

MEERE AUF FREMDEN MONDEN

Auf Monden im Sonnensystem existiert flüssiges Wasser. Mit Tauchsonden wollen Forscher klären: Gibt es dort Leben?

TEXT: FLORIAN STURM



**ERKUNDE
DER MONDE**
Galileo Galilei entdeckte 1610, dass Monde den Jupiter umkreisen. 385 Jahre später erkannte die Raumsonde »Galileo«, dass einer der Monde, Europa, einen Ozean besitzt.

Q uälend langsam grub sich die Schmelzsonde in die Eisdecke des Taylor-Gletschers in der Antarktis. Ein Meter pro Stunde, schneller kam der »IceMole« nicht voran. Fast 15 Stunden lang arbeitete sich der »Eis-Maulwurf« – ein zwei Meter langer, quaderförmiger Kasten, mit 16 Heizelementen und einer Eisschraube ausgestattet – durch das milchig weiße Eis. Das Ziel: ein abgeschiedener Salzsee in etwa 16 Meter Tiefe, dessen Wasser seit vermutlich zwei Millionen Jahren isoliert unter der antarktischen Eisdecke lag.

Schließlich, am 30. November 2014, 15.30 Uhr Ortszeit, sig-

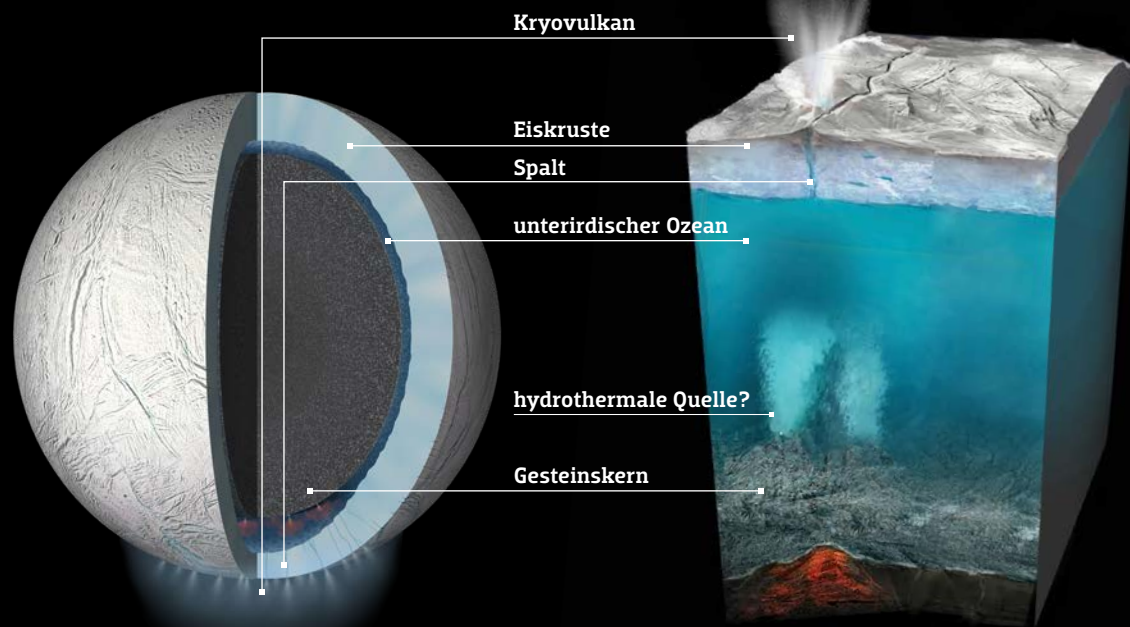
nalisierten die Daten, die der IceMole via Kabel an die Oberfläche schickte, eine rapide Veränderung: Die elektrische Leitfähigkeit um den Schmelzkopf stieg, die Heizsonden wurden wärmer, der IceMole kam deutlich langsamer voran. Die Sonde hatte den Salzsee erreicht. Nach über drei Jahren Entwicklungsarbeit konnte die deutsch-amerikanische Forschergruppe endlich eine Probe mit kontaminationsfreiem Gletscherwasser entnehmen.

