

# AUSSERIRDISCHES LEBEN

Sind wir allein im All?

## Interstellare Raumfahrt

Die erste Reise  
zu den Sternen

## Aliens

Weder Fermi  
noch paradox

## Transitmethode

Würden sie  
uns finden?



Mike Beckers  
E-Mail: [beckers@spektrum.de](mailto:beckers@spektrum.de)

Folgen Sie uns:



**Liebe Leserin, lieber Leser,**  
warum suchen Menschen immer noch Signale  
außerirdischer Zivilisationen? Was befeuert  
die Faszination trotz der Enttäuschungen der letzten  
Jahrzehnte und aussichtlos wirkender Entfernungsskalen?  
Oft höre ich als Motivation, das Gewahrwerden anderer  
Intelligenzen brächte uns Demut bei. Daran glaube ich  
nicht. Wollten wir unser überhebliches Selbstbild wirklich  
ablegen, gäbe ein genauer Blick auf unseren  
eigenen Planeten genug Gelegenheit zur Reflexion.  
Ich vermute eher, es ist Inspiration: Eine höchste  
technische Entwicklung kann gelingen, ohne ihre  
Fundamente auf dem Weg dorthin durch Kriege oder  
Umweltzerstörung auszulöschen. Solange wir die Suche  
nach Aliens nicht aufgeben, geben wir diese Hoffnung  
nicht auf.

Weiter gespannt lauscht Ihr

A handwritten signature in black ink.

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 30.07.2018

# IMPRESSIONUM

**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)  
**REDAKTIONSLINTER:** Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschtik  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE229038528  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.), Michaela Knappe (Digital)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2018 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE  
09



ELLOMELLA / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE  
20

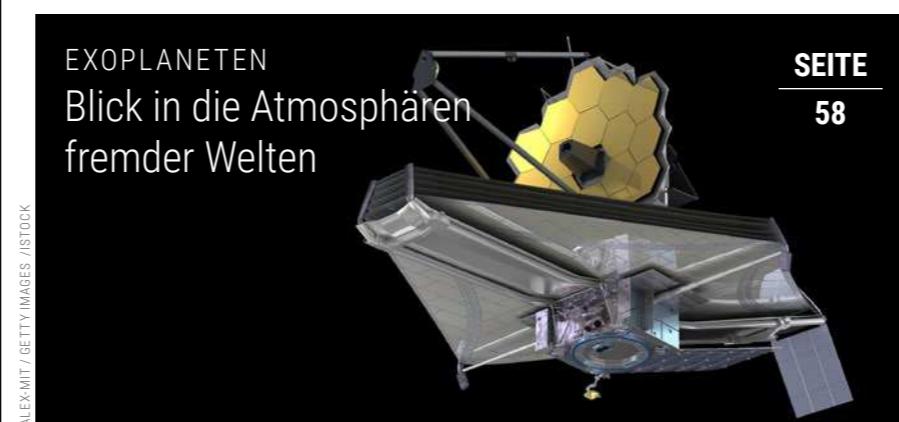


VANEZ / GETTY IMAGES / ISTOCK



CEMAGRAPHICS / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE  
47



ALEX-MIT / GETTY IMAGES / ISTOCK

- 04 Weder Fermi noch paradox
- 25 Laser-Tarnkappe soll gefährliche Aliens täuschen
- 26 Wenn E.T. anruft – würden wir ihn verstehen?
- 28 Enthalten Alien-Botschaften Computerviren?
- 29 Außerirdische Raumschiffe müssten sich durch charakteristische Spuren verraten
- 31 Alien-Spekulationen um mysteriöse Radioblitze
- 33 Seltener als selten
- 35 Staubige Lösung für stellares Rätsel
- 37 Großer Lauschangriff findet erst mal keine Aliens
- 38 Aus für Außerirdische
- 40 Unser Nachbarstern würde Außerirdische grillen
- 42 Gibt es im Sonnensystem Spuren früherer Zivilisationen?
- 44 Gab es Zivilisationen vor der Menschheit?



FERMI-PARADOXON

# WEDER FERMI NOCH PARADOX

von Robert H. Gray

Wo sind sie denn, die Aliens? Bei einem Lunch soll der berühmte Physiker Enrico Fermi die Existenz von E.T. widerlegt haben. Doch das stimmt weder hinten noch vorne.

Wenn mal wieder über die Suche nach außerirdischen Intelligenzen – kurz SETI – diskutiert wird, tauchen früher oder später fast immer zwei Aspekte auf. Zum einen die Drake-Gleichung, mit deren Hilfe sich abschätzen lässt, wie viele Zivilisationen wir theoretisch in der Milchstraße aufspüren könnten. Legt man plausible Annahmen zu Grunde, landet man bei einer Zahl von einigen tausend. Zum anderen das so genannte Fermi-Paradoxon: Gäbe es intelligente Außerirdische, müssten wir sie eigentlich überall um uns herum sehen, weil eine jede Zivilisation

zwangsläufig irgendwann die gesamte Galaxis kolonisiert haben würde. Da wir aber keine offensichtlichen Anzeichen für einen Besuch Außerirdischer auf der Erde erkennen können, lässt sich schlussfolgern, dass es auch keine intelligenten Außerirdischen gibt – und somit wäre auch eine Suche nach ihren Signalen sinnlos.

Die Drake-Gleichung ist absolut authentisch. Sie wurde eindeutig von dem Astronomen und SETI-Pionier Frank Drake entwickelt. Doch anders liegt der Fall beim zweiten Aspekt, dem Fermi-Paradoxon. Es ist ein Mythos. Der Physiker Enrico Fermi, nach dem es benannt ist, hat eine solche Behauptung niemals aufgestellt.

Basierend auf meinen umfassenden Recherchen zu diesem Thema möchte ich versuchen zu erklären, warum das so genannte Fermi-Paradoxon in die Irre führt – und warum es die meiner Meinung nach lohnende Suche nach Außerirdischen ganz erheblich behindert. So zog es bei-

spielsweise der demokratische Senator William Proxmire als Begründung heran, als er 1981 das SETI-Programm der NASA auf Eis legte. Erst auf Drängen von Carl Sagan wurde das Programm wieder aufgenommen – im Jahr 1993 jedoch auf Betreiben von Proxmires Parteikollegen, Senator Richard Bryan, endgültig eingestellt. Seither hat die US-Regierung kein SETI-Programm mehr gefördert, und das obwohl inzwischen tausende Planeten um ferne Sterne entdeckt wurden.

### »Wo sind die alle?«

Enrico Fermi, seines Zeichens Physiknobelpreisträger und Erbauer des ersten Kernreaktors, hat sein Lebtag kein einziges Wort über Außerirdische veröffentlicht. Was er über die Angelegenheit dachte, wissen wir nur deshalb, weil der Physiker Eric Jones die schriftlichen Erinnerungen von drei Personen gesammelt hat, die 1950 in Los Alamos an jenem Mittagessen mit Fer-

---

**Robert H. Gray** ist Autor des 2011 erschienenen Buchs »The Elusive Wow: Searching for Extraterrestrial Intelligence«. Er hat selbst an mehreren großen Observatorien wie dem Very Large Array nach Radiosignalen von anderen Welten gesucht. Die Ergebnisse seiner Recherche zum Fermi-Paradoxon publizierte er in der Märzausgabe des Fachblatts »Astrobiology«.



DEPARTMENT OF ENERGY, OFFICE OF PUBLIC AFFAIRS / ENRICO FERMI / PUBLIC DOMAIN

mit teilgenommen hatten, das als Ursprung des Fermi-Paradoxons gilt: Emil Konopinski, Edward Teller und Herbert York. Fermi selbst war bereits 1954 gestorben.

Wie diese Augenzeugen berichten, drehte sich das Gespräch um einen Cartoon im Magazin »The New Yorker«. Dort waren Außerirdische zu sehen, die in den Straßen New Yorks Müllheimer geklaut hatten und nun fröhlich aus ihrer fliegenden Untertasse kletterten. Plötzlich sagte Fermi den berühmten Satz: »Where is everybody?« (»Wo sind die alle?«)

Jedem am Tisch war sofort klar, dass er sich damit auf die völlige Abwesenheit außerirdischer Raumschiffe bezog, und so wandte sich das Gespräch der Machbarkeit interstellarer Raumfahrt zu.

Die deutlichste Erinnerung an das Mittagsgespräch scheint York gehabt zu haben. Seinem Bericht nach erklärte Fermi, »der Grund dafür, dass wir nicht besucht worden sind, könnte in der Unmöglichkeit interstellarer Reisen liegen – oder, wenn sie doch möglich sind, darin, dass sie stets als den Aufwand nicht wert angesehen werden, oder dass technologisch fortschrittliche Zivilisationen nicht lange genug überdauern, um solche Reisen durchzuführen.«

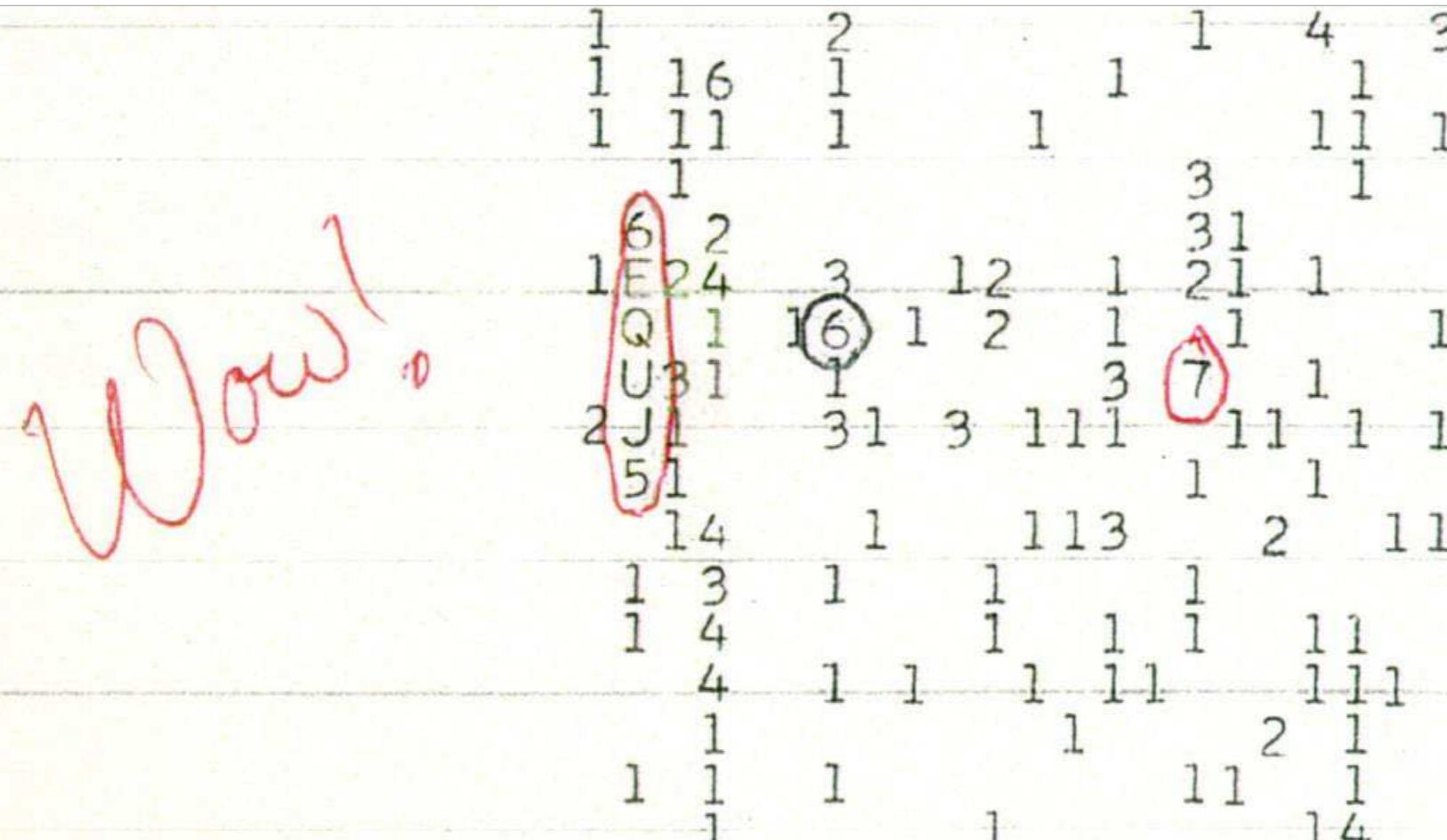
Sowohl York als auch Teller waren offenbar davon überzeugt, dass Fermi die Machbarkeit einer Reise von Stern zu Stern in Frage stelle – jedoch nicht generell an der möglichen Existenz außerirdischer Zivilisationen zweifelte. Folglich gibt das nach Fermi benannte Paradoxon – das eben die Existenz Außerirdischer in Frage stellt – seine Ansichten eindeutig falsch wieder. Fermis damalige Skepsis interstellaren Reisen gegenüber ist hingegen wenig überraschend: 1950 hatte noch keine Rakete die Erdumlaufbahn erreicht, geschweige denn einen anderen Himmelskörper.

## Paradoxes Paradoxon

Wenn aber Fermi gar nicht hinter diesem schwarzseherischen Paradoxon steckt, wer dann? Die Formulierung »... sie sind nicht hier, also gibt es sie nicht« findet sich erstmals 1975. Damals brachte der Astronom Michael Hart das Argument, intelligente Außerirdische würden unausweichlich die gesamte Milchstraße kolonisieren. Wenn sie also irgendwo existieren, wären sie auch hier bei uns. Da sie aber nicht hier sind, seien folglich die Menschen die einzigen intelligenten Wesen in der Galaxis. So argumentierte Hart. Eine Suche nach

## ENRICO FERMI

**Auf den 1954 verstorbenen Nobelpreisträger Enrico Fermi berufen sich viele Kritiker der Suche nach außerirdischer Intelligenz. Der Forscher habe mit einem berühmten Paradoxon gezeigt, dass es in der Galaxie außer dem Menschen kein intelligentes Leben gebe.**



## DAS WOW!-SIGNAL

Keinen guten, aber trotzdem den bislang besten Hinweis auf außerirdisches Leben liefert das am 15. August 1977 aufgezeichnete Wow!-Signal. Der Autor dieses Beitrags, Robert Gray, hat bereits viele Versuche unternommen, in der gleichen Himmelsregion eine Wiederholung des intensiven Radiosignals aufzuspüren – bislang jedoch ohne Erfolg.

intelligentem Leben anderswo sei demnach »wahrscheinlich eine Verschwendung von Zeit und Geld«.

Harts Argumentation wurde aus verschiedenen Gründen angefochten – vielleicht ist interstellare Raumfahrt unmöglich, vielleicht entscheidet sich einfach niemand dafür, die Galaxis zu kolonisieren, vielleicht wurden wir aber auch schon vor langer Zeit besucht, und die Beweise dafür sind mit den Überresten der Dinosaurier im Erdboden verschwunden. Trotzdem ist

diese Idee heute tief im Denken über außerirdische Zivilisationen verankert.

Der Physiker Frank Tipler warf 1980 eine offensichtliche Frage im Zusammenhang mit Harts Argumentation auf: Woher sollten eigentlich die Ressourcen für die Kolonisierung von Milliarden von Sternen kommen? Er schlug einen »selbstreplizierenden Universalkonstruktor mit einer Intelligenz vergleichbar der menschlichen« vor. Man sende, so die Idee, ein solches Gerät zu einem benachbarten

Stern, beauftrage es damit, dort aus dem vor Ort vorhandenen Material Kopien von sich selbst zu bauen, und lasse diese Kopien zu weiteren Stern fliegen – bis die Galaxis voll davon ist. Tipler zog daraus wiederum den Schluss, die Abwesenheit solcher Maschinen auf der Erde sei ein Beweis dafür, dass wir Menschen die einzigen Intelligenzen im ganzen Universum sind – wohlgernekt nicht nur in der Milchstraße. Das freilich ist ein gewagter Sprung, wenn man dabei einzig und allein von der Abwe-

senheit der Außerirdischen auf unserem Planeten ausgeht.

### Das »Hart-Tipler-Argument«

Hart und Tipler gebührt also ganz klar die Ehre, die zentrale Idee hinter dem so genannten Fermi-Paradoxon in die Debatte eingeführt zu haben. Im Lauf der Jahre ist diese Idee jedoch mit der ursprünglichen Frage Fermis vermischt worden. Das Durcheinander begann vermutlich 1977, als der Physiker David G. Stephenson die Bezeichnung »Fermi-Paradoxon« in einem Fachartikel verwendete und Harts Idee als mögliche Antwort auf Fermis Frage zitierte. Fairerweise müsste man aber vom »Hart-Tipler-Argument« gegen die Existenz außerirdischer technologischer Zivilisationen« reden, was allerdings bei Weitem nicht so Respekt einflößend klingt wie der alte Name.

Was das Paradoxon angeht: Es gibt keins, nicht einmal in der Argumentation von Hart und Tipler. Es besteht kein logischer Widerspruch zwischen den Aussagen »Es gibt irgendwo Außerirdische« und »hier bei uns sind keine Außerirdischen«, weil niemand weiß, ob Reisen zwischen den Sternen überhaupt möglich sind.

Das in die Autorität Fermis gekleidete Hart-Tipler-Argument hat jedoch dazu geführt, dass viele die Chancen für einen Erfolg von SETI pessimistisch beurteilen. Doch ist die Idee, gar nicht erst nach intelligentem Leben im Kosmos zu schauen, weil es hier bei uns keine Außerirdischen gibt, schlicht und ergreifend töricht. Es gibt immerhin Anzeichen dafür, dass der Pessimismus nachlässt. Insbesondere Yuri Milners privat gefördertes Projekt »Breakthrough Listen«, in dessen Rahmen über die kommenden zehn Jahre 100 Millionen US-Dollar für SETI-Projekte ausgeben werden sollen, macht das deutlich. Aber die Suche nach Signalen mit unbekannter Frequenz bei Millionen von Sternen benötigt vermutlich weit größere Ressourcen. Unsere Suchprogramme »sehen« üblicherweise in jedem Augenblick nur eine Region am Himmel, die nicht größer ist als der Vollmond – und das ist nur ein winziger Teil des gesamten Himmels. Wenn wir also noch in unserem Zeitalter etwas Interessantes finden wollen, müssen wir uns womöglich erheblich mehr anstrengen. ↵

(Spektrum – Die Woche, 10/2016)

## MATERIE- ANTIMATERIE

Faktencheck | Fünf Fragen zur Antimaterie

Frühes Universum | Das Higgs-Boson und die Dominanz der Materie

Gluonen | Der Klebstoff der Welt

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR  
€ 4,99



INTERSTELLARE RAUMFAHRT

# Die erste **Reise** zu den **Sternen**

von Gabriel Popkin

Ein kühner Plan nimmt Gestalt an: Eine winzige Raumsonde soll den nächsten Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, Proxima Centauri b, nach nur wenigen Jahren Flugzeit erreichen.

**A**ll jene, die außerirdische Welten erforschen wollen, nahmen die Nachricht mit großer Freude auf: Im August 2016 berichteten Wissenschaftler, einen möglicherweise habitablen, erdgroßen Planeten entdeckt zu haben, der den nächstgelegenen stellaren Nachbarn der Sonne umläuft: Proxima Centauri, der lediglich 1,3 Parsec beziehungsweise 4,22 Lichtjahre von uns entfernt ist.

Dieser Planet – genannt Proxima b – ist ein verlockendes Ziel, das die Fantasie beflügelt. Gelänge es, eine Raumsonde dorthin zu schicken, würden wir erstmals einen Blick auf eine Welt jenseits unseres Sonnensystems werfen. »Für die Menschheit wäre es ein gewaltiger Sprung, wenn wir das nächste Sternsystem erreichen könnten«, sagt Bruce Betts von der Planetary Society in Pasadena, Kalifornien, die sich für die Erforschung unseres Planetensystems und die Suche nach außerirdischem Leben einsetzt. Die vor Ort gesammelten und zur Erde übermittelten Daten könnten enthüllen, ob der ferne Planet günstige Bedingun-

gen für Leben bietet – oder sogar tatsächlich von Wesen bewohnt wird.

Die Idee, den Planeten Proxima b zu besuchen, mag wie Sciencefiction anmuten. Tatsächlich aber unternahm bereits einige Monate vor seiner Entdeckung eine Gruppe von Geschäftsleuten und Wissenschaftlern die ersten Schritte zu einem Besuch des Alpha-Centauri-Systems, von dem der Stern Proxima ein Teil ist. Die Gruppe gab »Breakthrough Starshot« bekannt – ein Unterfangen, das der russische Investor Juri Milner mit 100 Millionen US-Dollar unterstützt. Es soll die Erforschung und Entwicklung einer interstellaren Raumsonde vorantreiben. Mit der Entdeckung von Proxima b gewann das Projekt ein noch verlockenderes Ziel.

