklärung, die eine Kombination zweier Faktoren ist: Das Wasser ist extrem salzhaltig, was den Gefrierpunkt deutlich absenkt. Außerdem könnte das Innere des Mondes schwach radioaktiv sein. Ob diese Erklärung ausreicht, ist noch nicht abschließend erforscht. Vielleicht ist Ceres auch einfach jünger als bislang angenommen.

{CARROZZO FC et al. (2018) Nature, formation, and distribution of carbonates on Ceres. *Sci. Adv.* 4:e1701645, <https://advances.sciencemag.org/content/4/3/e1701645> • MARCHI S et al. (2016) The missing large impact craters on Ceres. *Nat. Commun.* 7: 12257 • RAPONI A et al. (2018) Variations in the amount of water ice on Ceres' surface suggest a seasonal water cycle. *Sci. Adv.* 4:eaa03757, <https://advances.sciencemag.org/content/4/3/ea03757> • RAYMOND CA (2020) Impact-driven mobilization of deep crustal brines on dwarf planet Ceres. *Nature Astronomy* 4, p741.] P. Korevaar

■ Neues über Lebensentstehung? Oder von der Überinterpretation einfacher chemischer Systeme

Wie aus unbelebter Materie Leben entstehen konnte, ist eine der großen Fragen der Wissenschaft. Zum einen sind sich selbst vervielfältigende (replizierende) Moleküle für den Übergang von der Chemie zu lebenden Systemen notwendig, zum anderen müssen sie aber auch in einen Stoffwechsel eingebunden sein. Chemische Systeme, die entweder replizieren oder stoffwechselähnliche Reaktionen durchführen, wurden bereits im Labor von Chemikern (gezielt) erzeugt, und einige können sogar bei Zugabe von Chemikalien oder unter veränderten Randbedingungen von einer Funktion zur anderen wechseln. Leben braucht jedoch beides gleichzeitig.

Die niederländische Forschungsgruppe um Sijbren OTTO beschäftigt sich seit über einem Jahrzehnt mit diesen Fragen. OTTO ist nicht daran interessiert, herauszufinden, wie Leben einst entstanden sein könnte, ihn interessiert vielmehr die Frage, ob man das Leben selbst gestalten kann. Dabei ist es ihm gleichgültig, ob es auf DNA, RNA oder Proteinen basiert oder nicht (persönliche Mitteilung). Im Laufe der Zeit hat sich seine Arbeitsgruppe einige ausgeklügelte selbstreplizierende chemische Reaktionen ausgedacht (COLOMB-DELSUC et al. 2015, SADOWNIK et al. 2016). Das von ihnen entwickelte sich replizierende System besteht aus ringförmigen Molekülen, die so konzipiert sind, dass sie in Lösung Stapel bilden. Durch mechanische Beanspruchung (Rühren der Lösung) brechen die Stapel und die Stapelfragmente können jeweils weiterwachsen. Das System stellt eine sehr simple Modellierung der Replikation von biologischen Systemen dar, hat dabei aber den Vorteil, dass es leicht mathematisch beschreibbar ist.

Nun beschreibt diese Gruppe in ihrem Modellsystem eine Art „Stoffwechsel“ in Molekülen. Sie beobachteten, dass die von ihnen verwendeten Replikator-Moleküle eine Reaktion katalysieren, bei der

Verbindungen entstehen, die helfen, die eigenen Bausteine des Replikators herzustellen (OTTELÉ et al. 2020). Es zeigte sich, dass die Stapel aus ringförmigen Molekülen (Replikator) eine Reaktion (Abspaltung einer Schutzgruppe von der Aminosäure Glycin) katalysieren, während die einzelnen Bausteine dies nicht können. Das kommt daher, dass im Stapel zusammengelagerte positive Ladungen (Seitenketten) dicht beieinander sitzen, was lokal eine hohe Basizität erzeugt und damit die Entfernung der Schutzgruppe begünstigt. Dazu reichen die positiven Ladungen an den einzelnen ringförmigen Molekülen nicht aus. In einem populären Hinweis auf die aktuellen Arbeiten schreibt KRÄMER (2020): „Es könnte eines der lebens-echtesten chemischen Systeme sein, das je geschaffen wurde, da es zwei der drei wesentlichen Merkmale des Lebens – Replikation, Metabolismus und Abschottung – kombiniert.“

Ist diese Art von Experimenten für das Verständnis des Ursprungs des Lebens auf der Erde, wie wir es kennen, relevant? OTTO schrieb in einem persönlichen E-Mail-Austausch: „Die derzeitigen Systeme werden außerhalb des Labors nicht lange überleben, geschweige denn dort Material zur Reproduktion finden. Die Frage, ob ähnliche [auf begrifflicher Ebene ähnliche, aber auf anderen Molekülen basierende] Systeme spontan entstehen könnten, ist schwieriger zu beantworten. Meiner Meinung nach ist jedoch das spontane Auftauchen [eines solchen Systems] weniger problematisch als das spontane Auftauchen eines Systems, das der heutigen Biochemie ähnelt.“

Tatsächlich verwendet OTTOs Gruppe eine recht großzügige Definition von „Selbstreplikator“, die mit der Replikation von Biopolymeren im Leben nichts zu tun hat. Dennoch soll diese Arbeit zur weiteren Forschung zur Entstehung von Leben aus Nichtleben (Abiogenese) ermutigen. Einige schwerwiegende Einschränkungen für die Anwendung des Begriffs „Selbstreplikator“ auf die Abiogenese seien hier genannt. Erstens: die Ausgangsmonomere (Einzelbauteile; kurze Polypeptide, die mit einem