Die Freude der Wissenschaftler war riesig – dabei handelte es sich bei der aufwendigen Expedition unweit des Südpols nur um einen Testlauf. Das eigentliche Ziel des IceMole liegt noch einige Jahrzehnte Forschungsarbeit und viele Hundert Millionen ▶

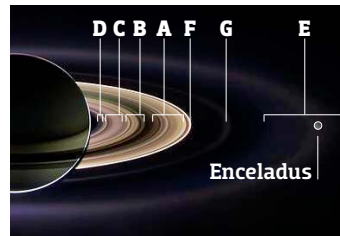


FOTOS: GETTY IMAGES, DX IMAGES

FREMDE WELT AUS EIS
Europa umkreist mit 78 weiteren Monden den Planeten Jupiter (Hintergrund). Unter Europas Eisoberfläche am Südpol verbirgt sich ein Ozean aus flüssigem Wasser, das gelegentlich als Fontäne nach außen dringt.



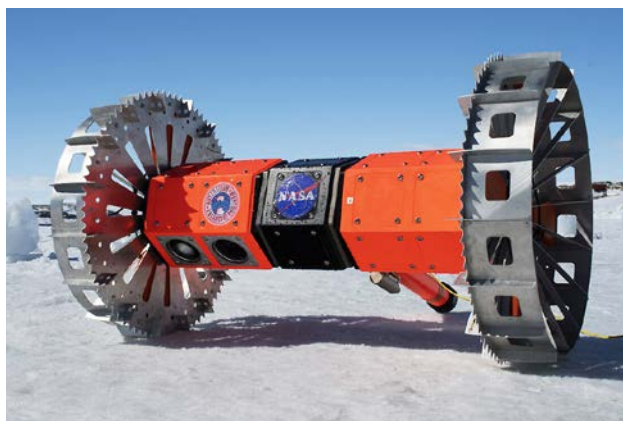
SATURNMOND ENCELADUS
Am Südpol des Saturnmonds Enceladus durchziehen Spalten das Eis, die Oberflächenplatten gleichen der Tektonik auf der Erde. Fontänen aus Wassereis und komplexen organischen Molekülen schießen 500 Kilometer weit ins All. Was unter dem Eis ist, können Forscher bislang nur vermuten: Womöglich wird das Wasser durch hydrothermale Quellen erwärmt.



Ringe-Reigen

Die verschiedenen Ringe des Saturn haben unterschiedliche Ursprünge, darunter zerbrochene Monde. Der äußere Ring E entsteht durch Kryovulkane des dort befindlichen Eismonds Enceladus, die Wasser und Staub ausspucken.

UNTER DER DECKE WANDERN
Leben existiert oft an Grenzflächen, etwa zwischen flüssigem Wasser und einer darüberliegenden Eisdecke. Der Nasa-Roboter »Bruie« soll dort nach Leben suchen – schwimmend bewegt er sich dazu mit seinen Zackenrädern an der Unterseite der Eisdecke entlang.



Kilometer entfernt: fremde Eis- und Wasserwelten auf anderen Himmelskörpern. IceMole ist eines von vielen Projekten, die die Erforschung extraterrestrischer Ozeane anstreben. Eines Tages sollen sie eine Antwort auf eine Frage liefern, die zu den größten der Menschheit zählt: Gibt es Leben jenseits der Erde? Was muss für Leben außerhalb unseres Planeten vorhanden sein, wonach wird konkret gesucht? Für alle uns Menschen bekannten Lebensformen ist

flüssiges Wasser unabdingbar. »Aufgrund der optimalen Eigenschaften von Wasser steuern heutige und zukünftige Raumfahrtmissionen oft Objekte mit potenziellen Ökosystemen auf Wasserbasis an«, sagt Aleksandar Janjic, Astrobiologe an der TU München.