Allerdings wird es nicht einfach sein, überhaupt dorthin zu gelangen. Auch wenn Proxima – wie der aus dem Lateinischen abgeleitete Name besagt – der unserer Sonne am nächsten gelegene Stern ist: Er ist immer noch fast 2000-mal weiter von der Erde entfernt als die Sonde Voyager 1, die im Jahr 1977 gestartet ist und heute das am weitesten gereiste, von Menschen geschaffene Objekt ist. Um ihn innerhalb des Arbeitslebens eines Wissenschaftlers zu erreichen, müsste

## Auf einen Blick

- 1 »Breakthrough Starshot« ist eine Initiative, die eine winzige, zentimetergroße Sonde auf eine interstellare Reise zum nächsten Stern und zum nächsten extrasolaren Planeten senden will.
- 2 Als Antrieb dient ein Lichtsegel, das von starken Lasern auf ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden soll.
- 3 Mit dieser Geschwindigkeit würde die interstellare Reise nur wenige Jahrzehnte dauern. Keine der erforderlichen Eigenschaften erscheint unerreichbar.

**Gabriel Popkin** ist Journalist in Mount Rainier, Maryland, USA.

eine Sonde mit einem Fünftel der Lichtgeschwindigkeit unterwegs sein und unbeschadet ihren Weg zurücklegen, der keineswegs durch einen leeren Raum führt, sondern mitten durch die unsichtbaren Trümmer in unserem eigenen Sonnensystem und durch das interstellare Medium hindurch. Anschließend müsste die Sonde während ihres rasanten Vorbeiflugs (mit 60 000 Kilometern pro Sekunde) am Proxima-System nützliche Daten sammeln und diese über eine Strecke von vier Lichtjahren zurück zur Erde senden.

Das alles türmt sich zu einer riesigen technischen Herausforderung auf. Allerdings sind die am Projekt beteiligten Wissenschaftler der Meinung, dass sie sich meistern lässt – und arbeiten nun auf dieses Ziel hin.

Auch andere Gruppen erforschen interstellare Reisen, aber keine von ihnen hat den Schwung – oder die finanziellen Mittel – von Breakthrough Starshot. Selbst Astrophysiker, die nicht an Breakthrough Starshot beteiligt sind, räumen dieser Initiative die größte Chance ein, innerhalb der nächsten Jahrzehnte zu einem Nachbarstern zu gelangen. Das ist teilweise auch denjenigen Wissenschaftlern zu verdanken, die viele grundlegende Fachartikel über interstellare

Reisen veröffentlicht haben. »Starshot greift von all diesen Ideen die besten Aspekte auf und kombiniert sie zu etwas Neuem«, sagt Caleb Scharf, Astrophysiker an der Columbia University in New York City, der nicht zum Starshot- Team gehört.

Die Gründer dieser Initiative haben sich ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Technologien zu entwickeln, die es erlauben, innerhalb der nächsten 20 Jahre winzige, lasergetriebene Sonden zu starten. Die Kosten sollen zehn Milliarden US-Dollar nicht übersteigen. Nach einer Reisezeit von noch einmal 20 Jahren sollen die Sonden das Alpha-Centauri-System erreichen.

## Der Start

Der erste, wirklich herausfordernde Schritt einer Mission wie Breakthrough Starshot besteht darin, die Raumsonde auf interstellare Geschwindigkeiten zu beschleunigen. Konventionelle Raketen kommen dafür nicht in Frage, da sie nicht genügend chemische Energie in Form von Treibstoff speichern können. Philip Lubin, Astrophysiker an der University of California in Santa Barbara und Mitglied des Berater- und Verwaltungskomitees des Projekts, sagt denn auch: »Mit Chemie kommt man bis

zum Mars, aber nicht bis zu den Sternen.« Daher konzentriert sich Starshot darauf, Licht als Antrieb zu nutzen. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wissen Forscher, dass Licht einen Impuls hat und Druck auf Gegenstände ausübt. Wissenschaftler der japanischen Weltraumbehörde JAXA und der Planetary Society haben dies bereits im Weltall demonstriert, indem sie dort riesige Segel durch Sonnenlicht antrieben. Aber das Sonnenlicht reicht nicht aus, eine Sonde bis zu Alpha Centauri zu beschleunigen. Das erforderliche Segel wäre riesig und somit unhandlich, sagt Betts. Er leitete ein Team, das 2015 ein 32 Quadratmeter großes Sonnensegel erprobte.

Starshot hat mehr als zwanzig Ideen für einen Antrieb für Ziele jenseits des Sonnensystems überprüft. Aber wie der Geschäftsführer des Projekts, Pete Worden, sagt, waren »eigentlich alle« ungeeignet. Schließlich griff die Initiative einen Vorschlag von Lubin auf: Laser. Im Jahr 2015 hatte Lubin ein Konzept erarbeitet, mit dem sich eine Raumsonde in 20 Jahren zu Alpha Centauri bringen ließe. Eine Anordnung aus mehreren Lasern sollte einen Strahl erzeugen, der leistungsfähig genug ist, um ein kleines Lichtsegel anzutreiben.

Das Starshot-Team will die Sonden zunächst mit konventionellen Raketen in eine Umlaufbahn um die Erde befördern. Anschließend würde eine Ansammlung von Lasern mit einer Gesamtleistung von 100 Gigawatt von der Erde aus mehrere Minuten lang auf das Segel einstrahlen – lange genug, um es auf 60 000 Kilometer pro Sekunde zu beschleunigen.

Die Leiter von Starshot zählen dabei auf Durchbrüche in der Laserindustrie. Die größten kontinuierlichen Laser schaffen heute Hunderte von Kilowatt – das sind sechs Größenordnungen zu wenig. Diese Leistungslücke ließe sich überbrücken, indem man das Licht von Hunderten Millionen weniger leistungsfähiger Laser in einem Array kombinierte, das mindestens einen Kilometer breit ist. Allerdings müssten dazu alle Strahlen miteinander in Phase gebracht werden, so dass sich ihre Wellen aufaddieren statt sich gegenseitig auszulöschen. Hierin steckt wohl die meiste Entwicklungsarbeit für das Projekt.

## Die Raumsonde

Die Starshot-Sonde wird völlig anders aussehen als alles, was jemals zuvor ins All befördert wurde. Man stelle sich vor: eine

kleine Ansammlung von Elektronik, Sensoren, Antrieb, Kameras und eine Batterie. Und das alles auf einem rund einen Zentimeter breiten Chip, der sich in der Mitte eines runden oder eines quadratischen Segels mit rund vier Meter Durchmesser befindet. Diese ganze Anordnung soll lediglich ein einziges Gramm wiegen – je leichter die Sonde, desto schneller kann eine gegebene Kraft sie beschleunigen.

Um die Geschwindigkeit zu maximieren, gleichzeitig aber Beschädigungen durch die Laser zu minimieren, muss das Segel fast alles darauf einfallende Licht reflektieren, obwohl es auch einen Teil durchlassen könnte. Dafür geeignete Materialien gibt es bereits. Dabei handelt es sich um elektrisch nicht leitende Folien, die bis zu 99,999 Prozent des einfallenden Lichts reflektieren können, was der erforderlichen Schwelle nahekommt.

Allerdings werden Forscher die Produktion dieser exotischen Materialien enorm steigern und ihre Kosten deutlich senken müssen. Und sie müssen untersuchen, wie die Materialien auf die zur Beschleunigung erforderliche intensive Lichtmenge reagieren, denn dadurch könnten unvorhergesehene optische Effekte auftreten.

Jede einzelne technische Hürde erscheint überwindbar – wenn da nicht die extreme Miniaturisierung wäre

# Breakthrough Initiatives

## IM JAHR 2015 GRÜNDETEN JURI UND JULIA MILNER

die so genannten Breakthrough Initiatives, die Durchbruch-Initiativen. Dem russischstämmigen Milliardär – der von sich sagt, er sei nach dem ersten Weltraumfahrer Juri Gagarin benannt – und seiner Frau geht es dabei um die Erforschung des Universums im Allgemeinen, die Suche nach extraterrestrischem Leben und um die Förderung von Debatten aus einer planetaren Perspektive. Sie konnten Stephen Hawking als Fürsprecher gewinnen, mit dem sie im Juli 2015 Breakthrough Listen ankündigen, das mit 100 Millionen Dollar ausgestattet ist.

Mittlerweile sind es vier Initiativen, die allesamt von Milner finanziert werden: Breakthrough Listen, Breakthrough Message, Breakthrough Watch und Breakthrough Starshot.

- **BREAKTHROUGH LISTEN** soll SETI, der Suche nach intelligentem extraterrestrischem Leben, auf die Sprünge helfen. Das Programm sieht vor, eine Million Sterne im Zentrum unseres Milchstraßensystems und entlang der galaktischen Ebene ins Visier zu nehmen. Aber auch die 100 nächsten Galaxien stehen auf der Liste. Breakthrough Listen lauscht im Radiobereich und sucht nach Lasersignalen im Optischen. Die Initiative ist auf eine Laufzeit von zehn Jahren ausgelegt.

- **BREAKTHROUGH MESSAGE** ist als Wettbewerb mit einem Preisgeld von einer Million Dollar angelegt. Es soll eine Nachricht gestaltet werden, die unsere Erde und das Leben darauf für fremde Zivilisationen verständlich macht. Die Initiatoren wollen damit zudem eine Debatte lostreten über die ethischen Aspekte, die mit dem Aussenden solcher Nachrichten verknüpft sind.

- **BREAKTHROUGH WATCH** hat als Ziel, erdegebundene und weltraumgestützte Technologien zu entwickeln, mit denen sich der Erde ähnliche Planeten in unserer kosmischen Nachbarschaft aufspüren lassen. Das millionenschwere astronomische Programm soll außerdem Grundlagen schaffen, mit denen sich herausfinden lässt, ob dort Leben existiert.

- **BREAKTHROUGH STARSHOT** lässt sich zweifelsfrei als die spektakulärste der Initiativen bezeichnen. Ausgestattet mit 100 Millionen Dollar wird ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufgelegt, mit dem die Machbarkeit eines interstellaren Flugs demonstriert werden soll. Innerhalb der Dauer einer Generation sollen die Voraussetzungen für eine Reise zu dem Sternsystem Alpha Centauri geschaffen werden.

In der Beschleunigungsphase muss das Segel extrem flach bleiben und die Unvollkommenheiten des Laserstrahls so ausgleichen, dass die Sonde auf Kurs bleibt: Die kleinste Abweichung könnte sie auf eine völlig andere Bahn lenken. Um die Sonde auf Kurs zu halten, wäre es möglich, das Segel rotieren zu lassen. Dies würde eine Zentrifugalkraft erzeugen, die das Segel straff spannen und Unregelmäßigkeiten im Laserstrahl über die Fläche ausmitteln würde. Die JAXA hat ein solches rotierendes Sonnensegel bereits getestet, und das Konzept sieht für Starshot »extrem vielversprechend« aus, sagt Worden.

Wie auch immer es aufgebaut sein wird: Das Segel muss robust sein. Es wird von einem 100-Gigawatt-Laserstrahl beschossen, der eine Beschleunigung erzeugen wird, die einige zehntausend Mal so groß ist wie die Beschleunigung, die ein Objekt auf der Erde auf Grund der Schwerkraft erfährt. Worden merkt an, dass Granaten in Militärtests derartige Kräfte überstanden haben, aber das nur wenige Sekunden lang – und nicht die mehreren Minuten, die der Laser auf das Segel einstrahlen würde.

Gemäß dem Plan von Starshot könnte die schiere Menge den Ausschlag geben.

Eine einzelne Raumsonde wäre klein und relativ kostengünstig, so dass jeden Tag eine oder sogar mehrere Sonden starten würden und das Projekt es sich leisten könnte, einige von ihnen zu verlieren.

Worden zufolge soll die Entwicklung der Sonden schrittweise erfolgen. Der erste Schritt besteht im Bau eines Prototyps, den die Laser vielleicht bis auf 1000 Kilometer pro Sekunde beschleunigen würden, was weniger als zwei Prozent der für Starshot geplanten Geschwindigkeit entspräche. Die Gesamtkosten dafür liegen zwischen 500 Millionen und einer Milliarde US-Dollar.

## Die Reise

Nach einigen Minuten endet der Laserbeschuss. Die Sonde hat dann ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit – rund 60 000 Kilometer pro Sekunde – erreicht und bereits die fünffache Entfernung zwischen Erde und Mond hinter sich gebracht. Verglichen mit dieser abenteuerlichen Beschleunigungsphase wird der Rest der Strecke, die in den darauf folgenden 20 Jahren zurückzulegen ist, recht langweilig sein.

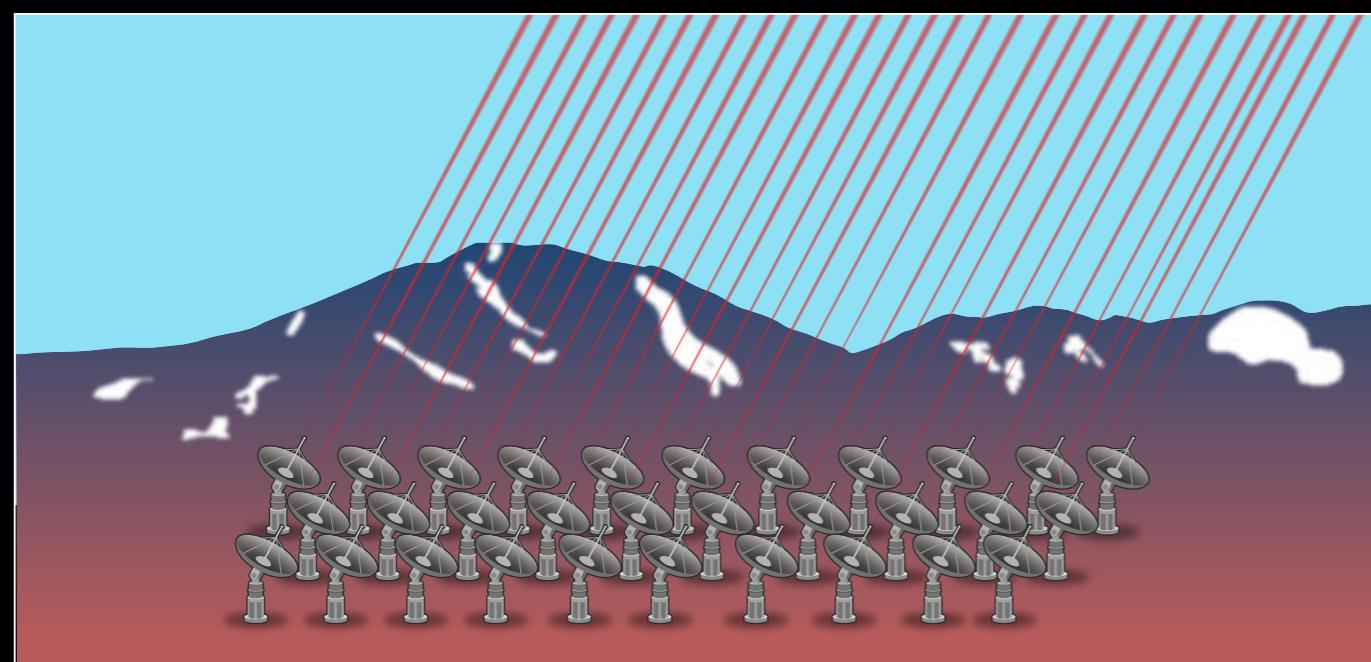
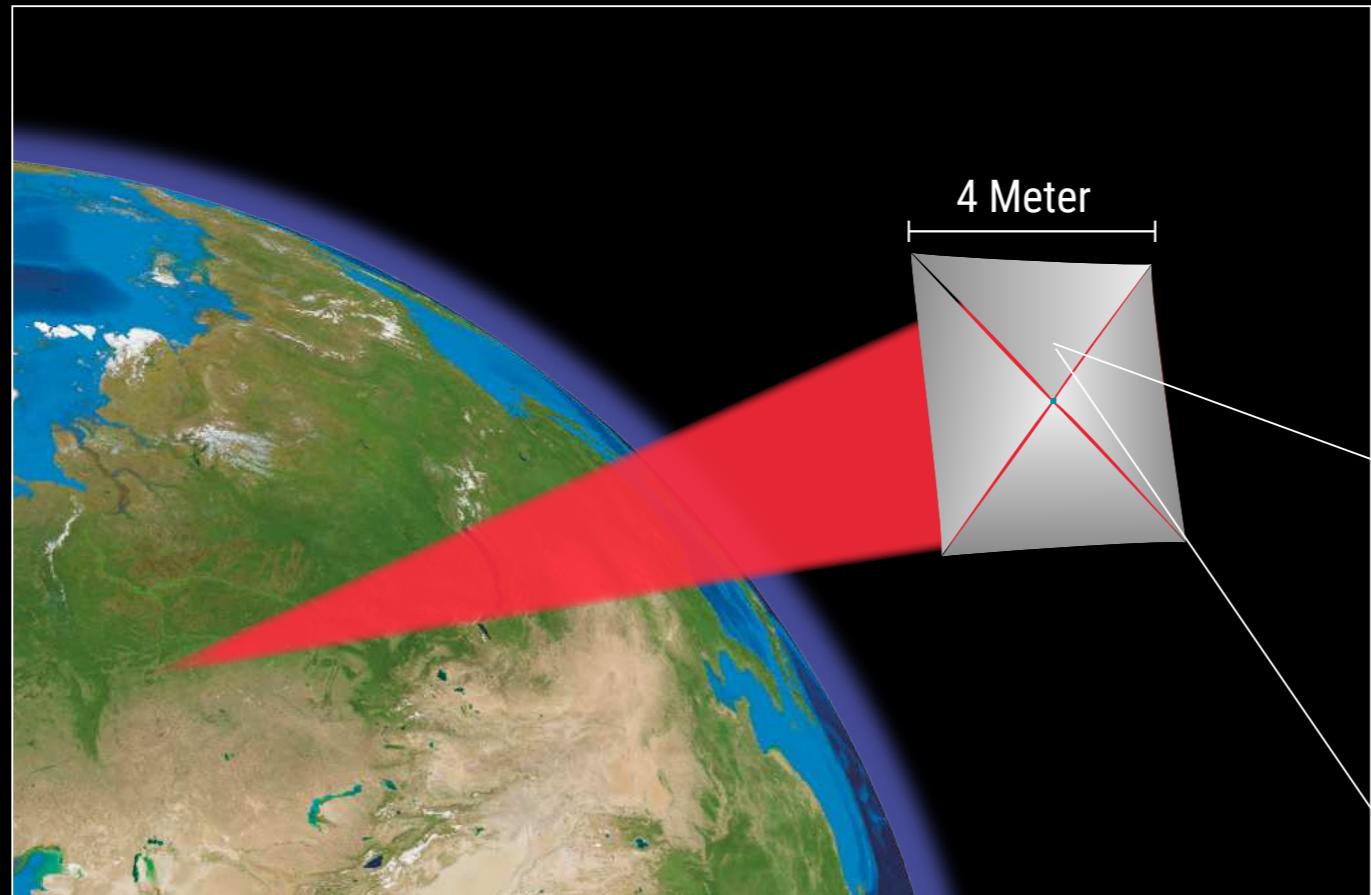
In dieser Phase besteht das größte Risiko in schwer wiegenden Schäden durch

Kollisionen mit Staubteilchen, Wasserstoffatomen und anderen Partikeln des interstellaren Mediums. Eine weitere Gefahrenquelle ist die kosmische Strahlung: Atomkerne, die mit annähernd Lichtgeschwindigkeit durchs All sausen und funktionsrelevante Elektronikteile zerstören können. Niemand weiß genau, wie viele Teilchen es im interstellaren Raum wirklich gibt oder wie groß sie sind. Starshot plant deswegen, seine Sonde vor potenziellen Kollisionen zu schützen, indem die nach vorne weisende Kante mindestens millimeterdick mit einem widerstandsfähigen Material, beispielsweise Berylliumkupfer, beschichtet ist.

Aber auch falls die Sonde durch einen derartigen Einschlag nicht zerstört würde, könnte sie dadurch von ihrem Kurs abgebracht werden oder ins Schlingern geraten. Die Sonde benötigt daher eigene Navigations- und Steuersysteme. Die dazu nötige Energie könnte eine nukleare Batterie liefern, die sich den radioaktiven Zerfall von Plutonium-238 zu Nutze macht. Die Steuerungssysteme müssten zumindest über eine rudimentäre künstliche Intelligenz verfügen, welche die Position der Sterne überwacht und den Kurs

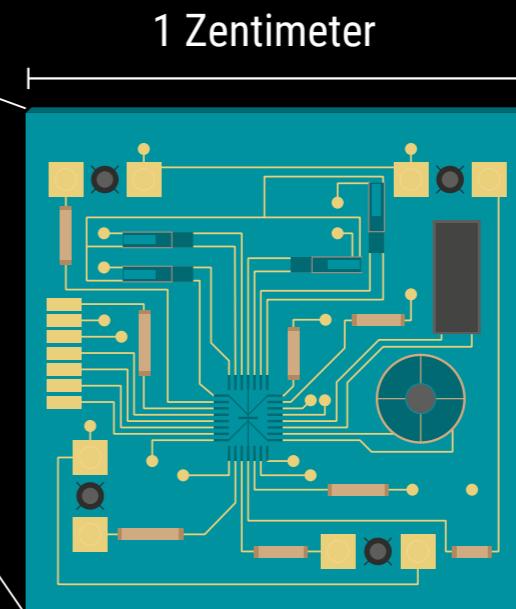
## Die Reise zum Alpha-Centauri-System

Selbst mit einem Fünftel der Lichtgeschwindigkeit wird die Mini-Raumsonde der Initiative Breakthrough Starshot mehr als 20 Jahre benötigen, um zum nächsten Stern zu gelangen – wenn sie den Gefahren unterwegs trotzen kann. Starshot plant, über einen gewissen Zeitraum Hunderte von Sonden zu starten – in der Hoffnung, dass zumindest einige die Reise überstehen.

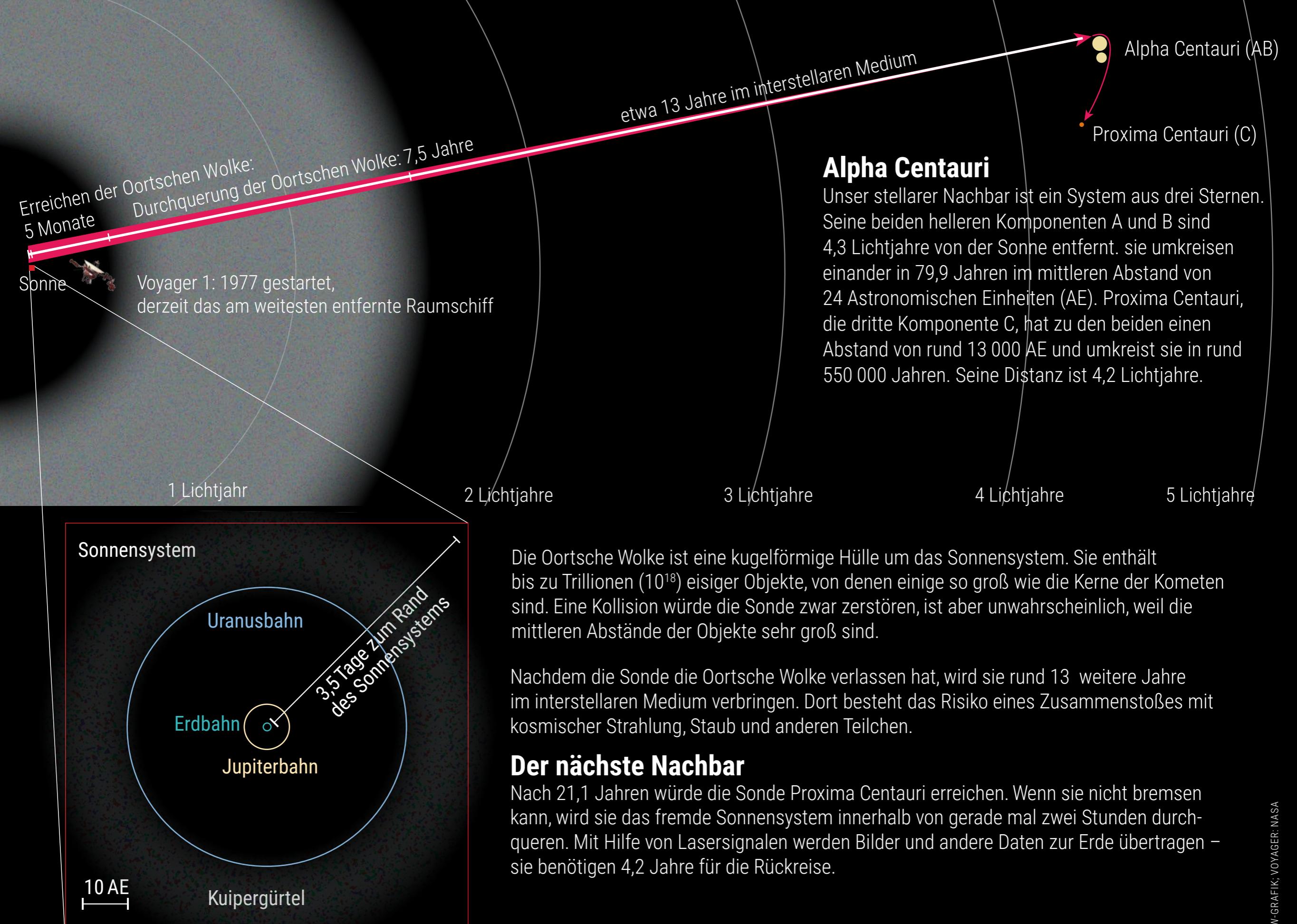


## Raumsonde auf einem Chip

Der Starshot-Chip würde sich in der Mitte des Lichtsegels befinden. Mit an Bord wären die Sensoren, der Antrieb, die Kamera, ein Spektrometer, eine Plutoniumbatterie, eine mit künstlicher Intelligenz ausgestattete Schalttechnik sowie ein Laser, mit dessen Hilfe die Sonde Daten zurück zur Erde schickt.



Eine Batterie starker erdgebundener Ytterbium-Laser soll das Miniaturraumschiff beschleunigen, indem sie mehrere Minuten lang sein Segel mit Laserlicht bestrahlt. Der Beschuss endet, sobald es ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit erreicht hat.



mit Hilfe eines Photonenantriebs anpassen kann. »Ich verdeutliche das den Leuten immer so: Eigentlich möchte man Neil Armstrong oder Chuck Yeager, der als erster Pilot die Schallmauer durchbrach, im Chipformat, um all diese wichtigen Entscheidungen sofort und vor Ort zu treffen«, sagt Scharf.

Die Missionsentwickler können nicht alle Risiken ausschließen, vor allem nicht von derzeit noch unbekannten Objekten im interstellaren Medium. Deshalb erwägen sie, Erkundungssonden zu starten, sobald ein Prototyp des Antriebssystems gebaut worden ist. Die frühen Sonden könnten das interstellare Medium erforschen, ihre Daten zur Erde übermitteln und so die Wissenslücken der Astronomen über diese Umgebung füllen.

## Der Vorbeiflug

Wenn alles wie geplant verläuft, wird irgendwann um das Jahr 2060 herum der Computer der Starshot-Raumsonde aufwachen und von da an einen regelmäßigen Statusbericht zur Erde funken. Er wird entdecken, dass sich die Sonde Proxima Centauri nähert und sich dann auf den Vorbeiflug vorbereiten.

Hauptaufgabe der Sonde wird es sein, ein Bild zu machen. Lubin schätzt, dass sich die

Sonde bis auf eine Astronomische Einheit – was dem Abstand zwischen Sonne und Erde entspricht – an Proxima b annähern können sollte. Sogar aus dieser Entfernung sollte ein Foto zeigen, ob es Wasser und grüne Vegetation auf der Planetenoberfläche gibt wie auf unserer Erde oder aber ein Ödland wie auf dem Mars. Auch Strukturen wie Berge und Krater sollten zu sehen sein.

Ein Spektrometer an Bord könnte die Zusammensetzung der Planetenatmosphäre erkunden, sofern der Planet eine haben sollte. Mögliche Indikatoren für Leben sind insbesondere Moleküle wie Sauerstoff, Methan und komplexere Kohlenwasserstoffverbindungen. Weitere Instrumente könnten zudem das Magnetfeld des Planeten oder andere Eigenschaften messen. Dies lieferte vielleicht Hinweise darauf, ob Proxima b eine lebensfreundliche oder doch eine viel ungemütlichere Umgebung bietet.

Wenn die Sonde Proxima Centauri erreicht, wird es keine Möglichkeit geben, sie abzubremsen. Sie wird also innerhalb von rund zwei Stunden durch das Sternsystem schießen. Für die Messinstrumente ist das eine Herausforderung. Noch nie zuvor wurde ein Foto von einer Kamera gemacht, die sich mit einem Fünftel der Lichtge-

schwindigkeit bewegt. Die Kameras der Sonde müssen sich so bewegen, dass sie den Planeten im Blick behalten, und die Computer auf der Erde müssen die Bilder so korrigieren, dass sie die relativistischen Effekte sowie die variierenden Aufnahmewinkel und -entfernung ausgleichen.

Erst dann aber wartet eine der größten Herausforderungen auf Starshot, die bislang ungelöst ist, wie auch die Projektleiter zugeben: Es gilt, die gewonnenen Daten mit Hilfe eines rund ein Watt starken Laserstrahls von Proxima zurück nach Hause zu den gespannten Astronomen zu übertragen. Dabei muss das Signal stark genug bleiben, um sich auch nach seiner 4,22-jährigen Reise zur Erde immer noch auffangen zu lassen. Lubin denkt dabei an den Bau einer kilometergroßen Anordnung von Detektoren auf der Erde, die möglicherweise dieselbe Fläche wie die Beschleunigungslaser nutzen könnten, um die schwachen Signale der Sonde aufzufangen.

Die nukleare Batterie an Bord liefert Strom für Kondensatoren, die den Strahl so hell wie nur möglich machen sollen – ähnlich wie ein Kamerablitz. Und es ist vielleicht möglich, das Segel als Antenne zu verwenden, um das Signal zu verstär-

ken. Aber der Lichtstrahl wird trotzdem in der riesigen Dunkelheit des Alls nur ein sehr, sehr schwacher Schein sein.

Eine Alternative wäre, eine Reihe von Sonden als eine Art von Verstärkerstationen hinterherzuschicken, damit das Signal eines einzelnen Chips lediglich rund ein Zehntel der Strecke statt der vollen Distanz zurücklegen müsste. Aber Lubin und auch andere Wissenschaftler geben zu, dass ein solcher Plan noch mehr Komplikationen mit sich bringen würde.

## Ganz neue Fähigkeiten

Nicht am Projekt beteiligte Experten sind denn auch gedämpft optimistisch bis skeptisch. »Ich denke, es gibt gewaltige Herausforderungen«, sagt etwa Gregory Quarles, leitender Wissenschaftler bei der Optical Society in Washington, D. C., in Hinblick auf die erforderlichen Technologiesprünge. Aber er fügt hinzu, dass mit dem richtigen Maß aus privater und öffentlicher Finanzierung von Forschung zur Optik und zur Materialwissenschaft »sich diese Investitionen auszahlen werden«.

Einige Wissenschaftler sagen, dass sich der minimalistische Ansatz von Starshot gegenüber den Missionen vorheriger, we-

niger plausibler Vorschläge unterscheidet. »Da gibt es aus meiner Sicht nichts, das offensichtlich komplett unmöglich ist«, sagt Scharf. »Sie reden ja nicht über ein großes Raumschiff zu einem anderen Stern.«

Jedoch sind manche besorgt, dass sich die zahlreichen technologischen Hürden als unüberwindbar entpuppen könnten. »Ich bin vorsichtig, was die nahe Zukunft angeht«, sagt Betts, der ja schon Erfahrung mit einem Sonnensegel machen konnte. »Jeder einzelne Aspekt scheint machbar zu sein – bis zu dem Punkt, an dem es darum geht, dass man alles in ein kleines, winziges, extrem leichtes Objekt quetschen muss.«

Und selbst wenn Starshot Proxima b erreichen sollte, ist es unwahrscheinlich, dass es nützliche Daten liefern wird – denkt zumindest Andreas Tziolas, Präsident von Icarus Interstellar, einer gemeinnützigen Stiftung, die sich auf ihre Fahne geschrieben hat, bis zum Jahr 2100 interstellare Flüge zu erreichen. »Die Chance ist winzig bis nichtexistent, dass Starshot es schafft, ein Bild von Alpha Centauri zu übermitteln«, sagt er. »Keine derart kleine Raumsonde kann so viel Leistung erbringen, um ein Signal zurückzuschicken.« Obwohl

auch seine Organisation einen Laserantrieb untersucht, konzentriert sie sich auf eine kernfusionsangetriebene Mission, die ein sehr viel größeres Raumschiff innerhalb eines Jahrhunderts zu Alpha Centauri schicken möchte – eines, von dem Tziolas behauptet, dass es leistungsfähig genug sein könnte, um nützliche Daten zurückzuschicken und vielleicht sogar Landeboter mitzunehmen.

Aber noch bevor irgendeine Raumsonde abhebt, könnten Astronomen eine Menge über den Planeten Proxima b lernen, ohne irgendetwas über die Grenzen unseres Sonnensystems hinauszuschicken. Das James-Webb-Weltraumteleskop soll im Frühjahr 2019 gestartet werden, und mehrere Großteleskope auf der Erde gehen wahrscheinlich innerhalb des nächsten Jahrzehnts in Betrieb. Diese könnten es Astronomen ermöglichen, herauszufinden, ob die Atmosphäre des Exoplaneten Anzeichen von Leben enthält.

Aber wie jeder Entdecker bestätigen würde: Es gibt keinen Ersatz dafür, an einem neuen Ort selbst vorbeizuschauen. Der Vorbeiflug von Pluto im Jahr 2015 hat beispielsweise Eisberge und Stickstoffgletscher zu Tage gebracht, die selbst die leis-

tungsfähigsten Teleskope der Erde nicht sehen konnten. Auf ähnliche Art und Weise könnte Proxima b – und andere nahe Exoplaneten – Überraschungen bereithalten, die nur aus der Nähe sichtbar sind.

Befürworter der Mission sagen, dass sich diese auch darüber hinaus auszahlen wird. »Meiner Meinung nach wird Starshot unsere Fähigkeiten erweitern«, sagt Kelvin Long, Direktor der Londoner Initiative für Interstellare Studien und Berater des Projekts. »Es ist so wie die Reise zum Mond.« Er sagt, dass eine Lasanordnung, die leistungsfähig genug ist, um eine Raumsonde zu Proxima Centauri zu befördern, auch Sonden innerhalb weniger Tage überall ins Sonnensystem schicken könnte, oder innerhalb von einer oder zwei Wochen bis in das interstellare Medium.

Diese Art von Leistungsvermögen könnte die Erkundung des Sonnensystems zur Routine werden lassen. »Wie würde es Ihnen gefallen, Sonden per Express zum Mars zu schicken?«, sagt Lubin. »Es ist eine radikale Veränderung, wie wir künftig auf Erkundungstour gehen können.« ↗

(Sterne und Weltraum, April 2018)

Spektrum  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

# EXOPLANETEN

Wie die fernen Begleiter entstehen

Kepler-Mission | 1000 neue Welten

Proxima b | Nachbar in der habitablen Zone

TRAPPIST-1 | Sieben unbekannte Planeten

FÜR NUR  
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN



PLANETENTRANSITS

# Ich sehe was, was du nicht siehst

von Franziska Konitzer

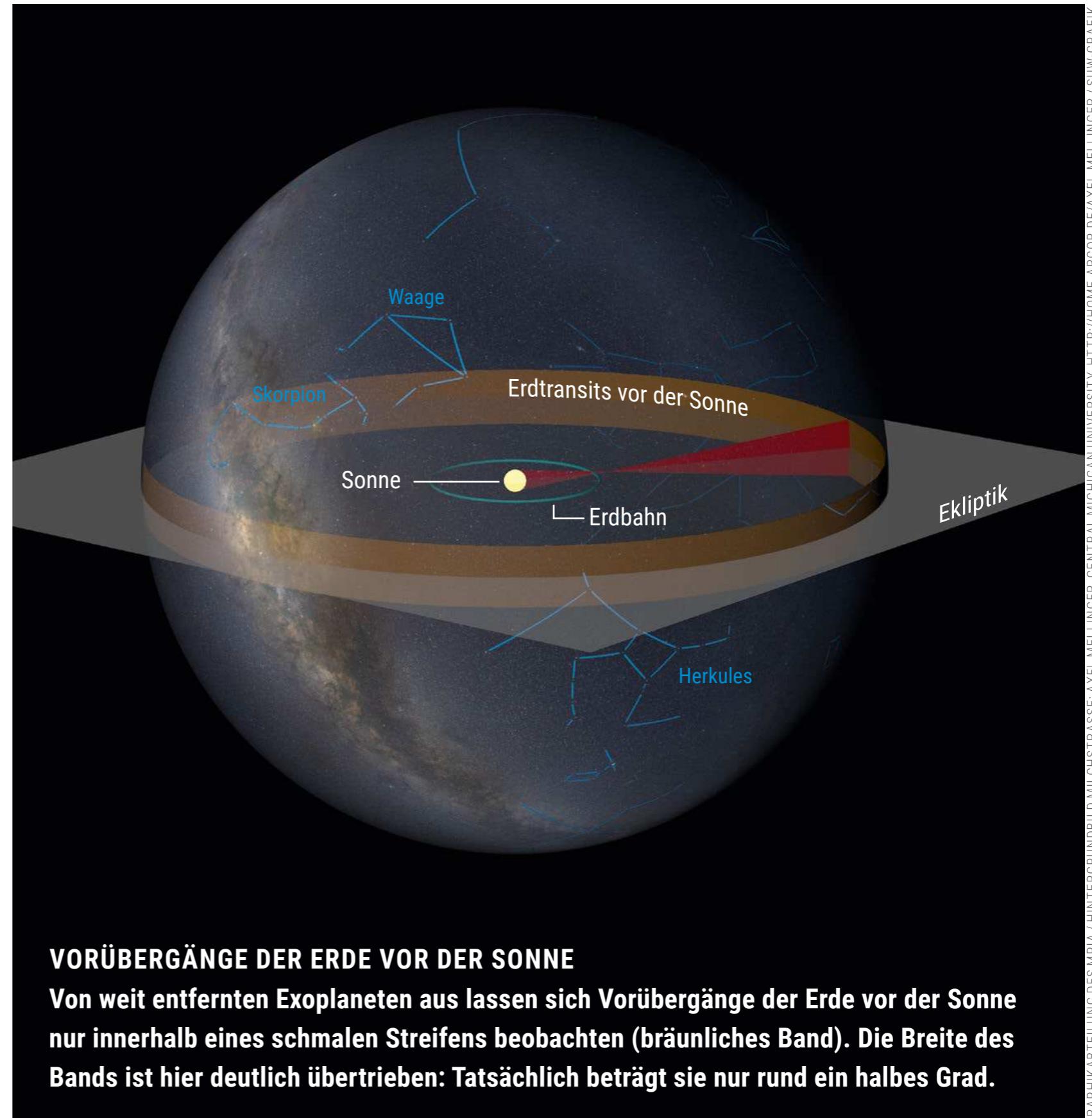
Irdische Astronomen berechnen, von wo aus außerirdische Beobachter die Planeten unseres Sonnensystems mit Hilfe der Transmitmethode erfolgreich beobachten und welche von ihnen sie dabei überhaupt entdecken könnten.

inen kleinen Freudsprung wäre es schon wert: Es wurde wieder einmal ein Planetensystem um einen kleinen, gelben Stern entdeckt. Es ist schon schade, dass keiner der Planeten habitabel ist, schließlich hat man den Stern über hundert Jahre lang immer wieder beobachtet. Die Geduld hat sich zwar gelohnt, immerhin sind drei Planeten keine schlechte Ausbeute. Aber ihre Oberflächen bestehen nun einmal allesamt aus Gas.

Woanders ist die Aufregung schon ein wenig größer. Auch hier hat es lange gedauert, bis man demselben kleinen, gelben Stern in rund 3000 Lichtjahren Entfernung das Signal eines Gasriesen entlocken konnte. Aber da ist noch etwas, ein Planet, der sehr viel öfter vor besagtem kleinen, gelben Stern vorbeizieht. Ein Planet, wahrscheinlich mit einer steinigen Oberfläche und der, Moment mal, genau in der richtigen Entfernung liegt, um flüssiges Wasser zu ermöglichen. Könnte das ...? Egal, einen

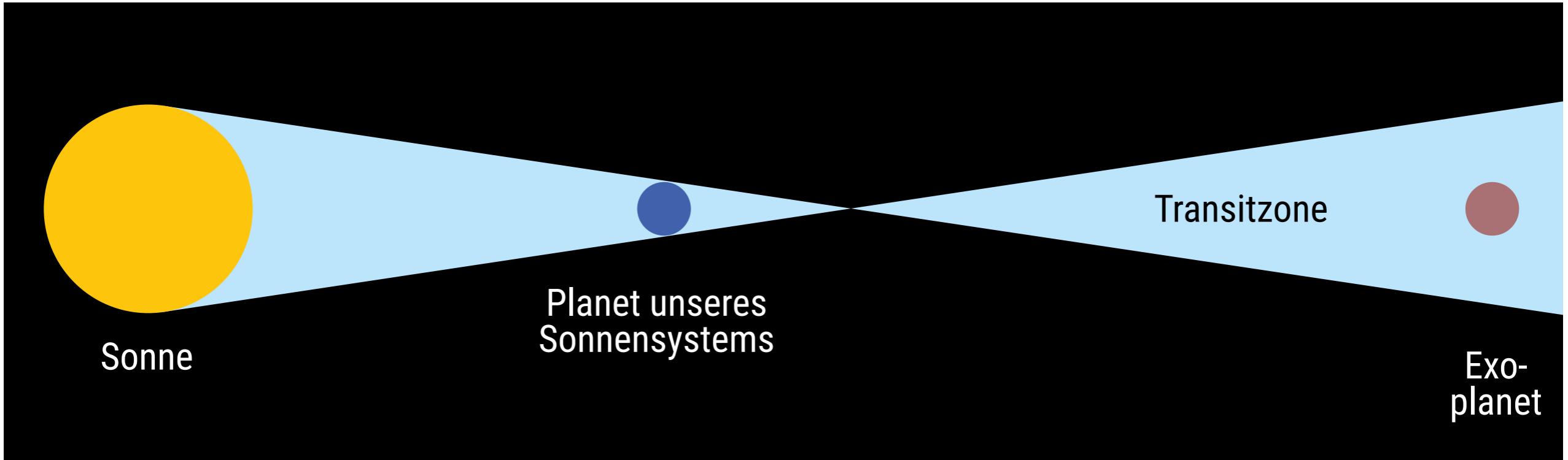
---

**Franziska Konitzer** studierte Physik und Astrophysik an der University of York in Großbritannien und schloss das Studium mit einem Master ab. Sie arbeitet als Wissenschaftsjournalistin in München.