Neben der Erde zählt die Nasa in unserem Sonnensystem neun weitere Ozeanwelten, Himmelskörper, deren Oberfläche gänzlich von Wasser bedeckt ist oder war: den Mars, den Zwergplaneten Ceres, die drei Jupitermonde Europa, Ganymed und Kallisto sowie die vier Saturnmonde Mimas, Enceladus, Dione und Titan. Als aussichtsreichste Kandidaten für Leben gelten Europa und Enceladus. In den ausgetrockneten Seen von Mars und Ceres gibt es höchstens Spuren vergangenen Lebens. Auf den anderen Himmelskörpern wird flüssiges Wasser bislang lediglich vermutet.

Nachgewiesen sind hingegen Ozeane unterhalb der dicken

Eisdecken von Europa und Enceladus. Mitte der 1990er-Jahre ergaben Gravitationsmessungen der Raumsonde »Galileo« unerwartete Masseverteilungen innerhalb Europas – sie ließen sich nur durch flüssige Wasservorkommen auf dem Jupitermond erklären.

Rund um den Saturnmond Enceladus entdeckte die Raumsonde »Cassini« 2006 zunächst eine dünne Wasserdampfatmosphäre; später flog sie mehrfach durch Gas- und Eiswolken, die an seinem Südpol bis zu 500 Kilometer ins All hinaufschießen. Allein das deutete darauf hin, dass dort flüssiges Wasser existieren muss. Den endgültigen Beweis lieferten spektroskopische Analysen direkt an Bord der Raumsonde: Neben stickstoff- und kohlenstoffhaltigen Molekülen fanden sie in den Gaswolken von Enceladus auch Wasserdampf.

Allerdings sind die Ozeane von Eisschilden bedeckt. Auf Europa, so schätzt die Forschergemeinschaft, ist das Oberflächeneis zwischen ein und dreißig und auf Enceladus gar zwischen fünf und

vierzig Kilometer dick. Wie aber ist es möglich, dass unter diesen massiven Eiskrusten flüssige Ozeane existieren, zumal Europa 780 Millionen Kilometer und Enceladus gar 1,4 Milliarden Kilometer von der wärmenden Sonne entfernt ist?

Als Hauptgrund vermuten die Forscher extrem starke Gravitationskräfte. »Jupiter besitzt eine 318-mal höhere Masse als die Erde und übt gigantische Kräfte auf die Himmelskörper in seiner Umlaufbahn aus«, sagt Astrobiologe Janjic. Durch die Gezeiten werde Europa gequetscht und gestaucht. »Die resultierende innere Reibung ist vermutlich die primäre geologische Energiequelle, die das Wasser stetig aus dem Inneren heraus erwärmt und höchstwahrscheinlich auch zirkulieren lässt.«