## VORÜBERGÄNGE DER ERDE VOR DER SONNE

**Von weit entfernten Exoplaneten aus lassen sich Vorübergänge der Erde vor der Sonne nur innerhalb eines schmalen Streifens beobachten (bräunliches Band). Die Breite des Bands ist hier deutlich übertrieben: Tatsächlich beträgt sie nur rund ein halbes Grad.**



SUW-GRAFIK; NACH: WELLS, R. ET AL.: TRANSIT VISIBILITY ZONES OF THE SOLAR SYSTEM PLANETS. IN: MNRAS 473, S. 345 – 354, 2018

Versuch ist es allemal wert. Auf zum Radio-transmitter!

Währenddessen macht auf besagtem Gesteinsplaneten ein Astronomenteam die Hoffnung auf die schnelle Entdeckung potenzieller außerirdischer Beobachter gleich wieder zunichte.

### Der Blick von außen

Was aber bleibt, ist ein kürzlich in der Fachzeitschrift »Monthly Notices of the Royal Astronomical Society« erschienener Artikel, in dem sich die Astronomen die Frage stellen, wie unser Sonnensystem eigentlich aussehen würde, wenn man es von einem Punkt weit außerhalb von ihm beob-

achtete. Angesichts der bislang mehr als 3700 gefundenen Exoplaneten, darunter auch mehr als 600 Mehrplanetensysteme, sowie – nach konservativer Einordnung – ein gutes Dutzend Kandidaten von potenziell bewohnbaren Planeten innerhalb der jeweiligen habitablen Zonen um ihren Stern, erscheint es als durchaus angebracht, den Spieß einmal umzudrehen. Wie erscheinen wir eigentlich dem Rest der Galaxie? Könnte man die Erde überhaupt von einem anderen Planeten aus entdecken?

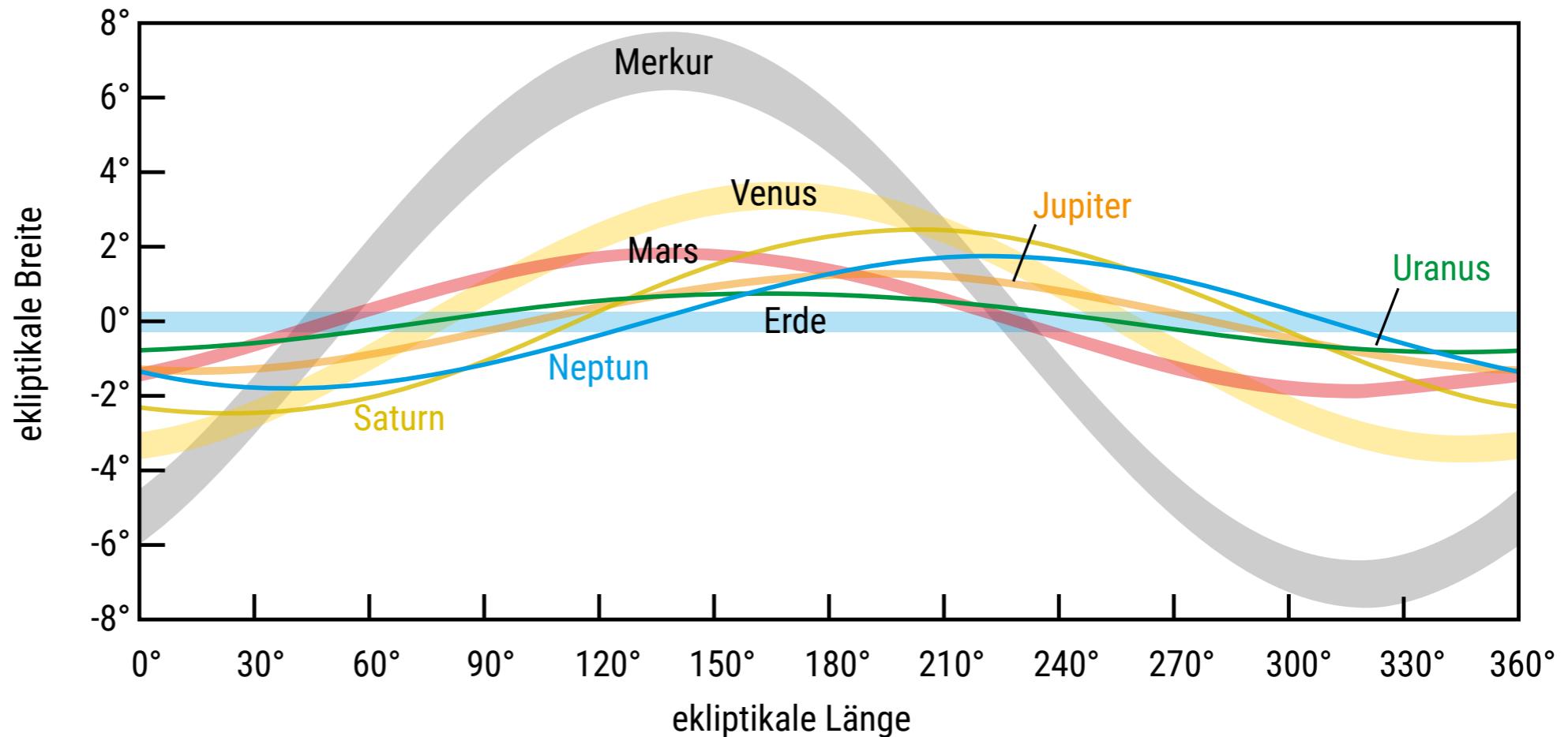
Für ihre Überlegungen wählten die Astronomen um Robert Wells von der irischen Queen's University Belfast einen zwar an-

### SICHTBARKEIT DER PLANETENTRANSITZONE

**Die Transitzone eines Planeten, der vor der Sonne vorüberzieht, ist nur für bestimmte Beobachter sichtbar. Befindet sich ein Exoplanet in der Zone des hellblau eingetragenen Winkels, so wird der Beobachter diesen Transit beobachten können. Befindet er sich außerhalb dieses Bereichs, dann ist er für ihn nicht sichtbar.**

## Sichtbarkeitszone

Für externe Beobachter hängen die Sichtbarkeitszonen für die Transits der Planeten unseres Sonnensystems im Wesentlichen von zwei Parametern ab: ihrer Entfernung zur Sonne und ihrer Bahnneigung. Je größer letztere ist, umso stärker weicht die Wellenform von der durch die Erdbahn (hellblau) definierten Ekliptik ab. Planeten mit kleiner Umlaufbahn haben größere Sichtbarkeitszonen.



SUW-GRÄFIK; NACH: WELLS, R. ET AL.: TRANSIT VISIBILITY ZONES OF THE SOLAR SYSTEM PLANETS. IN: MNRAS 473, S. 345 – 354, 2018

thropozentrisch angehauchten Ansatz aus, dafür aber eben einen, mit dem Astronomen bestens vertraut sind. Er stellt das derzeit gängigste Verfahren dar, mit dem wir auf der Erde Exoplaneten aufspüren: die Transitmethode. Dabei vermessen Astronomen die Helligkeit eines Sterns und hoffen auf eine winzige Abnahme der Helligkeit, die darauf hindeutet, dass gerade

von uns aus gesehen ein Planet vor ihm vorbeizieht.

Wells und seine Kollegen erforschen also, wie unser Sonnensystem für ähnlich mit Teleskopen ausgerüstete Aliens aussehen sollte. Dafür berechneten sie so genannte Sichtbarkeitszonen für Transits. Denn obwohl sich alle Planeten unseres Sonnensystems mehr oder weniger auf der

Ekliptikebene befinden, ist es dennoch ein mehr oder weniger. Diese kleinen Abweichungen addieren sich auf, beobachtet man die Sonne aus großen Entfernungen, und wartet man darauf, dass ein Planet genau passend davor vorüberzieht. So ergibt die Berechnung jener Sichtbarkeitszonen ein Bild, in dem die Erde in heliozentrischen ekliptikalnen Koordinaten eine gerade Linie

zieht, der Rest der Planeten aber eine Sinuskurve beschreibt, mal unter, mal über der Ekliptikebene. Die daraus resultierende Karte gibt an, von wo aus in unserer Galaxis welche Planeten sichtbar sind. In denjenigen Gebieten, wo sich die Kurven schneiden, ließe sich prinzipiell sogar ein Blick auf mehr als einen Planeten erhaschen.

### Nur drei auf einen Streich

Auf diese Weise fanden die Astronomen heraus, dass von unserem Sonnensystem mit seinen acht Planeten für einen Beobachter im Idealfall drei Planeten zu sehen sind, aber niemals mehr. Diese Erkenntnis sollte man durchaus im Hinterkopf haben, wenn man von der Entdeckung anderer Planetensysteme erfährt. Nur weil Astronomen dort nicht mehr als einen Planeten entdeckten, heißt das nicht, dass keine weiteren da sind. Sie sind vielleicht lediglich das Opfer unseres beschränkten Sichtwinkels.

Eine weitere Erkenntnis der Wissenschaftler lautet, dass die Gesteinsplaneten unseres Sonnensystems leichter zu entdecken sein dürften als die Gasriesen. Zwar sind sie viel kleiner und bedecken die Sonne daher zu einem viel geringeren Teil, wo-

durch das Signal also niedriger ausfällt. Dafür sind ihre Umlaufbahnen aber viel enger. Man müsste nicht wie bei Saturn dreißig Jahre darauf warten, bis sich das Signal wiederholt. Prinzipiell stehen allerdings die Chancen, dass ein externer Beobachter unsere Sonne für einen eher langweiligen Stern hält, recht hoch. Befindet sich besagter Beobachter nämlich zufällig irgendwo in der Galaxis, könnte er allein aus geometrischen Gründen nur mit einer rund 2,5-prozentigen Wahrscheinlichkeit einen unserer Planeten beobachten. Bei zwei Planeten sinkt diese Wahrscheinlichkeit sogar auf 0,23 Prozent. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit hält sich demnach in Grenzen.

Andererseits enthält unsere Galaxie auch eine gigantisch große Zahl von Exoplaneten. Und so haben Wells und seine Kollegen auch gleich 68 ferne Welten identifiziert, von denen aus ein solcher Transit beobachtet werden könnte. Die meisten davon gehen allerdings auf das Konto von Merkur mit seiner extrem engen Umlaufbahn. Drei Planeten, nämlich Jupiter, Saturn und Uranus, wären derzeit nur vom Exoplaneten EPIC211913977b im offenen Sternhaufen Messier 44, der Praesepe

(deutsch: Futterkrippe), aus zu sehen. Dieser gilt allerdings nicht als habitabel. Von den 68 Exoplaneten liegen neun geometrisch so günstig, dass man von ihnen aus Transits der Erde vor der Sonne beobachten könnte. Unter ihnen ist allerdings kein potenziell habitabler Exoplanet.

Eine gute Nachricht haben die Forscher trotzdem. Sie stellten einige statistische Überlegungen an und kommen so zum Schluss, dass es ungefähr drei erdähnliche Exoplaneten geben sollte, die in der Sichtbarkeitszone unserer Erde liegen.

Letztlich finden Astronomen mit Hilfe dieser Überlegungen heraus, wo sie selbst bei Exoplaneten nach Biomarkern und biologischer Aktivität suchen sollten. Auch bei Kommunikationsversuchen besteht der Wunsch in einer Antwort: Anstatt Signale auf gut Glück in die Schwärze des Weltalls zu schicken, können die Forscher ihre Anstrengungen nun auf solche Regionen und Systeme konzentrieren, von denen aus zumindest prinzipiell jemand zurückblicken könnte.

(Sterne und Weltraum, Mai 2018)

# Laser-Tarnkappe

## soll gefährliche Aliens täuschen

von Lars Fischer

Niemand weiß, ob außerirdische Zivilisationen uns wirklich wohlgesinnt sind. Deswegen sollten wir uns eventuell besser nicht finden lassen.



**K**lingonen, Vogonen, Jar Jar Binks – die Sciencefiction ist voll mit unangenehmen Kreaturen von fernen Planeten. Deswegen ist bis heute umstritten, ob es wirklich so klug ist, real existierenden Außerirdischen unsere Position im Universum offen mitzuteilen. David Kipping und Alex Teachey von der Columbia University in New York haben ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem man die nach uns fahndenden Aliens sogar aktiv täuschen kann: Sie wollen unseren Planeten mit Lasern tarnen, so dass er mit Teleskopen nicht mehr zu finden ist. Dieses Verfahren soll die Transitmethode

täuschen, jenes Verfahren, mit dem die meisten der bisher bekannten Exoplaneten entdeckt wurden. Das Laserlicht würde dann so eingestellt, dass es exakt die Absorption der Erde ausgleicht, wenn sie aus Sicht einer Alien-Zivilisation vor der Sonne vorbeizieht.

Das Verfahren erfordert zwar recht starke Laser, würde aber nach Ansicht der beiden Wissenschaftler relativ wenig Energie erfordern, denn die Transits sind vergleichsweise selten. Die Notwendigkeit, unseren Planeten zu tarnen, ergibt sich aus dem Umstand, dass die Menschheit seit Jahrzehnten elektromagnetische Signale in alle Richtungen des Weltalls strahlt, dar-

unter auch so inkriminierendes Material wie das Fernsehprogramm. Eine feindlich gesonnene außerirdische Zivilisation erfährt deswegen ohne Weiteres von unserer Existenz, doch unseren Heimatplaneten kann sie mit diesen Signalen allein nicht aufspüren. Das Transitverfahren ist nach Ansicht von Fachleuten das einfachste Verfahren, uns zu finden – und dies sollen die Laser deutlich erschweren. Zusätzlich geben Kipping und Teachey zu bedenken, dass das durch Laser veränderte Transitsignal auch zur Kommunikation genutzt werden kann. ↵

(Spektrum.de, 01.04.2016)

KURIOSES INTERNET-EXPERIMENT

# Wenn E.T. anruft – würden wir ihn verstehen?

von Robert Gast

2016 stellte ein deutscher  
Astrophysiker eine fingierte  
Alien-Botschaft ins Netz.

Nun verrät er, wie viele Menschen  
sie entschlüsselt haben.



**B**isher hat wohl eher kein Radiosignal von Außerirdischen die Erde erreicht. Aber was wäre, wenn? Wäre die Menschheit in der Lage, eine darin kodierte Botschaft zu entschlüsseln? Der Astrophysiker René Heller vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen ging dieser Frage in einem Online-Versuch nach: Am 26. April 2016 verbreitete er via Twitter und Facebook einen 1,9 Millionen Zeichen langen Binär-Kode aus Einsen und Nullen, zusammen mit der Aufforderung, eine darin kodierte Botschaft zu entschlüsseln.

Die Ergebnisse dieser mittlerweile beendeten »SETI Decrypt Challenge« hat Heller im Internet veröffentlicht. Demnach erhielt der Göttinger Physiker 300 Zuschriften, von denen immerhin 66 die richtige Lösung enthielten. Etwa die Hälfte der erfolgreichen Teilnehmer knackte das Rätsel aber vermutlich nur, weil sie von anderen Internetnutzern auf die richtige Spur gebracht wurden, schreibt Heller. Somit verstanden bloß gut zehn Prozent der interessierten Menschen die mutmaßliche Alien-Botschaft.

Die fingierte Nachricht würde eine mitteilsame, der Menschheit ähnelnde Zivilis

sation vielleicht tatsächlich zu den Sternen funkten. Sie erinnert an die berühmte, deutlich kürzere Arecibo-Radiowellen-Botschaft, welche die SETI-Bewegung 1974 in Richtung des Kugelsternhaufens M13 sendete. Auch Hellers Nachricht lässt sich allein mit Mathematik entschlüsseln. So entspricht die Zahl 1 902 341 – die Anzahl der Bits in der Nachricht – gerade dem Produkt der drei Primzahlen 7, 359 und 757. Das wird für einen Empfänger offensichtlich, wenn er den Kode ausschreibt oder ihn mittels eines Texteditors am Computer darstellt. Dann gruppieren sich die Einsen und Nullen in sieben Blöcke aus jeweils 359 mal 757 Ziffern.

In einem dieser Blöcke listet Heller beispielsweise die ersten 757 Primzahlen auf. In einem anderen Block ergeben manche Zeilen gerade den numerischen Wert der so genannten Planck-Länge beziehungsweise der Planck-Zeit – sie lassen sich leicht aus Naturkonstanten wie der Planck-Konstanten, der Lichtgeschwindigkeit und der Gravitationskonstanten ableiten. Im weiteren Verlauf des Kodes wird mit diesen Maßeinheiten unter anderem die Körpergröße der mutmaßlichen Aliens angegeben. Ein anderer Block lässt sich hingegen nur dann

entschlüsseln, wenn man Einsen durch weiße Pixel und Nullen durch schwarze Pixel ersetzt – dann weicht der Zahlensalat nämlich dem Selfie eines Aliens.

Sein Experiment habe gezeigt, dass die Internetgemeinschaft eine große Hilfe bei der Entschlüsselung einer Botschaft von Außerirdischen sein könne, schreibt Heller. Zwar gingen Alien-Jäger bei der jüngsten groß angelegten Suche nach extraterrestrischen Botschaften, der »Breakthrough Listen«-Initiative, leer aus. In einigen Jahren startet jedoch das Radioteleskop-Netzwerk SKA seine Beobachtungen. Es könnte Funksprüche aus einigen Dutzend Lichtjahren Entfernung auffangen, was ein Rekord bei der Suche nach Alien-Signalen wäre. Immer vorausgesetzt, dass irgendwo jemand lebt, der mit der Menschheit kommunizieren will. ↗

(Spektrum – Die Woche, 24/2017)

# Enthalten Alien-Botschaften Computerviren?

von Lars Fischer

Eine komplexe Nachricht von Außerirdischen könnte Schadsoftware enthalten – oder gar eine gefährliche künstliche Intelligenz, warnen zwei Autoren.

Die erste Begegnung mit Außerirdischen ist ein riskanter Moment: Kommen sie wirklich in Frieden? Doch schon die allererste Kontaktaufnahme mit einer fremden Intelligenz im Weltall ist möglicherweise gefährlich – denn eine hinreichend lange Botschaft könnte ein Computervirus oder gar eine feindselige künstliche Intelligenz enthalten. Zu diesem Schluss jedenfalls kommen Michael Hippke von der Sternwarte Sonneberg und John G. Learned von der University of Hawaii in einer Veröffentlichung auf »ArXiv«. Demnach können wir weder mit letzter Sicherheit ausschließen, dass eine Botschaft Schadcode enthält,

noch können wir garantieren, dass wir den Schadcode unter Kontrolle halten. Wenn wir kein Risiko eingehen wollen, müssten wir jede längere Botschaft von Aliens sofort ungelesen vernichten, schreiben sie.

Ausgangspunkt der Überlegungen von Learned und Hippke ist die Annahme, dass außerirdische Intelligenzen eine längere Botschaft mit nicht trivialem Inhalt schicken. Diese würde dann in irgendeiner Weise von IT-Systemen verarbeitet werden, die ein potenzieller Schadcode angreifen könnte. Möglich sei zum Beispiel, dass sich in der Nachricht eine künstliche Intelligenz verbirgt. Manche Fachleute wie der von den Autoren zitierte Philosoph Nick Bostrom sehen in der bloßen Existenz einer den Men-

schen überlegenen KI eine existenzielle Gefahr für die Menschheit. Die beiden Forscher, die bisher nicht als Fachleute für IT-Sicherheit in Erscheinung getreten sind, argumentieren, dass eine KI durch menschliche Schwäche selbst einem hypothetischen Gefängnis wie einem isolierten Computer entkommen könnte. Learned und Hippke ziehen aus ihren Überlegungen vor allem Konsequenzen für unsere eigenen Botschaften an eventuelle Außerirdische: Wir sollten, schreiben sie, keine komplexen Computerprogramme versenden. Ankommende Botschaften dagegen sollten wir angesichts des potenziellen Nutzens unbedingt lesen. ↵

(Spektrum.de, 22.02.2018)



SDECORET / STOCK.ADOBE.COM

GALAKTISCHE FERNREISEN

# Außerirdische Raumschiffe müssten sich durch **charakteristische Spuren** verraten

von Jan Dönges

Gibt es im All Raumschiffe, die mit annähernd Lichtgeschwindigkeit reisen?  
Wenn ja, sollten sie sich durch eine messbare Signatur verraten, sagen zwei Physiker.

**A**us physikalischer Sicht ist es unmöglich, sich schneller als das Licht fortzubewegen, und auch Reisen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit sind wenig plausibel. Aber wer weiß? Eine außerirdische Zivilisation könnte technische Lösungen gefunden haben, die unser Können weit überschreiten. Womöglich flitzen unentwegt außerirdische Schiffe durch die Galaxis – und wir nehmen davon keine Notiz.

Um sicherzugehen, könne es sich lohnen, auf verräterische Spuren im kosmischen Mikrowellenhintergrund zu achten, sagen die beiden Physiker Ulvi Yurtsever und Steven Wilkinson von der US-Rüstungsfirma Raytheon in einem mutmaßlich neben ihrer Arbeit entstandenen – und freilich spekulativen – Aufsatz. Nach den Berechnungen der beiden Forscher hinterlassen Reisen mit annähernder Lichtgeschwindigkeit zwangsläufig eine charakteristische Signatur, die sich mit heutigen Mitteln erkennen lassen dürfte.

Mit welcher raffinierten Antriebsmethode die Außerirdischen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigen, lassen Yurtsever und Wilkinson außer Acht, es ist für ihre weiteren Überlegungen unerheblich. In jedem Fall dürfte das Schiff unentwegen Kollisionen mit Photonen des Mikrowellenhintergrunds ausgesetzt sein. Auf Grund der hohen Geschwindigkeit prasseln diese in Form energiereicher Gammastrahlung auf die Außenhülle. Es entsteht dadurch auch eine Art immenser »Fahrtwind«, der bereits für sich genommen ein Hindernis bei der Erreichung besonders hoher, relativistischer Fluggeschwindigkeiten darstellt, berechnen die Physiker.

### **Keine natürliche Quelle hinterlässt diese Spuren**

Gleichzeitig werden die Photonen des Mikrowellenhintergrunds durch die Interaktion mit der Materie des Raumschiffs gestreut. Laut Yurtsever und Wilkinson sollte dabei ein Signal in Form von Strahlung im

Terahertz- oder Infrarotbereich auftreten, das sich durch den Raum fortbewegt. Kennzeichnend sei dessen starker Abfall in der Temperatur, der von einem starken Anstieg der Intensität begleitet wird. Kein bekanntes natürliches Phänomen könnte eine solche Veränderung hervorrufen.

In einem Nachfolgeaufsatz wollen Yurtsever und Wilkinson nun berechnen, bis in welche Distanz sich ein solches Signal aufspüren lassen sollte, wenn man unsere heutige Detektortechnik zu Grunde legt. Dank dieser Informationen steht uns dann entweder eine faustdicke Überraschung ins Haus. Oder aber die Existenz kosmischen Fernverkehrs in der galaktischen Nachbarschaft lässt sich ein für alle Mal ausschließen – zumindest unter der Annahme, dass die außerirdische Technik nicht noch viel raffinierter ist als gedacht.





FAST RADIO BURSTS

# Alien-Spekulationen um **mysteriöse Radioblitze**

von Lars Fischer

Energiereiche Blitze blinken am Himmel auf – und niemand weiß, warum. Es könnten also auch die Antriebe außerirdischer Raumschiffe sein, so zwei Harvard-Forscher.

**S**chnelle Radioblitze, extrem kurze, energiereiche Ausbrüche von Radiostrahlung, sind eines der heißesten ungelösten Rätsel der Astrophysik. Binnen weniger Millisekunden setzen sie nach Berechnungen die Energie von 500 Millionen Sonnen frei. Erst 17 dieser Strahlungsausbrüche wurden bisher von irdischen Instrumenten registriert, um ihre Entstehung ranken sich diverse Hypothesen. Nun wagen sich die theoretischen Physiker Avi Loeb und Manasvi Lingam von der Harvard University aus der Deckung und bringen Außerirdische ins Spiel. Ein künstlicher Ursprung der seltsamen Signale sei zumindest überprüfenswert, schreiben sie.

Anlass ihrer Überlegungen ist der Umstand, dass die Radioblitze anscheinend doch nicht so zufällig auftreten, wie es zuerst schien. Seit Mai 2015 sichteten Radioteleskope eine ganze Serie dieser Blitze, die aus einer einzelnen Quelle zu kommen scheinen: einer etwa drei Milliarden Lichtjahre entfernten Zwerggalaxie. Womöglich, so Loeb, seien die Signale deswegen künstlich erzeugt und der Zweck gar nicht so mysteriös. Auch auf der Erde hat man nämlich bereits darüber nachgedacht, ge-

zielt solche Strahlungspulse zu erzeugen – und zwar um Raumfahrzeuge mit Lichtsegeln anzutreiben. Entsprechende Pläne gibt es zum Beispiel bei der NASA, aber auch private Unternehmen haben das Verfahren ins Auge gefasst, um Sonden zum Nachbarstern Alpha Centauri zu schicken.

Einen Transmitter zu bauen, der die beobachteten Blitze erklären könnte, sei physikalisch möglich. Um ein Lichtsegelschiff anzutreiben, müsse der Strahl kontinuierlich auf das Segel gerichtet sein. Doch wegen der Bewegung von Schiff und Quelle wäre der Strahl immer nur kurz auf uns ausgerichtet – auf der Erde sähe man eine Serie von kurzen Blitzen. Die Frequenzverteilung der schnellen Radioblitze sei nahe der optimalen Frequenz für einen Lichtsegelantrieb, argumentieren Loeb und Lingam – und ihre Hypothese deswegen nicht von der Hand zu weisen. Die bisherigen Erklärungsmodelle, darunter, dass Kollisionen von Neutronensternen oder Schwarzen Löchern diese Ereignisse verursachen, seien schließlich ebenfalls nur Spekulation. Ob sie damit ihre Kollegen überzeugen können, ist dennoch mehr als fraglich. ↵

(Spektrum.de, 10.03.2017)

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

AUCH ALS  
GEDRUCKTE  
AUSGABE  
ERHÄLTLICH!

# DUNKLE MATERIE

Die Suche nach dem  
Unsichtbaren

Spurensuche | Auf der Jagd  
nach Mr. Axion

Quantenzustand | Dunkle Materie –  
eine Supraflüssigkeit?

Antimaterie | Neue Hoffnung  
für Materiejäger

HIER DOWNLOADEN



AUSSERIRDISCHE MEGAZIVILISATIONEN

# Seltener als selten

von Jan Dönges

Extrem fortschrittliche Außerirdische sollten eigentlich die Energie ihrer gesamten Galaxie nutzen. Doch ein Suchprogramm zeigt: Sonderlich oft scheint das nicht zu geschehen.

**I**aut plausiblen Überlegungen sollte eigentlich nichts und niemand eine außerirdische Zivilisation daran hindern können, im Lauf der Jahrtausende immer weiter zu wachsen und einen immer größeren Anteil ihrer Heimatgalaxie zu besiedeln – zumindest sobald sie eine bestimmte Ausgangsgröße erreicht hat, sei dieser Prozess unumkehrbar. Denn wer oder was sollte eine solche Entwicklung bremsen?

Doch wie vor einem Jahr ein Forscherteam um Jason Wright mit Hilfe von Infrarotteleskopen festgestellt hat, sind solche Galaxien umspannenden »Kardaschow-III-Zivilisationen« in der Umgebung der Milchstraße »sehr selten«. Und nun zeigt sich, dass diese Aussage »vermutlich eine Untertreibung« war, erläutert Michael Garrett, Forscher von der Uni Leiden und Direktor des niederländischen Astronomieforschungszentrums Astron.

Die Gesetze der Thermodynamik verlangen, dass die Energie, die die Außerirdischen aus den natürlichen Prozessen in ihrer Umgebung ziehen, in Form von Infrarotstrahlung wieder abgestrahlt wird. Komplett besiedelte Galaxien müssten sich folglich von der Erde aus durch ein un-

typisches Strahlungsmuster verraten. Doch die Durchmusterung des Teams um Wright ergab wenig Bemerkenswertes: Unter 100 000 untersuchten fernen Himmelsobjekten identifizierten die Wissenschaftler von der Pennsylvania State University im Rahmen ihres Projekts G-HAT (Glimpsing Heat from Alien Technologies) damals nur wenige hundert Kandidaten, die einen näheren Blick lohnten.

Diesen hat nun Michael Garrett geworfen. Er vermaß Wrights Kandidatengalaxien im Radiobereich und stellte fest, dass nahezu alle einem allgemein gültigen Muster folgen, das sich aus dem Verhältnis von Infrarot- und Radiostrahlung ergibt. Daher seine Entwarnung: »Wir können heute Nacht ruhig in unseren Betten schlafen, eine Invasion der Außerirdischen ist nicht sehr wahrscheinlich.« Die auffällige Infrarotstrahlung der Kandidatengalaxien geht wohl in den meisten Fällen auf einen erhöhten Staubanteil in den Galaxien zurück, ergab die Studie. Kardaschow-III-Zivilisationen seien entweder sehr selten oder gar nicht existent: Nur in sechs Fällen ergaben die Messungen Befunde, die sich nicht durch nähere Untersuchung erklären ließen.

Warum sich unter Hundertausenden von Galaxien in unserem lokalen Universum in höchstens sechs, aber womöglich keiner einzigen eine Megazivilisation entwickelte, gibt nach Meinung von Garrett zu denken. Vielleicht wüssten Außerirdische einen Weg, so energieeffizient zu arbeiten, dass weniger Wärme abgestrahlt würde, als laut unseren physikalischen Theorien erlaubt ist. Oder aber es gibt am Ende da draußen doch noch ein Phänomen, das eine fremde Kultur am unbremsten Wachsen hindert – mag sie auch noch so groß sein. ↗

(Spektrum – Die Woche, 37/2015)



WIEDER KEINE ALIENS!

# Staubige Lösung für stellares Rätsel

von Lars Fischer

# Was ist der Unterschied zwischen einer außerirdischen Raumstation und einer Staubwolke? Daten von Tabbys Stern liefern wohl eine endgültige Antwort.

Die jüngsten Verdunkelungen des rätselhaften Sterns KIC 8462852 haben weiteres Licht auf das seltsame Verhalten des einzigartigen Veränderlichen geworfen. Wie ein internationales Team um die Entdeckerin des Sternenrätsels, Tabetha Boyajian von der Louisiana State University, in den »Astrophysical Journal Letters« berichtet, verursacht kein undurchsichtiges Objekt die umstrittenen Helligkeitsschwankungen. Daten aus einer Serie von Helligkeitsschwankungen seit Mai 2017 zeigen, dass sich der Stern bei unterschiedlichen Wellenlängen nicht nur unterschiedlich stark verdunkelt – etwa als würde man KIC 8462852 kurzzeitig durch eine farbige Brille sehen –, sondern auch seine Polarisation ändert. Die Messungen bestätigen Analysen von Daten aus den Jahren 2015 und 2016; die wahrscheinlichste Ursache

sind wohl kurzlebige Staubwolken um den Stern herum.

Damit ist die unterhaltsamste Hypothese für das seltsame Verhalten von Tabbys Stern wohl aus dem Rennen: Demnach hätten gigantische Bauwerke einer außerirdischen Zivilisation sich in unregelmäßigen Abständen vor den Stern geschoben und so die extrem irregulären Helligkeitsschwankungen erzeugt. Solche undurchsichtigen Objekte allerdings würden alle Wellenlängen gleich stark abschwächen – die Absorption bei kürzeren Wellenlängen ist jedoch stärker, und die Polarisation des Lichts verändert sich. Dass Außerirdische eventuelle Raumstationen um KIC 8462852 aus bunten Glasbausteinen mit passenden optischen Eigenschaften konstruieren, halten Fachleute für unwahrscheinlich.

Der vermutliche Todesstoß für die Alienhypothese kommt von vier »Dips« – kurzen Helligkeitsabnahmen um bis zu drei Pro-

zent – im Verlauf des Jahres 2017. Die Arbeitsgruppe maß die Absorption im violetten, orangefarbenen und nahinfraroten Wellenlängenbereich sowie die wellenlängenabhängige Polarisation, die Hinweise auf die Partikelgröße gibt. Das Ergebnis, so die Arbeitsgruppe, gebe wichtige neue Hinweise auf den Ursprung des Phänomens. So deute die starke Abhängigkeit von der Wellenlänge auf kleine Staubteilchen mit weniger als einem Mikrometer Durchmesser hin, die zwar in der Nähe des Sterns entstanden, aber wegen des Strahlungsdrucks nicht in seiner Nähe bleiben können. Die Staubwolken sind demnach recht jung. Allerdings stehe dieses Ergebnis im Widerspruch zu Messungen an längerfristigen Helligkeitsschwankungen, so dass möglicherweise verschiedene Prozesse für das seltsame Verhalten des Sterns verantwortlich sind. ↗

(Spektrum.de, 04.01.2018)

# Großer Lauschangriff findet erst mal keine Aliens

von Jan Dönges

Die bislang größte Suche nach Radiosignalen Außerirdischer vermeldet nun erste (Nicht-)Ergebnisse. Allerdings gebe es einige lohnende Ziele für genauere Untersuchungen.

**K**eine Außerirdischen, nirgends. Zumindest nicht in den Daten, die die Initiative Breakthrough Listen im vergangenen Jahr mit Hilfe des Radioteleskops Green Bank gesammelt hat. Die Wissenschaftler hinter dem Projekt haben das Ziel, außerirdische Zivilisationen anhand eventueller Radioemissionen aufzuspüren. In den Daten des Teleskops haben sie darum mit statistischen Verfahren nach Auffälligkeiten gesucht. Leider fand sich bislang kein Signal, das einen künstlichen Ursprung nahelegte. Immerhin aber stießen sie auf elf Befunde, bei denen sich ein weiterer Blick lohnen könnte. Hier vermuten sie allerdings ebenfalls keine außer-

irdische Intelligenz dahinter. Die Aufzeichnungen könnten jedoch auf interessante astronomische Phänomene hinweisen.

Gelauscht wird mit diversen irdischen Teleskopen, darunter auch das Parkes-Radioteleskop in Australien und der Automated Planet Finder des Lick Observatory in Kalifornien. Insgesamt seien dabei schon mehrere Petabyte an Daten angefallen, heißt es in einer Mitteilung der Initiative. Die Projektmitglieder haben nun allerdings zunächst ausschließlich die Daten des L-Bands des Green-Bank-Teleskops veröffentlicht. So kann jeder, der möchte, die Aufzeichnungen selbst untersuchen. Auch ihre eigenen Suchalgorithmen haben die Forscher bereitgestellt. Eine Fachveröffent-



NRAO/AUI / GREEN BANK TELESCOPE 07 / CC BY 3.0 (CC BY)

lichung soll in Kürze erscheinen. Bei seiner Suche hat das Team um Andrew Siemion vom Berkeley SETI Research Center die Antenne auf insgesamt 692 Sterne gerichtet. Die Himmelskörper wurden jeweils dreimal für fünf Minuten anvisiert, wobei die Blöcke jedes Mal für fünf Minuten unterbrochen wurden. Größte Schwierigkeit bei der Suche ist es, im Fall eines auffälligen Befunds irdische Quellen als Auslöser auszuschließen.

Das maßgeblich vom Milliardär Juri Milner finanzierte Projekt hat eine Laufzeit von zehn Jahren und ein Budget von 100 Millionen US-Dollar.

(Spektrum.de, 26.04.2017)



SETI

# Aus für Außerirdische

von Lars Fischer

Lange Zeit galt das 1977 aufgezeichnete Wow!-Signal als bester Kandidat für einen Kontakt mit Außerirdischen. Nun jedoch steht fest: Der Strahlungspuls war natürlichen Ursprungs.

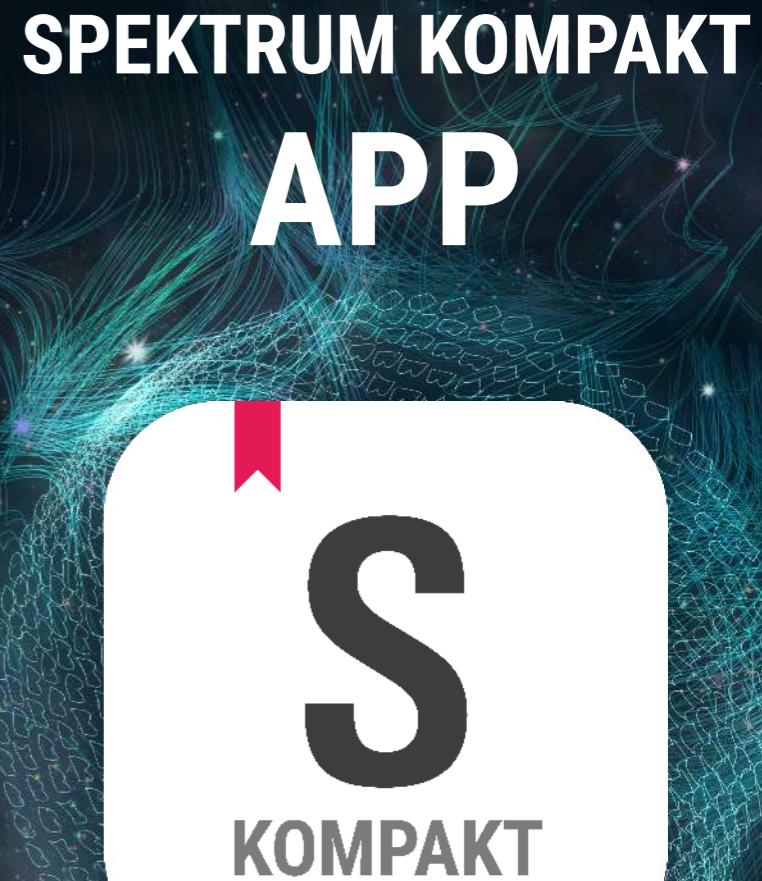
Die Wahrheit ist tatsächlich irgendwo da draußen – aber wie sich herausstellte, näher an der Erde als gedacht. 40 Jahre lang spekulierten Laien und Fachleute, ob das vom SETI-Programm entdeckte Wow!-Signal von einer außerirdischen Zivilisation stammte. Der einzigartige Radiopuls, den das Big Ear Radio Observatory in Ohio im August 1977 auffing, passte in das Schema einer interstellaren Botschaft, wie man sie bei SETI erwartete. Nun aber zeigt Antonio Paris vom Center for Planetary Science, dass der Puls wohl natürlichen Ursprungs ist: Wie er in einer Veröffentlichung im »Journal of the Washington Academy of Sciences« berichtet, sendet der kurzperiodische Komet 266P/Christensen exakt die gesuchte Radiostrahlung aus.

Das Wow!-Signal war ein einmaliges, starkes Signal bei 1420 Megahertz – entsprechend einer Emissionslinie des Wasserstoffs, die man wegen ihrer Wellenlänge auch als 21-Zentimeter-Linie bezeichnet. Diese Frequenz gilt innerhalb des Radiospektrums als recht ruhig, es gibt nicht viele Quellen. Deswegen spekulierte man bei der Einrichtung des SETI-Programms, dass

außerirdische Zivilisationen ihre Botschaften womöglich in diesem Frequenzfenster senden würden. Anfang 2016 schlugen Paris und sein Kollege Evan Davies jedoch eine natürliche Erklärung für das Wow!-Signal vor: Demnach seien gleich zwei Kometen zur fraglichen Zeit in der Nähe des Teleskop-Sichtfelds gewesen – sie hätten die verräterische Strahlung aussenden können.

Um diese These zu belegen, beobachtete Paris nun den Kometen 266P/Christensen – einen der beiden Hauptverdächtigen – sowie drei andere Kometen. Dabei detektierte er bei allen das Emissionssignal des Wasserstoffs und ist zu dem Schluss gekommen, dass das Wow!-Signal tatsächlich aus dieser Quelle stammte. Die Sonnenstrahlung setzt vermutlich Wasserstoff aus dem Eis des Kometen frei, der eine feine Gashülle um den Himmelskörper bildet. Auch in der Koma des Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko fand die Sonde Rosetta Wasserstoff. Noch nicht klar ist allerdings, weshalb das Wow!-Signal das einzige seiner Art blieb – Kometen und ihre Gas- hüllen sind im Sonnensystem vergleichsweise häufig. ↵

(Spektrum – Die Woche, 23/2017)



Lesen Sie Spektrum KOMPAKT optimiert für Smartphone und Tablet in unserer neuen App! Die ausgewählten Ausgaben erwerben Sie direkt im App Store oder Play Store.





PROXIMA CENTAURI

# Unser Nachbarstern würde Außerirdische grillen

von Robert Gast

Einst wurde er als Sensation gefeiert, nun macht sich Ernüchterung breit: Der Planet im Orbit des sonnennächsten Sterns Proxima Centauri gleicht womöglich einer sterilisierten Steinwüste.