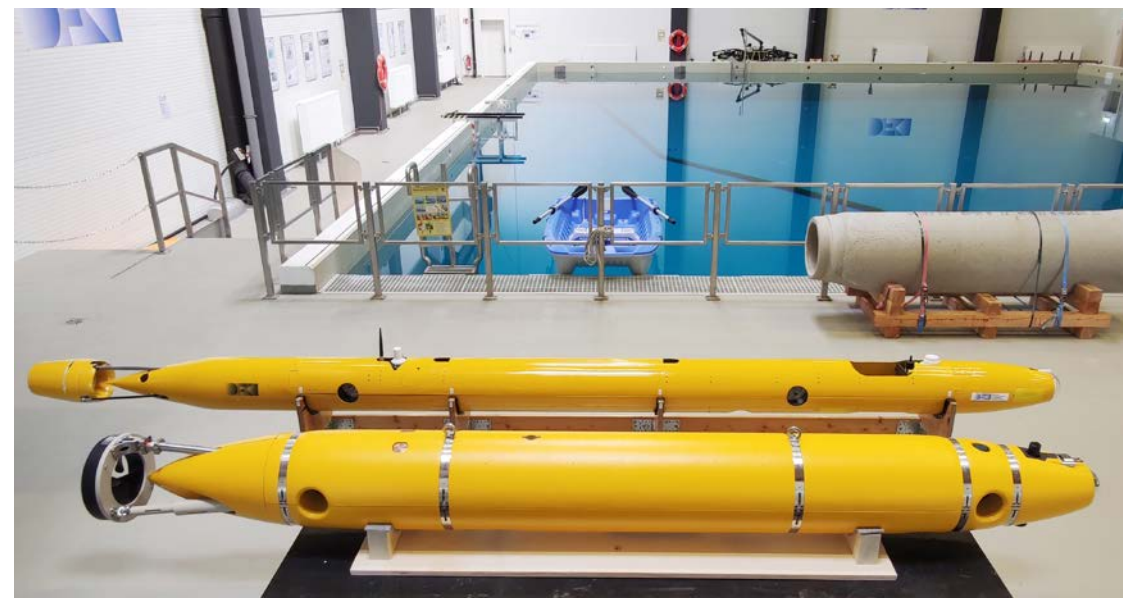
Die Ozeane sind zum Ziel für Astrobiologen geworden, hier wollen sie nach Leben suchen. Das Problem: Niemand weiß genau, ob sie auch aus Biomolekülen wie organischen Säuren und Zuckern zusammengesetzt wären. Zwar ist die Wahrscheinlichkeit (oder Hoffnung) groß, dass Leben in wasserbasierten extraterrestrischen Ökosystemen im weitesten Sinn nach dem irdischen Prinzip funktioniert, aber mit Sicherheit weiß das derzeit niemand. Die Forscher legen daher den Fokus auf Biosignaturen, auf Rückstände von Leben – beispielsweise Reste von Kohlenstoff, Wasserstoff, Phosphor oder Stickstoff. Auch diese würden auf längst vergangenes Leben hinweisen.

»Im Grunde ist das wie ein Schrottplatz, auf dem ich zwar keine funktionstüchtigen Fahrzeuge mehr finde, aber noch Rei-

fen, Achsen oder Windschutzscheiben als einstige Autoteile identifizieren und vom restlichen Metall unterscheiden kann«, sagt Kevin Peter Hand. Er gehört zu den weltweit führenden Astrobiologen und forscht am kalifornischen Jet Propulsion Laboratory an einem Tauchroboter für die Nasa.

Doch um das Wasser untersuchen zu können, müssten zukünftige Sonden zunächst die massiven Eisschichten von Europa und Enceladus durchdringen. Das Prinzip der Forschungsmissionen, egal ob in den USA oder Europa, ist jeweils dreistufig.

»Zunächst durchdringt eine Schmelzsonde den Eisschild und navigiert in den darunterliegenden Ozean. An der Eis-Wasser-Grenze lässt sie ein kleines autonomes Unterwasserfahr- ▶



UNTERWASSERROBOTER In der Maritimen Explorationshalle am Robotics Innovation Center Bremen liegen zwei autonome Roboter, »Leng« (hinten) und sein Nachfolger »DeepLeng« (vorne). Sie wurden für Missionen auf Europa konzipiert. Der mögliche Ablauf: Ein Eisbohrer (wie IceMole) durchbricht den Eisschild (1) und entlässt DeepLeng ins Gewässer (2 + 3). Autarke Lokalisationsbojen helfen dem Gefährt bei der Orientierung (4). DeepLeng sinkt zum Meeresboden und untersucht ihn (5 + 6). Zurück an der Basisstation tauscht er Daten aus und empfängt neue Energie (7).

FOTOS: NASA/JPL/SETI INSTITUTE/AUSTRALIAN ANTARCTIC DIVISION, NASA/JPL-CALTECH (3), DEKI GMBH/PHILIPP KLOSS; GRAFIK: P.M.



FREMDE WELT In der Antarktis erproben Forscher ihre Schmelzsonden, die Bedingungen dort kommen den Eiswelten der fernen Monde am nächsten. Auch der IceMole wurde hier getestet. Im Inneren der quaderförmigen Sonde ist viel verschiedene Technik auf engstem Raum vereint.

- 1 Eisschraube
- 2 Schmelzkopf mit Ultraschallsensoren
- 3 Motor und Getriebe
- 4 Akustiksensoren
- 5 Inertialsensoreinheit und Magnetometer
- 6 Kommunikationseinheit
- 7 Hauptcomputer
- 8 Probenbehälter
- 9 Energieversorgung und Heizersteuerung
- 10 Rückplatte
- 11 Kabel



der Schweiz und auf Island im Einsatz. Die Bedingungen dort kommen jenen, die man auf den Monden vermutet, am nächsten. Ein weiterer Test ist für 2022 im Rahmen des Projekts Triple-IceCraft bei der Polarforschungsstation Neumayer III geplant.

Doch das Fernziel bleiben die Eismonde. Der IceMole könnte dann ein kleines U-Boot durch das Eis in die unterirdischen Ozeane transportieren, im Idealfall nicht mehr als 45 Zentimeter lang und zehn Zentimeter im Durchmesser. Waldmann hofft, dass es bis zu zehn Stunden am Stück durch den Ozean navigieren könnte, zunächst vermutlich nahe der Eisunterkante. »Dass wir tatsächlich in 80, 90 Kilometer Tiefe tauchen können, halte ich derzeit für optimistisch, aber nicht für ausgeschlossen.« Solche Tiefen wären jedoch besonders interessant, weil am mineralhaltigen Meeresboden von Europa und Enceladus Hydrothermalquellen vermutet werden.

Derartige Schwarze und Weiße Raucher sind auf der Erde

wahre Oasen des Lebens. Inmitten der meist tristen Meerestiefen hat sich an den Hydrothermalsystemen – in Tiefen von bis zu 3000 Meter und bei Wassertemperaturen von über 400 Grad Celsius – dauerhaft Leben angesiedelt. Manche Wissenschaftler vermuten in ihnen gar den Geburtsort des irdischen Lebens. Gäbe es die Quellen auf den Monden, würde dies die Existenz von Leben wahrscheinlicher machen.

So aufregend der Nachweis extraterrestrischen Lebens wäre, so aufwendig wäre er. Ein Flug zu Europa oder Enceladus dauert sechs bis zehn Jahre. Nach der heiklen Landung wäre ein Problem die Energieversorgung. Derzeit betreibt IceMole Energieversorgung und Datentransfer kabelgebunden. Auf den Monden soll das später drahtlos funktionieren. Der Strom könnte von thermoelektrischen Batterien kommen, die Energie aus radioaktivem Zerfall gewinnen.