A

us Sicht von Astronomen wird es immer unwahrscheinlicher, dass auf Proxima b, dem der Erde nächstgelegenen Exoplaneten, Leben existiert. Dabei wirkt die 4,2 Lichtjahre entfernte Welt auf den ersten Blick geradezu einladend: Der Planet ist womöglich kaum größer als unsere Heimat und umkreist seinen Mutterstern Proxima Centauri in einem Abstand, der moderate Temperaturen und damit flüssiges Wasser zulässt. Als entsprechend große Sensation wurde der Planet bei seiner Entdeckung im Jahr 2016 gefeiert.

Schon damals bemängelten Skeptiker, dass der Nachbarstern der Sonne zu einer völlig anderen Sternklasse gehört. Proxima Centauri ist ein Roter Zergstern und damit einerseits deutlich kühler und kleiner als die Feuerkugel vor unserer Haustür. Andererseits neigen Rote Zwerge zu enorm starken Strahlungsausbrüchen. In den Weiten des Alls gibt es durchaus Exemplare dieses Typs, die über lange Zeiträume halbwegs gleichmäßig strahlen, weshalb sich Optimisten weiterhin für außerirdisches Leben auf Proxima b starkmachten.

## Immer mehr gewaltige Strahlungsausbrüche

Nun jedoch wird deutlich, dass der Mutterstern des erdnächsten Exoplaneten noch viel launischer ist als gedacht. Anscheinend handelt es sich bei Proxima Centauri ihm um einen echten Feuerteufel, der seine Umgebung alle paar Monate mit sterilisierender Strahlung überzieht. Für dieses Szenario sprechen jedenfalls mehrere enorm starke Strahlungsausbrüche, die Astronomen 2016 und 2017 beobachtet haben: Bereits im Februar meldete ein Forscherteam um Meredith MacGregor von der Carnegie Institution for Science, dass das Submillimeter-Observatorium ALMA am 24. März 2017 ein solches Ereignis beobachtet habe. Damals spuckte der Zwerg binnen zehn Sekunden 1000-mal mehr kurzwellige Mikrowellenstrahlen aus als gewöhnlich – zu etwas Vergleichbarem ist unsere Sonne nicht fähig.

Und nun berichten Forscher um Ward S. Howard von der University of North Carolina von einer noch viel gewaltigeren Eruption, welche die Wissenschaftler mit Hilfe des Evryscope-Teleskops bereits im März 2016 beobachtet hatten: Für kurze Zeit vergrößerte sich Proxima Centauris Helligkeit

bei für das menschliche Auge sichtbaren Wellenlängen um das 68-Fache. Damit sei dieser »Superflare« zehnmal stärker als alle bisher beobachteten Ausbrüche von Proxima Centauri, berichtet das Team um Howard in einem noch nicht von unabhängigen Gutachtern geprüften Online-Aufsatz.

Demnach war der Ausbruch so gewaltig, dass man Proxima Centauri für etwa eine Minute sogar mit bloßem Auge sehen konnte – normalerweise ist der Stern viel zu blass dafür. Insgesamt haben die Evryscope-Astronomen in den vergangenen zwei Jahren 23 größere Eruptionen unseres Nachbarsterns beobachtet. Eine erdähnliche Atmosphäre werde durch die dabei freigesetzte Strahlung vermutlich in kurzer Zeit vernichtet, berichten die Wissenschaftler: Binnen fünf Jahren gingen 90 Prozent des Ozons verloren, nach einigen hunderttausend Jahren sei die gesamte Lufthülle verschwunden.

## Selbst strahlungsresistente Bakterien würden gegrillt

Und ohne diesen Schutzschild aus Gasmolekülen reiche bereits ein Superausbruch wie der vom März 2016, um selbst resistente Mikroben zu grillen: Das freigesetzte UV-

Licht überschritt die Strahlungstoleranz widerstandsfähiger Bakterien um das 100-Fache, haben die Wissenschaftler berechnet.

So müssen Exobiologen immer stärker ihre Fantasie bemühen, wenn sie an Leben auf Proxima b glauben wollen. Man könne sich durchaus eine weit ausgedehnte Atmosphäre vorstellen, die ein solches Bombardement überstehen würde, sagte etwa Caleb Scharf von der Columbia University dem »New Scientist«. Auch könne eine riesiger Ozean Lebewesen möglicherweise vor der tödlichen Strahlung schützen. Plausibler ist wohl, dass Proxima b einfach das ist, was Skeptiker von Anfang an vermuteten: Eine leblose Steinkugel, deren Oberfläche alle paar Monate von ihrem Stern verbrutzt wird. ↗

(Spektrum.de, 11.04.2018)

RELIKTE

# GIBT ES IM SONNENSYSTEM **SPUREN FRÜHERER ZIVILISATIONEN?**

von Jan Dönges



Warum in die Ferne schweifen? Auf die Suche nach Milliarden Jahre alten Alien-Relikten könne man auch im Sonnensystem gehen, schlägt nun der SETI-Forscher Jason Wright vor.

**D**er einzige Ort, von dem wir mit Gewissheit sagen können, dass er lebensfreundlich ist, liegt im Sonnensystem, und zwar genau unter Ihren Füßen. Darum ist die Wahrscheinlichkeit, dass hier auf der Erde lange Zeit vor der Menschheit schon einmal eine intelligente, technologisch begabte Zivilisation entstand, nicht viel geringer – und möglicherweise sogar höher – als die Wahrscheinlichkeit, dass eine solche Zivilisation in einem fernen Sonnensystem auftauchte. Diese Überlegung stellt der SETI-Forscher Jason Wright in einem Paper an, das zur Veröffentlichung im »International Journal of Astrobiology« angenommen wurde. Für den Astrophysiker von der Pennsylvania State University sollte dies Anlass genug sein, auch auf der Erde oder auf benachbarten Planeten und anderen Himmelskörpern nach den Re-

likten einer solchen Zivilisation Ausschau zu halten.

Wohlgemerkt geht es ihm darin vor allem um Zivilisationen, die im Sonnensystem entstanden sind – zum Beispiel vor Milliarden Jahren auf der Erde, etwa noch vor der kambrischen Explosion. Auf den geologisch nicht ganz so aktiven Himmelskörpern wie Mars, Venus oder den vielen Monden des Sonnensystems könnte man noch lange Zeit auch oberirdische Relikte einer intelligenten Spezies, sagen wir mal einen seltsamen Monolithen, erspähen. Auf der Erde wären solche Anzeichen nach einem derart langen Zeitraum allerdings verschwunden. Dass eine Spezies vor hunderten Millionen, wenn nicht gar Milliarden Jahren den Planeten genauso umgestaltete, wie es heute die Menschen tun (Stichwort: Anthropozän), ließe sich nur mehr in einem unerwarteten Isotopenverhältnis oder in den allerältesten Gesteins-

formationen nachweisen. »Oder es gäbe davon überhaupt nichts mehr zu finden«, meint Wright.

Wie Erfolg versprechend eine Suche ist, steht freilich dahin. Im Allgemeinen wird angenommen, dass der Entstehung einer intelligenten Zivilisation eine länger dauernde biologische Evolution vorausgeht. Eine hoch entwickelte Lebensform, die vor Milliarden von Jahren entstand, müsste diesen Prozess irgendwie abgekürzt haben – und das unter den brutalen Bedingungen in der hochaktiven Jugendphase des Sonnensystems. Die Wahrscheinlichkeit, dass gerade unter diesen Umständen eine Spezies im Schnelldurchgang Intelligenz evolviert, ist unserer Schätzung nach höher oder womöglich auch geringer als die Wahrscheinlichkeit, dass es so lange dauerte wie bei *Homo sapiens*. ↗

(Spektrum – Die Woche, 18/2017)

GEDANKENEXPERIMENT

# Gab es Zivilisationen vor der Menschheit?

von Lars Fischer

Forscher präsentieren eine bizarr klingende Theorie – an die sie selbst nicht glauben. Die Überlegungen haben allerdings einen durchaus aktuellen Hintergrund.



Dinosaurier auf zwei Beinen, die eine globale technische Zivilisation errichteten, einen geologischen Wimpernschlag lang den Planeten dominierten und dann wieder verschwanden – würden wir von ihnen wissen? Und wie könnten wir sie aufspüren? Das sei überraschend schwer zu beantworten, schreiben nun Gavin A. Schmidt, Direktor des Goddard Institute for Space Studies der NASA, und Adam Frank von der University of Rochester. In ihrer neuen Publikation, die jetzt beim »International Journal of Astrobiology« zur Veröffentlichung angenommen wurde, schließen sie, dass die Erdgeschichte selbst eine Zivilisation wie die Menschheit verbergen kann. Wenn man nicht nach ihr sucht, so ein Fazit der beiden Wissenschaftler, würde man die Beweise für ihre Existenz womöglich übersehen.

»Das ist ein faszinierender und wichtiger Artikel«, sagt der Paläobiologe Jan Zalasiewicz von der University of Leicester, der auch an der Arbeitsgruppe zur Definition des Anthropozäns beteiligt ist. »Ich hoffe, dass er weitere Arbeiten an solchen Fragen anstößt.« Hintergrund der Spekulation über Vorläufer der Menschheit ist ein Thema, das



VICINT / GETTY IMAGES / ISTOCK

aktueller kaum sein könnte. Ob es um den Schutz von Ökosystemen, Modelle des zukünftigen Weltklimas oder auch um die Suche nach Zivilisationen im fernen Weltall geht – all diese Themen lassen sich auf die von Schmidt und Frank gestellte Frage zurückführen: Wie verändert eine globale technische Zivilisation den Planeten?

### Um des Arguments willen

So betont Frank in einem Beitrag für »The Atlantic«, dass die Autoren nicht daran glauben, es hätte eine solche Zivilisation wirklich gegeben. Das Gedankenexperiment sei eine »astrobiologische Perspektive« auf die Menschheit und ihre Spuren in den Gesteinen. Die nämlich seien langfris-

tig gesehen vermutlich sehr zart. Darunter wären zum Beispiel deutlich mehr Sedimentablagerungen durch Erosion an Land sowie Häufungen seltener technischer Metalle und radioaktiver Elemente in den Ablagerungen; aber vor allem die Veränderungen in den Kohlenstoff-, Stickstoff- und Energiekreisläufen, die klare Signale in Form drastischer Veränderungen in Klima und Ozean hinterlassen können.

Schmidt und Frank listen eine Reihe von schnellen und katastrophalen erdgeschichtlichen Ereignissen auf, deren Auswirkungen in uralten Gesteinen womöglich Ähnlichkeiten mit denen der Menschheit haben. Darunter ist eine abrupte Hitzeperiode vor 55 Millionen Jahren, die durch enorme

Mengen Kohlendioxid ausgelöst wurde und die Fachleute als mögliches Modell für den menschengemachten Klimawandel diskutieren. Es sei, argumentieren die Autoren, extrem schwierig, die Effekte einer globalen Zivilisation von natürlichen Ursachen solcher Ereignisse zu trennen.

Tatsächlich als künstlich erkennbare Artefakte oder gar fossile Überreste einer Millionen von Jahren alten Zivilisation zu finden, halten sie für extrem unwahrscheinlich – dabei verweisen sie auf den Mechanismus von Antikythera. Dieses Artefakt sei das einzige verbliebene seiner Art, obwohl es nur wenige tausend Jahre alt ist. Wie sollen solche Konstruktionen noch einmal die zig Millionen Jahre überstehen, die uns von hypothetischen nichtmenschlichen Zivilisationen trennen?

## Wie man dem Vergessen anheimfällt

Dieser Einschätzung widerspricht Zalasiewicz wiederum. »Das Paper beschreibt chemische Signale gut, doch es vernachlässigt die Möglichkeit, dass es sehr verbreitete Technofossilien in terrestrischen und küstennahen Schichten geben könnte.« So könne man damit rechnen, dass zum Beispiel mineralische Baumaterialien wie Zie-

gel, Beton oder Glas über Jahrtausende zwar verändert, aber immer noch eindeutig als künstlich auffallen würden. »Ein Geologe, egal welcher Spezies, würde sie sehr schnell als etwas Außergewöhnliches erkennen.« Eine globale Zivilisation würde außerdem enorme Mengen solcher Materialien erzeugen, gibt er zu bedenken.

Sicher ist das jedoch nicht. Ob eine technische Zivilisation nach Jahrtausenden noch auffällt, hängt auch davon ab, wie verschwenderisch sie mit ihren Ressourcen umgegangen ist. Die Menschheit dürfte mit ihrem enormen Energieverbrauch, den drastischen Veränderungen von Atmosphäre, Ozeanen und Biosphäre und nicht zuletzt den von ihr erzeugten 30 Billionen Tonnen Gebäuden und Technik noch sehr lange die Erde prägen. Womöglich allerdings würden andere Zivilisationen etwas sparsamer zu Werke gehen oder gar völlig andere Energiequellen und Materialien verwenden. Eine solche Kultur mit ihren subtileren Signalen wäre, wie Frank und Schmidt zeigen, sehr leicht zu übersehen – besonders, wenn man nicht gezielt nach ihr sucht. ↪

(Spektrum – Die Woche, 16/2018)

Der ganze Kosmos:  
Auf Ihrem Bildschirm.



DAS STERNE  
UND WELTRAUM  
**DIGITALABO**

Erfahren Sie alles über Astronomie und Raumfahrt – direkt aus den Forschungslaboren der Welt. Jahrespreis (12 x im Jahr) € 60,–; ermäßigt (auf Nachweis) € 48,–

**HIER ABONNIEREN**

A large, bright yellow and orange star with a solar flare, set against a dark red background with two smaller red planets.

WELTRAUMTELESKOP TESS

# Der neue Star der Astronomie

von Joshua N. Winn

Das Weltraumteleskop TESS könnte besonders exotische Welten aufspüren – und eine neue Ära bei der Suche nach außerirdischem Leben einläuten.

**A**m 21. August 2017 habe ich gemeinsam mit meiner Familie und zeitgleich mit Millionen anderen die totale Sonnenfinsternis verfolgt, die an diesem Tag entlang eines schmalen Landstreifens quer durch die USA zu beobachten war. Das unheimliche Zwielicht und der Anblick einer gleißenden Korona über der geschwärzten Sonne haben vielleicht sogar einige junge Menschen zu einer Karriere in der Astronomie inspiriert. Schließlich regen Finsternisse den Forscherdrang der Menschen seit Jahrhunderten an. Auch meine eigene Arbeit hat mit Verdunklungen von Sternen zu tun, allerdings solchen eines ganz anderen Typs: Ich erforsche den »Transit« von Exoplaneten. Dabei handelt es sich um eine kurzzeitige und selbst mit Teleskopen nur andeutungsweise wahrnehmbare Abschwächung des Lichts eines Sterns, vor dem gerade ein Planet vorbeizieht.

Die erste Erscheinung dieser Art haben Astronomen 1999 aufgezeichnet. Eine De-

---

**Joshua N. Winn** untersucht an der US-amerikanischen Princeton University die Bildung und Entwicklung von Exoplaneten. Der Astrophysiker war an der Kepler-Mission beteiligt und gehört zum Team des Weltraumteleskops TESS.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)



### WELTRAUMTELESKOP TESS

**Statt nur ein Teleskop bringt TESS vier kleinere mit. Damit kann die Weltraumsonde größere Bereiche des Himmels nach Exoplaneten absuchen.**

kade später lag die Zahl der aufgespürten Transits schon bei mehr als 100. Inzwischen sind wir bei mehr als 3500 bekannten Exoplaneten angelangt. Das liegt vor allem an der Kepler-Mission der US-Raumfahrtbehörde NASA, die jedoch kurz vor ihrem Ende steht. Und obwohl die Transitmethode aktuell die ertragreichste Art ist, neue Welten ausfindig zu machen, haben Astronomen auch mit anderen Strategien mehr als 700 Exoplaneten entdeckt. Die Vielfalt der Himmelskörper übersteigt alles, was die Modelle der Planetenentstehung vorhergesagt haben – und wir kratzen vermutlich gerade einmal an der Oberfläche dessen, was da draußen noch einer Entdeckung harrt.

## Keplers Erbe

Deshalb entsenden 2018 sowohl die NASA als auch die Europäische Raumfahrtagentur ESA neue Teleskope ins All. Den Anfang macht das Weltraumteleskop TESS, das nach ursprünglicher Planung am 17. April um 0.32 Uhr Mitteleuropäischer Zeit an Bord einer »Falcon 9«-Rakete starten sollte. Für die Zukunft hat die ESA dann unter anderem PLATO in Planung, ein weiteres, hoch spezialisiertes Weltraumteleskop, das 2026 seinen Dienst aufnehmen wird.

Einen Großteil unseres Wissens über Exoplaneten haben wir Kepler zu verdanken. Es hat seit seinem Start 2009 die Helligkeit von rund 150 000 Sternen in einem kleinen Ausschnitt des Himmels im Sternbild Schwan gemessen. Nach dem Ausfall von zwei Reaktionsrädern, die das Teleskop für seine präzise Ausrichtung benötigte, änderten die Missionsplaner 2013 die Beobachtungsstrategie. Selbst unter den verschlechterten Bedingungen gelang die Entdeckung weiterer Exoplaneten.

Dabei sind Bedeckungen eines Sterns durch Planeten statistisch gesehen eher selten. Nur wenige Prozent der anvisierten Sterne zeigen solchen verräterischen periodischen Einbrüche ihrer Helligkeit. Jeder weist auf einen Planeten hin, dessen Umlaufbahn von allen möglichen Ausrichtungen zufällig gerade unsere Sichtlinie zu dem Stern kreuzt. Das Ausmaß, um das die scheinbare Leuchtkraft sinkt, verrät uns etwas über den Durchmesser des Planeten im Verhältnis zu dem des Sterns. Darum sind größere Himmelskörper auch viel einfacher auszumachen. Jupiter beispielsweise würde aus der Entfernung betrachtet die Sonne um etwa ein Prozent verdunkeln, während ihre Strahlung bei einem Transit

Die NASA-Mission ist ein wichtiger Zwischenschritt bei der langen Suche nach Leben auf anderen Planeten

der Erde lediglich um 0,01 Prozent schwächer wirken würde.

## Geschwister von Erde oder Neptun

Die Mission Kepler hat etwa 5000 Kandidaten geliefert, von denen sich im Rahmen genauerer Untersuchungen mehr als 3500 tatsächlich als Exoplaneten herausgestellt haben. Die meisten davon fallen in eine von zwei Kategorien: Entweder sind sie im Durchmesser vergleichbar mit der Erde beziehungsweise etwas größer (»Supererden«), oder aber sie sind eine geringfügig kleinere Ausgabe des Gasplaneten Neptun (»Mini-Neptune«).

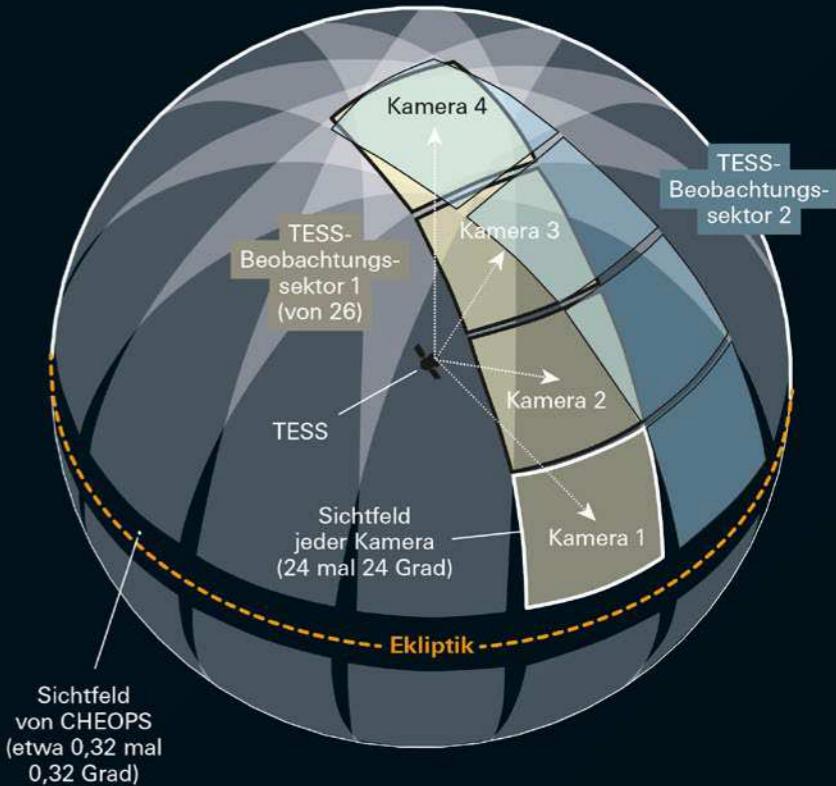
Die von Kepler gefundenen Systeme enthalten oft nur einen bekannten Planeten, allerdings gibt es auch hunderte mit mehreren. Diese Verteilung dürfte die natürlichen Verhältnisse nur zum Teil widerspiegeln. Das liegt auch daran, dass es mit der Transitmethode leichter ist, besonders große Planeten aufzuspüren, die nah um ihren Stern kreisen. Unter den Funden gab es einige Überraschungen. Meiner Einschätzung nach dürfte die weitreichendste der Hinweis auf die Existenz von Miniaturausgaben unseres Sonnensystems sein.