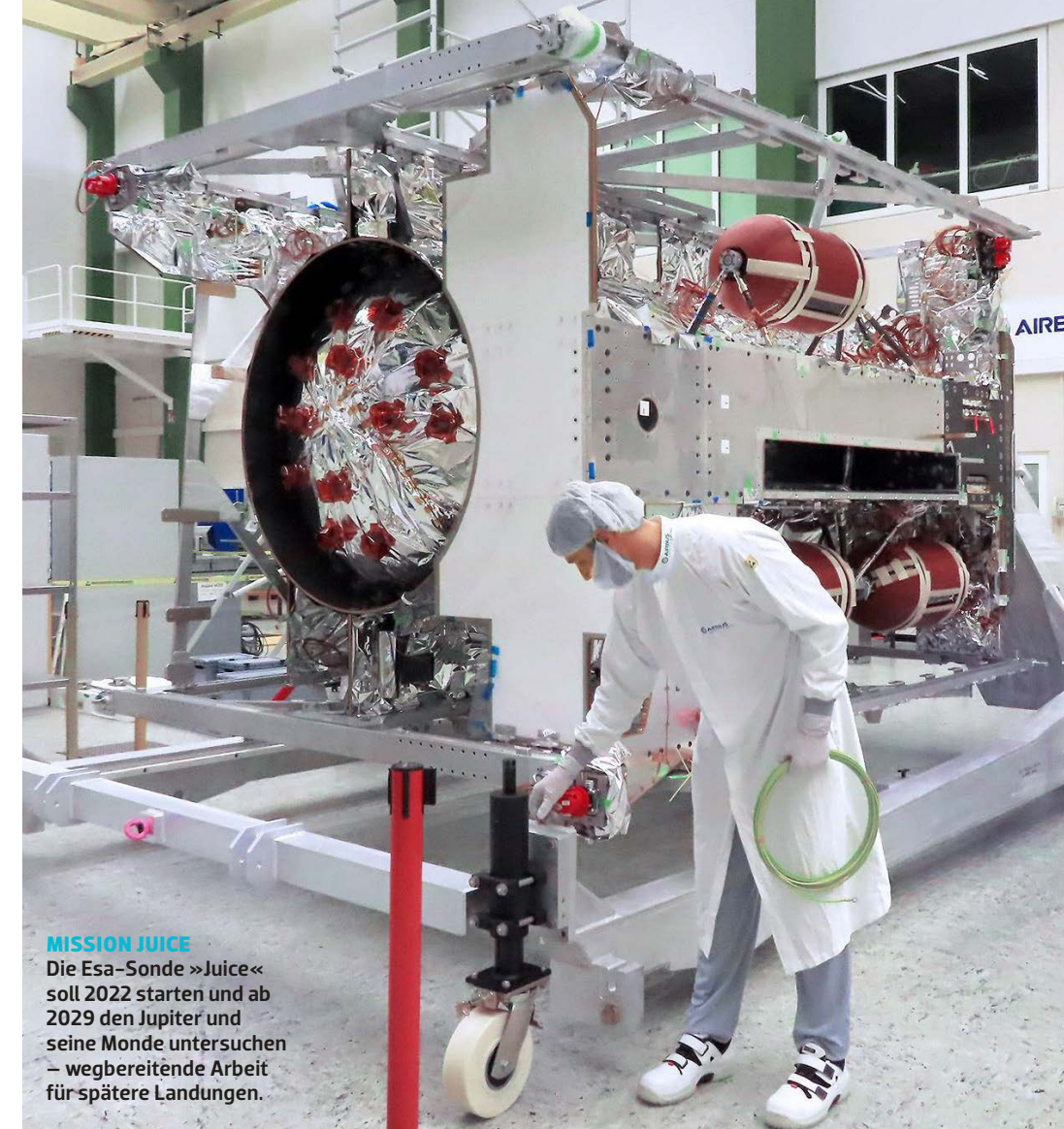
Eine weitere Herausforderung: Die Geräte müssten weit-

gehend autonom arbeiten. Der Funkverkehr zur Erde braucht hin und zurück 70 bis 100 Minuten, zuweilen würde ein Funkkontakt gar nicht zustande kommen. Und in den Tiefen der Eisdecke wäre eine Führung durch weit entfernte Menschen erst recht kaum möglich. Der IceMole, das U-Boot und das Minilabor müssten ihre Arbeit weitgehend ohne äußere Hilfe erledigen.

Dies macht deutlich, dass die Mission, ein Loch durch die Eisdecke bis zum unterirdischen Ozean zu bohren, schwerer ist, als es klingen mag. Denn man darf auch nicht vergessen: Die größte Tiefe, die ein autonomes Bohrwerkzeug außerhalb der Erde bislang erreicht hat, beträgt wenige Dutzend Zentimeter, gebohrt vom Rover der Marsmission InSight (siehe S. 40). Selbst die Astronauten der Mondmission Apollo 17 bohrten nicht tiefer als 292 Zentimeter. Da scheinen Vorhaben utopisch, sich automatisch durch mehrere Kilometer dickes Eis zu schmelzen.

Zumal eine solche Sonde auf dem Weg durchs Eis auf Hindernisse stoßen kann, beispielsweise Gestein, Luftlöcher oder Sediment. Um Gefahren frühzeitig zu erkennen, entwickeln Experten der RWTH Aachen gerade ein autonomes System, mit dem sich der IceMole akustisch orientieren und sein Umfeld erkunden soll.