## Rasterfahndung nach Planeten

Nach dem Ende der Kepler-Mission werden zwei neue Raumsonden die Aufgabe übernehmen, unbekannte Exoplaneten aufzuspüren: der Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) und der Characterising Exoplanet Satellite (CHEOPS).

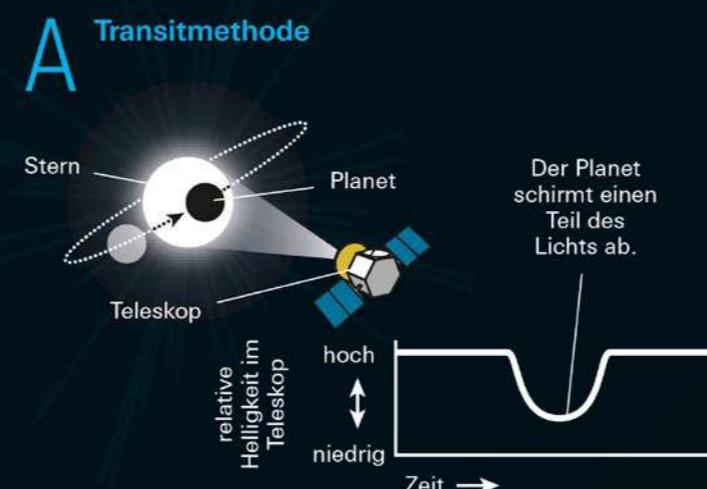
### Beobachtungsplan

Während Kepler nur einen kleinen Bereich des Himmels anvisiert hatte, wird TESS mit vier Einzelteleskopen ein Sichtfeld von 24 mal 96 Grad abdecken. Um insgesamt etwa 90 Prozent der Himmelssphäre zu durchmustern, wird während der geplanten Dauer der Mission jeden Monat einer von insgesamt 26 teilweise überlappenden Sektoren beobachtet. Im Gegensatz dazu wird CHEOPS einzelne Sterne betrachten, bei denen Astronomen bereits Hinweise auf Planeten haben.



### Wie Forscher fündig werden

Die Weltraumteleskope Kepler, TESS und CHEOPS sind darauf ausgelegt, mit der Transitmethode (A) Planeten zu entdecken: Ziehen diese aus Sicht der Erde vor ihrem Stern vorbei, verdunkeln sie ihn zum Teil. Die Abschwächung des Lichts liefert Astronomen Hinweise auf die Größe des Planeten. Mit Hilfe des Dopplereffekts (B) verraten sich Himmelskörper, selbst wenn sie ihren Stern nicht verdunkeln. Infolge der wechselseitigen Anziehung bewegt sich der Stern während des Umlaufs hin und her, wodurch sich sein Licht regelmäßig zu roten und blauen Wellenlängen verschiebt.



## Unser Sonnensystem im Miniaturformat

Hier drängen sich um einen Stern bis zu sechs Planeten in engen Umlaufbahnen, die weniger als dem Abstand zwischen Merkur und Sonne entsprechen. Solche Systeme sind so wichtig, weil sie häufig vorkommen: Pickt man sich irgendeinen sonnenähnlichen Stern am Nachthimmel heraus, beträgt die Wahrscheinlichkeit etwa 50 Prozent, dass er mindestens einen Planeten besitzt, der größer ist als die Erde und sich in einem Orbit kleiner als der des Merkurs befindet. Diese Erkenntnis kam vollkommen unverhofft. Gängige Modelle hatten sogar prognostiziert, solche Konstellationen seien ausgesprochen selten.

Der Standardtheorie der Planetenentstehung fehlen offenbar einige Grundzutaten. Einige der seltenen und exotischen mit Kepler gefundenen Planeten waren vorhergesagt worden – von Sciencefiction-Autoren. Kepler-16b besitzt zwei Sonnen, ähnlich wie Luke Skywalker's Heimatplanet Tatooine aus dem Star-Wars-Universum. Beim System Kepler-36 schließlich herrscht pures Chaos, da sich zwei Planeten praktisch eine Umlaufbahn teilen und auf völlig unvorhersehbare Weise Kepler vor allem die alte Frage beantworten, wie

typisch – oder selten – Planeten sind, die unserer Erde ähneln. Damit sind solche Objekte gemeint, die etwa die gleiche Größe und Masse besitzen und in einem Abstand um ihren Stern kreisen, der flüssiges Wasser auf der Oberfläche ermöglicht.

## Ein Dutzend Planeten in der habitablen Zone

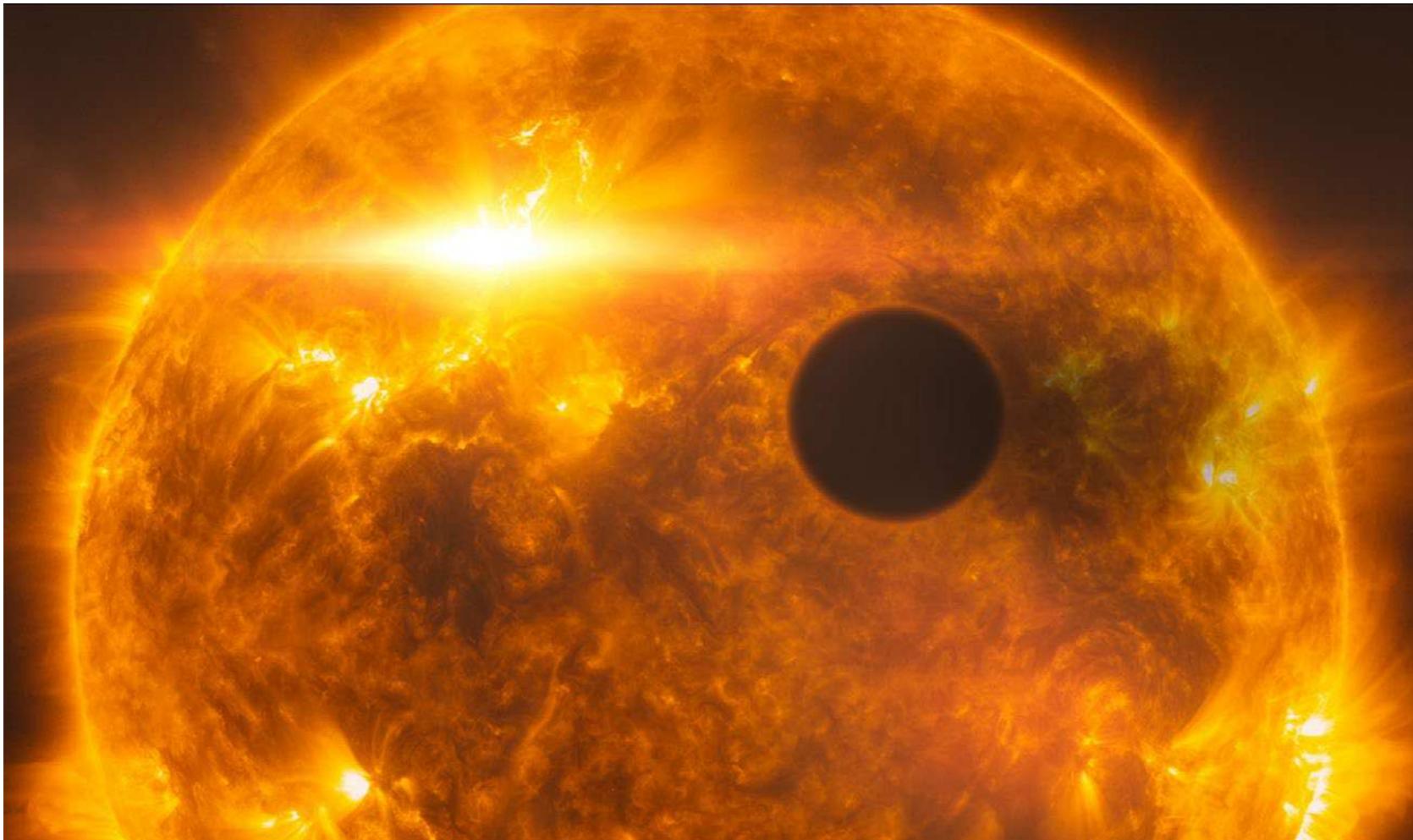
Kepler hat etwa ein Dutzend felsiger Planeten in dieser »habitablen Zone« gefunden. Alles, was wir nun zur Beantwortung der Frage tun müssen, ist eine simple Hochrechnung von den mit Kepler untersuchten Sternen – oder? Leider ist das nicht so einfach. Es ist alles andere als offensichtlich, wie viele der beobachteten Sterne so klein, hell und stabil sind, dass wir überhaupt eine Chance haben, erdähnliche Planeten zu entdecken. Um die Zentralgestirne zu verstehen, müssen wir noch mehr Arbeit in die Datenanalyse stecken.

Trotz aller berechtigten Lorbeeren war die Kepler-Mission einer großen Einschränkung unterworfen: Das Teleskop hatte überwiegend einen festen, sehr kleinen Ausschnitt im Blick, nämlich bloß 2,5 Promille des Himmels. Nur durch viele sehr weit entfernte Sterne ließ sich in diesem

Bereich eine ausreichend große Stichprobe sammeln. Ein typischer mit Kepler untersuchter Stern ist Tausende von Lichtjahren entfernt.

Derart unvorstellbar weitab liegende Ziele taugen für fantasievolle Geschichten bei öffentlichen Vorträgen, aber rein praktisch gesehen sind sie schlechte Untersuchungsobjekte. Sie leuchten von uns aus betrachtet nur schwach, was auf Kosten der Messgenauigkeit geht. Einige Parameter können wir so überhaupt nicht bestimmen, beispielsweise die Masse vieler der Planeten. Denn das Signal vom Transit liefert lediglich Informationen über den Durchmesser, doch keine über die Masse. Einzig beide Werte zusammen verraten, ob wir es mit einem dichten, felsigen Himmelskörper wie der Erde zu tun haben oder mit einem Gasriesen.

Üblicherweise bestimmen Astronomen die Masse eines Planeten, indem sie messen, wie stark sein Gravitationsfeld den Stern beschleunigt. Dazu nutzen sie den Dopplereffekt, der die Wellenlängen des ausgesandten Lichts je nach Bewegungsrichtung staucht oder streckt. So lassen sich übrigens auch Planeten finden, die keine Transits vollführen, also ihren Stern nicht



in der Ebene unserer Blickrichtung umkreisen. Diese Methode erfordert aber höchst präzise Spektroskopie. Dabei wird das Sternenlicht regenbogenartig aufgefächert und bei mindestens 50 000 einzelnen Wellenlängen untersucht. Die Strahlung schwach leuchtender Sterne lässt sich nicht derart fein in ihre Bestandteile zerlegen.

### Was TESS von Kepler unterscheidet

Diese Beschränkungen der Kepler-Mission will die NASA mit ihrem neuesten Plane-

tenjäger TESS umgehen, dem Transiting Survey Satellite. An Bord des Satelliten befinden sich vier Zehn-Zentimeter-Teleskope. Das entspricht jeweils nur einem Zehntel von Keplers Spiegeldurchmesser und erscheint insofern seltsam, schließlich sind wir von astronomischen Instrumenten eine Entwicklung hin zu immer größeren Geräten gewohnt. Ein kleineres Teleskop kann allerdings auch Vorteile haben, denn es ermöglicht ein breiteres Sichtfeld. So blickt jede Kamera von TESS auf fast sechs-

### RIESENPLANET

**Transitbeobachtungen des großen Gasplaneten HD 189733 b vor seinem nur 63 Lichtjahre von uns entfernten Stern (hier illustriert) liefern Details über die Planetenatmosphäre.**

mal so viel Raumfläche wie Kepler; zudem wird sich TESS drehen und in verschiedenen Himmelsabschnitten nach Planeten suchen. Insgesamt dürfte TESS vor allem wesentlich mehr helle Sterne beobachten als die wenigen, die in Keplers eng begrenztem Sichtfeld lagen.

Nach Start am 18. April wird TESS zwei Jahre lang etwa 90 Prozent des Himmels durchmustern. Dazu wird dieser in 26 teilweise überlappende Bereiche aufgeteilt, die jeweils rund einen Monat im Blickfeld

liegen. Ähnlich wie bei Kepler erwarten wir die Entdeckung Tausender neuer Exoplaneten, jedoch werden sie Sterne umkreisen, die zirka 30-mal so hell sind. Das könnte sich als Segen für Nachfolgeuntersuchungen mit erdgebundenen Teleskopen erweisen – im Vergleich zu den Kampagnen bei Kepler-Planeten dürfte es wirken, als wären die Geräte plötzlich um den Faktor 30 leistungsfähiger.

### Nach TESS kommt CHEOPS

Kurz nach TESS steht außerdem eine europäische Mission in den Startlöchern: Der Characterising Exoplanet Satellite (CHEOPS) soll Ende 2018 abheben. Er ist mit einem einzelnen, 32 Zentimeter großen Teleskop ausgestattet. CHEOPS hat ein anderes Missionsprofil als TESS, und beide ergänzen sich hervorragend. Während TESS den Himmel systematisch nach einem vorgegebenen Schema durchforstet, wird CHEOPS bestimmte Sterne genauer untersuchen, bei denen es bereits erste Anzeichen für Planetensysteme gibt.

Beispielsweise könnten in den Daten von TESS interessante, aber statistisch betrachtet uneindeutige Hinweise auf mögliche Himmelskörper auftauchen. Dann

würde ich oder jemand anderes aus dem TESS-Team zum sprichwörtlichen heißen Draht greifen, der uns mit den Kollegen von CHEOPS verbindet, und fragen, ob sie genauer hinsehen möchten. Bei nahen Sternen wie Ross 128 und Proxima Centauri, wo Forscher dank der erwähnten Methode der Dopplerspektroskopie schon Beweise für Planeten haben, könnte CHEOPS prüfen, ob diese oder etwaige weitere Himmelskörper ihren Stern bedecken.

Hier ist allerdings eine Menge Glück nötig, denn rein rechnerisch ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass wir gerade zufällig aus der richtigen Richtung auf die Sterne blicken. Im Fall von Proxima Centauri beträgt die Chance, Planeten davor herziehen zu sehen, gerade einmal 1,4 Prozent. Aber für den Einsatz wertvoller Beobachtungszeit winkt ein hoher möglicher Gewinn – wir können auf die Weise enorm viel über einen Planeten lernen.

### Auch TESS ist nicht perfekt

Die neuen Werkzeuge haben auch ihre Schattenseiten. Die Experten möchten eigentlich verfolgen, wie sich die kurzzeitige Leuchtkraftabnahme eines Sterns einmal oder idealerweise mehrmals wiederholt. So

Astronomen bezeichnen unsere Sonne gern als typischen Stern. Das ist ein wenig geflunkert

gehen sie sicher, dass der Effekt von einem Planeten verursacht wurde und nicht beispielsweise von einem Instrumentenfehler. Jedoch liegen die meisten der von TESS untersuchten Sterne nur einen Monat im Sichtbereich der Kamera. Das reicht längst nicht, um ein Objekt wie die Erde zu finden, die bekanntlich ein Jahr für einen Umlauf braucht. Bloß ein paar Prozent des Himmels werden in überlappenden Abschnitten liegen und bis zu einem Jahr im Blick sein. Selbst das kann mit Keplers vierjähriger Beobachtungsphase nicht mithalten.

Daher werden wir mit TESS vor allem Planeten entdecken, die ihren Stern sehr schnell und eng innerhalb weniger Wochen umrunden. Das ist nicht ideal, war aber der Kompromiss, den wir eingehen mussten, um im Budget von 228 Millionen Dollar zu bleiben. Diese Zugeständnisse erschienen uns akzeptabel, da wir von Kepler bereits wussten, dass in diesen kurzperiodischen Umlaufbahnen vielfältige Welten existieren: Lavakugeln, poröse Objekte, chaotische Systeme und sogar Körper, die gerade auseinanderbrechen. Mit TESS werden wir die uns am nächsten gelegenen exotischen Planeten finden. Auf einen wirklich erdähnlichen Planeten um einen

Stern wie die Sonne werden wir noch warten müssen.

### **Ein wichtiger Zwischenschritt**

Die NASA-Mission ist dennoch ein wichtiger Zwischenschritt bei der langen Suche nach Leben auf anderen Planeten. Wir schätzen, dass TESS ähnlich viele Planeten in der habitablen Zone finden wird wie Kepler, also etwa ein Dutzend. Der Trick: Wir dürfen uns nicht auf sonnenähnliche Sterne versteifen. Astronomen bezeichnen unsere Sonne gern als typischen Stern, der sich von vielen hundert Milliarden weiteren in der Milchstraße nicht groß unterscheidet. Das ist ein wenig geflunkert. Die meisten Sterne sind so genannte Rote Zwerge: kältere, nicht so leuchtstarke Exemplare mit weniger als der halben Masse unserer in dieser Hinsicht überdurchschnittlichen Sonne. Ein Roter Zwerg wirkte neben ihr wie eine Kerze neben einem Scheinwerfer.

Entsprechend näher muss man an das Licht herantreten, um sich daran zu wärmen. So liegt die habitable Zone eines Roten Zwergs in einem Bereich, in dem die Umlaufdauern kurz sind. Bei einem Roten Zwerg mit einem Fünftel der Sonnenmasse würden solche Planeten gerade einmal

wenige Wochen benötigen. Das liegt genau im Beuteschema von TESS. Kepler hat ein paar tausend Rote Zwerge beobachtet, und seinen Daten zufolge scharen sich um diesen Typ Stern sogar noch mehr Planeten als um solche, die unserer Sonne ähneln.

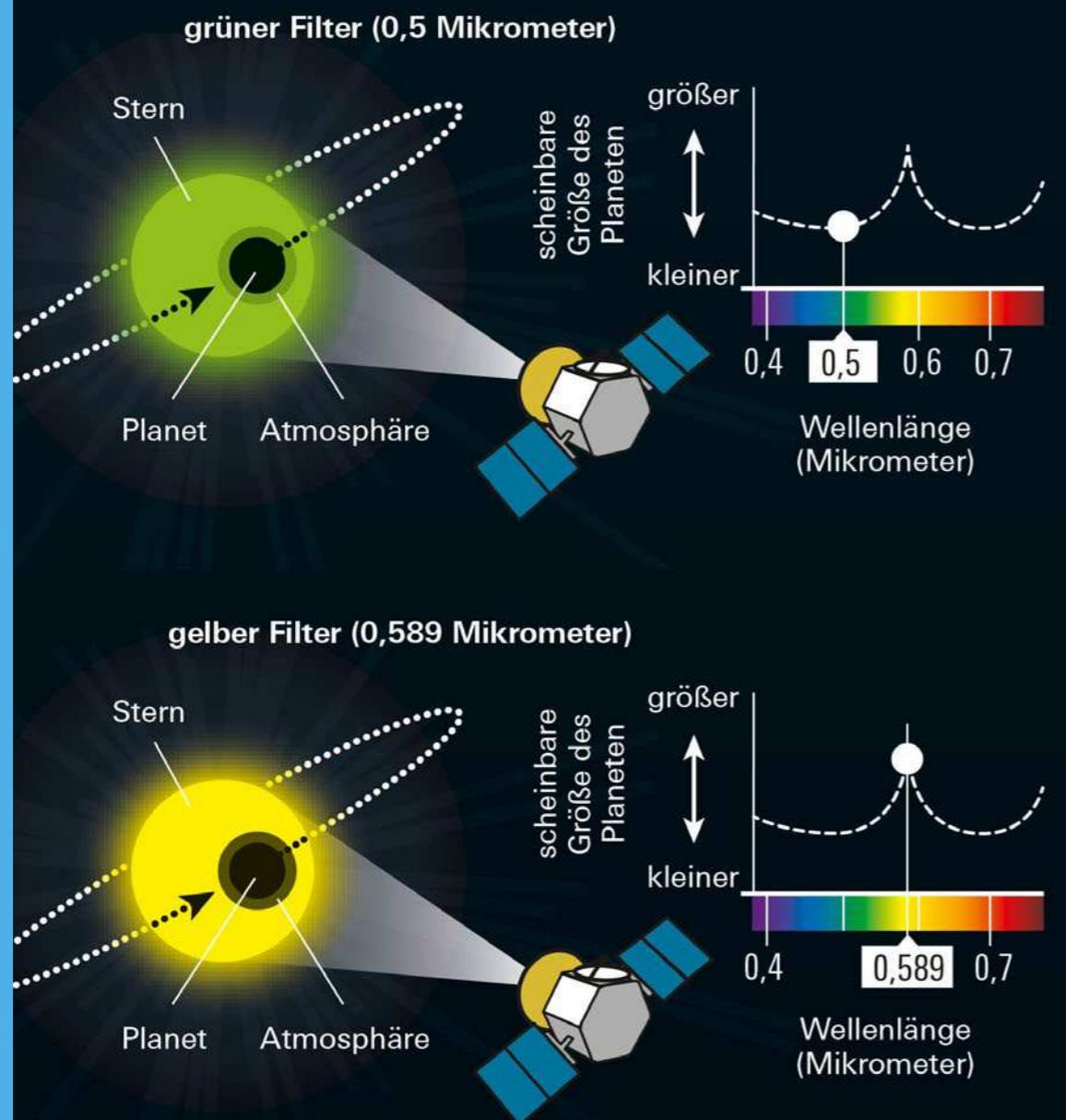
Unter den Hunderttausenden von Sternen, die TESS anvisieren wird, sind rund 50 000 Rote Zwerge. Ihre geringe Leuchtkraft machen sie durch kleine Durchmesser mehr als wieder wett, denn dadurch schirmen umlaufende Planeten einen größeren Teil der strahlenden Scheibe ab. Das erzeugt einen deutlicher wahrnehmbaren Helligkeitseinbruch. Theoretisch lässt sich beispielsweise ein Planet genauso gut detektieren, wenn der Stern zwar 16-mal schwächer leuchtet, aber nur halb so groß ist. Tatsächlich sind Planeten vor einem Roten Zwerg so klar zu erkennen, dass dafür nicht einmal ein Weltraumteleskop nötig ist.