Pläne und Ideen gibt es also viele, nicht nur von deutschen Forschern. Das private Unternehmen Stone Aerospace aus Texas arbeitet an einem Unterwasserfahrzeug namens »Artemis«, auch die Woods Hole Oceanographic Institution in Massachusetts will

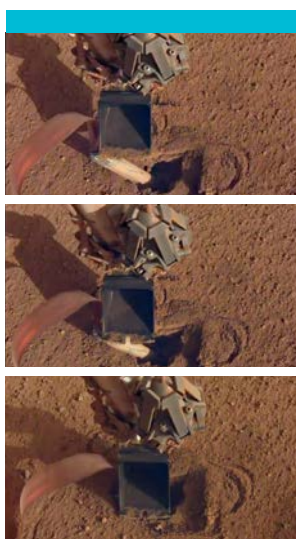


MISSION JUICE Die Esa-Sonde »Juice« soll 2022 starten und ab 2029 den Jupiter und seine Monde untersuchen – wegberärende Arbeit für spätere Landungen.

zeug ab, das Wasserproben sammelt und diese nach der Erforschung des Ozeans zurück zur Schmelzsonde bringt. Dort werden die Proben von einem kleinen astrobiologischen Labor aufbereitet und analysiert«, erklärt Christoph Waldmann, Meeresforscher an der Universität Bremen. Die ausgewerteten Daten werden per Funk an die Erde geschickt.

Waldmann ist Koordinator des »Triple«-Projekts, zu dem auch die Weiterentwicklung der Schmelzsonde IceMole gehört. Das Projekt wird finanziert vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum; mehrere deutsche Hochschulen sowie verschiedene Unternehmen sind daran beteiligt.

Neben der Antarktis war der IceMole auch an Gletschern in



Starker Arm benötigt

BOHRVERSUCH 2018 erreichte der Nasa-Lander »InSight« den Mars (PM 12/2018). Seitdem vermisst er erfolgreich Marsbeben. Doch ein zweites Projekt steckt fest: Die Rammsonde »HP3«, **Maulwurf** genannt, sollte sich fünf Meter tief in den Planeten bohren, um den Wärmefluss aus dem Inneren zu bestimmen.

Doch nach nur wenigen Zentimetern kam die Bohrung zum Erliegen, der Bohrer sprang sogar aus dem Loch heraus. Im Juni drückten die Forscher die Sonde mit dem **Roboterarm** des Landers ins Loch (Bilderfolge) und halfen ihr so, in den Untergrund einzudringen. Seitdem stockt die Bohrung abermals.

FOTOS: BERND DACHWALD (2), AIRBUS/ESA; FILMSTILL: NASA/JPL-CALTECH (3)

die fernen Ozeane erkunden. Ein schwimmfähiger Rover stammt vom Jet Propulsion Laboratory, wo Kevin Peter Hand forscht.

Hand weist darauf hin, dass die Forschergemeinschaft noch ganz am Anfang steht, und vergleicht die heutigen Gerätschaften mit frühen Menschenarten wie dem Homo erectus, aus dem Homo Sapiens entstand: »Die Roboterfahrzeuge, die wir derzeit entwickeln, sind die absoluten Frühformen jener Tools, die wir eines Tages zu Europa oder Enceladus schicken wollen.«

Wann genau eine solche Landemission Realität werden könnte, hängt von politischen, wirtschaftlichen und finanziellen Faktoren ab. Es werde wohl frü-

PM. Wissen

Mehr Infos über den Eismond Enceladus online auf:

www.pm-wissen.com/enceladus



Florian Sturm wollte für diesen Beitrag eigentlich zum Jet Propulsion Laboratory nach Kalifornien. Doch dann kam Covid-19.

hestens um 2040 so weit sein, schätzen die Experten.

Dann werden wir womöglich eine Antwort haben auf die Frage, ob es weiteres Leben im Sonnensystem gibt. Und das, da sind sich die Astrobiologen einig, würde uns auch helfen, den Ursprung unseres eigenen, irdischen Lebens besser zu verstehen. ■

PM. KOMPAKT

- Jupitermond Europa und Saturnmond Enceladus besitzen unter dicken Eisdecken **Ozeane**.
- Sie sind mögliche Orte für **extraterrestrisches Leben**.
- Forscher wollen sie eines Tages untersuchen und entwickeln dazu schon heute **Tauchroboter**.