### **Suche nach außerirdischem Leben**

Deswegen laufen bereits mehrere Projekte an erdgebundenen Teleskopen, die sich der Jagd auf Planeten um Rote Zwerge verschrieben haben. Wegen der geringen Helligkeit der Sterne kommen dafür nur leistungsfähige Observatorien in Frage, die

# Trickreich mit Transits Atmosphären analysieren

Exoplaneten geben beim Vorbeiziehen vor ihrem Stern manchmal nicht bloß ihre Anwesenheit preis, sondern auch die Zusammensetzung ihrer Gashülle. Ein Teil des Lichts durchdringt diese, wobei jedes Atom und jedes Molekül charakteristische Wellenlängen absorbiert. Astronomen können mit Farbfiltern die entsprechenden Wellenlängen identifizieren: In diesen Bereichen des Spektrums erscheint der Planet größer, weil die Atmosphäre das Licht blockiert.



viel Licht einfangen, jedoch immer nur ein einzelnes Objekt ins Visier nehmen können. Das macht die Angelegenheit langwierig und wenig effizient: Nach einem Jahrzehnt derartiger Suchkampagnen wurden bisher lediglich drei Planetensysteme gefunden. Dafür waren diese Entdeckungen sensationell und haben insbesondere 2017 im Fall von TRAPPIST-1 für Meldungen auf Titelseiten von Zeitungen gesorgt. Das Miniatursystem besteht aus sieben etwa erdgroßen Himmelskörpern im Orbit um ein sehr massearmes Objekt, das gerade noch als Stern durchgeht. Mindestens zwei der Planeten kreisen in der habitablen Zone.

Wir werden mit Hilfe aller Missionen und Nachfolgestudien in absehbarer Zeit Tausende von Planeten identifiziert und näher untersucht haben, viel über Planetenbildung gelernt und mit etwas Glück eine wachsende Sammlung von Himmelskörpern anlegen, die etwa erdgroß und potenziell lebensfreundlich sind. Und dann? Wie können wir den nächsten Schritt gehen und herausfinden, ob diese Planeten tatsächlich belebt sind?

Ein seit den 1950er Jahren diskutierter Ansatz besteht darin, Radioteleskope auf

den betreffenden Stern auszurichten und auf die Signale einer intelligenten Alien-Zivilisation zu hoffen. Das ist zwar immerhin ein gut durchführbarer Plan, aber über die Erfolgsaussichten lässt sich nichts sagen. Eine andere Strategie setzt auf die Analyse der Atmosphäre der Exoplaneten und die Suche nach Anzeichen für Leben. Dabei nutzen die Astronomen den Transit für einen Trick: Die äußeren Schichten der Atmosphäre lassen einen Teil des Sternenlichts hindurch, das wir daraufhin mit unseren Teleskopen auffangen und spektral analysieren können. Jedes Atom oder Molekül absorbiert auf charakteristische Weise Licht bestimmter Wellenlängen. Wenn man nun das Spektrum des Sterns vor, während und nach einem Transit genügend präzise aufzeichnet und auswertet, kann man die Unterschiede zum unveränderten Sternenlicht berechnen.

## Wo gibt es überall Sauerstoff?

Bislang haben Astronomen das bei Planeten von der Größe Jupiters und sogar bei einigen vom Format Neptuns und des Uranus geschafft. Dabei fanden sie Moleküle wie Methan, Kohlenmonoxid und Wasser. Bei Himmelskörpern mit dem

Durchmesser der Erde ist das noch nie gelungen, weil die wenigen bekannten entsprechenden Objekte um Sterne kreisen, die zu weit entfernt und zu leuchtschwach sind, um ein ausreichend starkes Signal zu liefern. Sollten wir bei einem solchen Planeten jemals Sauerstoff finden, ließe das sicher den Adrenalinspiegel vieler Forscher in die Höhe schießen. Sauerstoff gilt als starker Hinweis auf biologische Aktivitäten – verschwände plötzlich alles Leben auf der Erde, würde ihre Gesteinskruste den Sauerstoff innerhalb weniger Millionen Jahre in Form von Oxiden an sich binden.

Insofern arbeiten TESS und CHEOPS der nächsten Generation von Weltraumteleskopen zu, allen voran dem James Webb Space Telescope, das nach aktuellem Plan 2021 starten soll. Es wird das mit Abstand leistungsfähigste Instrument für die Spektroskopie bei Transits sein. Aber da seine Lebensdauer wegen des begrenzten Treibstoffvorrats nur zwischen fünf und zehn Jahren betragen wird, ist Eile auf der Suche nach den besten und hellsten Zielobjekten geboten. Zudem ist die verfügbare Beobachtungszeit des Teleskops hart umkämpft.

Deswegen haben sich Exoplanetenforscher zusammengetan und spezialisierte Geräte entworfen, die nichts anderes als Transitspektroskopie betreiben sollen. So wohl im Akronym der NASA-Mission FINESSE als auch im Namen ihres ESA-Pendants ARIEL steckt ein »I« für Infrarotstrahlung, da sich Moleküle wie Wasser und Kohlendioxid in diesem Wellenlängenbereich am besten aufspüren lassen.

## Europa plant ein Super-TESS

Noch weiter in die Zukunft erstrecken sich die Pläne für das europäische Projekt PLATO. Die Raumsonde könnte 2026 starten und ist gewissermaßen ein Super-TESS mit 24 statt vier Einzelteleskopen. PLATO soll nicht nur mit größerer Empfindlichkeit und über einen längeren Zeitraum nach Planeten suchen als seine Vorgänger, sondern wird darüber hinaus so gut aufgelöste Daten liefern, dass es möglich wird, Schwingungen innerhalb der Sterne selbst zu erkennen. Denn Sterne werden immer wieder durch Beben und Stoßwellen infolge der im Kern ablaufenden Fusionsprozesse erschüttert.

Die Untersuchung dieses Phänomens wird Asteroseismologie genannt. Sie liefert

Details über die innere Struktur und somit über wichtige Parameter des Sterns, etwa dessen Alter. Das wiederum erlaubt uns, verschiedene Exemplare auf einer Zeitskala einzuordnen – obwohl wir einzelne von ihnen, gemessen an kosmischen Maßstäben, immer nur zu einem winzigen Augenblick in ihrer Entwicklung zu sehen bekommen. Sofern sich dann außerdem Planeten im Orbit befinden, können Astronomen generell etwas über die Evolution solcher Systeme lernen.

Mit den noch immer laufenden Analysen der Keplerdaten und den Vorbereitungen auf die verschiedenen zukünftigen Missionen sind die Terminkalender der Exoplanetenjäger auf lange Zeit gut gefüllt. Vor ihnen liegt ein unermesslich großes Feld, und sie sind gerade einmal die ersten Schritte gegangen. All die angehenden Wissenschaftler, die von dem Spektakel einer irdischen Sonnenfinsternis hoffentlich für die Astronomie begeistert wurden, können in Zukunft jede Menge außerirdische Sternverdunkelungen bewundern und untersuchen. ↵



# Blick in die Atmosphären fremder Welten

von Kevin Heng

Das James Webb Space Telescope wurde ursprünglich entwickelt, um weit entfernte Galaxien zu beobachten. Nun soll das 2021 startende Instrument bahnbrechende Erkenntnisse über Exoplaneten in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft liefern – und vielleicht sogar den Nachweis, dass dort Leben gedeiht.

NASA - C. GUNN



**N**ach seinem Start im Oktober 2018 (Inzwischen: 2021, Anm. d. Red.) wird das James Webb Space Telescope (JWST) viele aufregende Beobachtungsmöglichkeiten bieten. An die vielleicht aufregendste hat aber bei den ersten Entwürfen des Teleskops noch niemand gedacht: die Jagd nach Planeten fremder Sterne, auf denen es Leben geben könnte. Als man Anfang der 1990er Jahre mit den Planungen für einen Nachfolger der Weltraumteleskope Hubble und Spitzer begann, wirkte diese Vorstellung geradezu aberwitzig. Denn damals gingen die meisten Wissenschaftler noch davon aus, dass es keine Planeten außerhalb des Sonnensystems gibt.

Also entwarf man ein Teleskop, das die ersten Sterne und Galaxien im Kosmos beobachten kann. Da das Universum expandiert, ist die Strahlung weit entfernter Objekte stark rotverschoben. Deshalb musste

das neue Instrument im infraroten Bereich des Lichtspektrums arbeiten. Heute, im Jahr 2017, ist die Situation ganz anders als gedacht: Mittlerweile sind tausende Exoplaneten bekannt. Und sofern es sich um Gasplaneten handelt, ist die Untersuchung ihrer Atmosphären für Astrophysiker fast schon Routine geworden.

Diese Entwicklung hat auch die Rolle des teuersten Teleskops der Menschheit verändert. Plötzlich ist das JWST ein wichtiges Instrument für die Erforschung fremder Welten: Mit etwas Glück werden Forscher dank seiner Hilfe nachweisen, dass auf der Oberfläche mancher Exoplaneten lebensfreundliche Bedingungen herrschen.

Die Untersuchung der Atmosphären weit entfernter Planeten ist eine noch junge Wissenschaft. 2005 wies das Weltraumteleskop Spitzer erstmals Strahlung aus der Gashülle eines Exoplaneten nach, der einem stark aufgeheizten Verwandten des Jupiters ähnelt. In den darauf folgenden Jahren lernten Astrophysiker, Strahlungssignale aus vergleichbaren Atmosphären genau auszuwerten, so dass sie vielerorts chemische Elemente und Verbindungen nachweisen konnten. Bislang ist dies mit Wasser, Kohlenmonoxid,

---

**Kevin Heng** ist Professor für Astronomie und Planetenwissenschaft an der Universität Bern und Gastprofessor an der Johns Hopkins University. Der Autor des Buchs »Exoplanetary Atmospheres: Theoretical Concepts and Foundations« ist auch Mitglied des wissenschaftlichen Kernteams der CHEOPS-Mission, die unter Schweizer Führung nach erdähnlichen Exoplaneten suchen soll.

## AUF EINEN BLICK

### Flaggschiff der Astronomen

- 1 Das James Webb Space Telescope (JWST) wird mit 6,5 Meter Spiegeldurchmesser das bisher größte Weltraumteleskop. Es soll im Oktober 2018 starten.
- 2 Im Infrarotspektrum wollen Wissenschaftler die Atmosphären von Exoplaneten untersuchen und darin vielleicht Biomarker wie Sauerstoff und Wasser nachweisen.
- 3 Allerdings wird das JWST wenn überhaupt nur wenige erdähnliche Welten ins Visier nehmen können – ihre Beobachtung ist eine große technische Herausforderung.

Wasserstoff, Magnesium, Methan, Natrium und Kalium gelungen.

Heutzutage kommt für solche Messungen routinemäßig das Weltraumteleskop Hubble mit seinem 2,4 Meter großen Hauptspiegel zum Einsatz. Mit ihm haben For-

scher bereits viel über die ungefähren klimatischen Bedingungen auf weit entfernten Welten gelernt. Und dank Fortschritten in der Beobachtungstechnik rücken jetzt zunehmend auch die Atmosphären kühlerer und kleinerer Planeten in ihr Visier.

Diese Entwicklung hat noch während der Vorbereitungen zu Änderungen am JWST geführt – sowohl mit Blick auf die Hardware als auch auf den geplanten Betrieb. Da die Lebensdauer des Weltraumteleskops möglicherweise nur fünfeinhalb Jahre betragen wird, konzentrieren sich die Astronomen auf die am besten geeigneten Ziele für die Erforschung der Atmosphären von Exoplaneten: Zuerst kommen Gas- und Eisriesen an die Reihe. Und dann folgt eine Auswahl kleinerer Planeten.

### **Gas- und Eisriesen sollen zu den bevorzugten Zielen des James Webb Space Telescope gehören**

Die Weltraumteleskope Hubble und Spitzer haben bereits gezeigt, wie wertvoll Beobachtungen aus dem All für die Erforschung von Exoplaneten sind. Das JWST wird beide Instrumente übertreffen, indem es ihre Fähigkeiten übernimmt und ausbaut. Sein Spiegel ist mit einem Durch-

messer von 6,5 Metern deutlich größer und sammelt daher mehr Licht in kürzerer Zeit. Somit können die Astronomen leuchtschwächere Objekte untersuchen. Auch die Empfindlichkeit und der abgedeckte Wellenlängenbereich sind größer als bei den Vorgängern. Das JWST wird dabei in der Tradition der großen Observatorien der NASA stehen und von Astronomen aus aller Welt genutzt werden.

Um mit ihm etwas über fremde Welten zu lernen, muss man einen Stern beobachten, an dem gerade ein Planet vorüberzieht. Bei solch einem Transit schwankt die Helligkeit des Sterns geringfügig. So kann man einerseits Planeten nachweisen, wie die Tausende von Entdeckungen des Weltraumteleskops Kepler zeigen. Messen die Astronomen bei einem Transit die Größe

### **JAMES WEBB SPACE TELESCOPE**

**Das James Webb Space Telescope wird voraussichtlich im März 2021 starten. Dieses Foto, aufgenommen während seiner Konstruktionsphase, zeigt Arbeiten am goldenen Hauptspiegel des Teleskops im Reinraum am Goddard Space Flight Center der NASA.**



NASA / CHRIS GUNN

des Planeten bei verschiedenen Wellenlängen, können sie zudem ein Spektrum seiner Atmosphäre erhalten, das Informationen über deren Zusammensetzung liefert.

Mit dieser Messtechnik lässt sich beispielsweise Wasser nachweisen: Enthält eine Atmosphäre viel Wasserdampf, so erscheint der Planet etwas größer, wenn man ihn bei einer Wellenlänge beobachtet, die von  $H_2O$ -Molekülen absorbiert wird. Nach demselben Prinzip kann man auch andere Stoffe und Verbindungen nachweisen, die oft jeweils einige charakteristische Wellenlängen aus dem Spektrum schlucken.

Große Planeten, die ihren Stern auf relativ engen Bahnen umkreisen, lassen sich mit dieser Methode leichter studieren als kleine Welten. Deshalb werden Gas- und Eisriesen von der Größe Neptuns bis zu solchen, die noch größer als Jupiter sind, zu den bevorzugten Zielen des JWST gehören. Insgesamt kann das Teleskop die Atmosphären von mehreren hundert Gas- und Eisriesen untersuchen, schätzen Astronomen. Indem sie untersuchen, welche Stoffe in den Lufthüllen vorhanden sind, lassen sich vielleicht statistische Trends ausmachen, die zu neuen Erkenntnissen über die Entstehung von Atmosphären führen.

Die Beobachtung von erdähnlichen Exoplaneten ist leider nicht so einfach. Da sie kleiner sind, halten sie bei einem Transit weniger Sternenlicht zurück. Hinzu kommt noch ein anderes Problem: Wenn die Planeten unseres Sonnensystems typisch sind, dann sind die Atmosphären kleinerer Exoplaneten eher sekundärer als primärer Natur. Primäre Atmosphären bestehen aus übrig gebliebenen Gasen der protostellaren Wolke, aus der ein Stern und seine Planeten entstanden sind, und enthalten daher hauptsächlich Wasserstoff. In unserem Sonnensystem besitzen Jupiter und Saturn primäre Atmosphären, die in ihrer chemischen Zusammensetzung unserer Sonne ähneln.

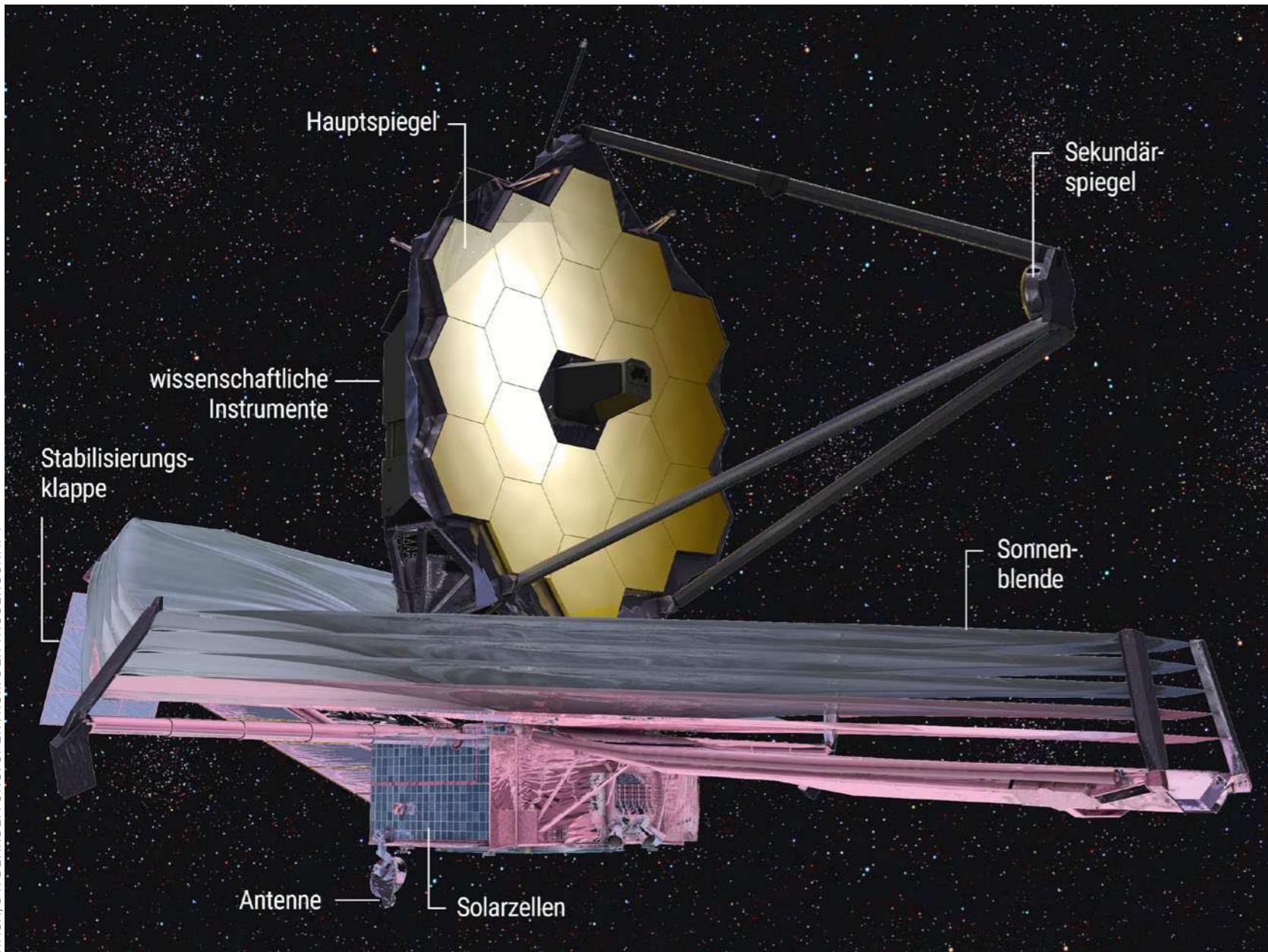
Sekundäre Atmosphären haben ihren Ursprung in der Geologie oder Biologie eines Planeten. Ihre chemischen Zusammensetzungen unterscheiden sich deutlich von jenen der jeweiligen Zentralsterne. Die Atmosphäre der Erde besteht überwiegend aus Stickstoff, die Atmosphären von Mars und Venus dagegen hauptsächlich aus Kohlendioxid. Ganz allgemein erwarten wir, dass sekundäre Atmosphären aus schwereren Elementen bestehen. Dann sind sie aber auch kompakter und entsprechend schwieriger zu entdecken. Kühtere

Lufthüllen wie die der Erde weisen außerdem vermutlich Wolken auf. Das macht die Sache noch kniffliger, da wegen ihnen nochmals weniger Licht aus der Atmosphäre einen Beobachter erreicht.

Insgesamt wird man für die Untersuchung der Atmosphären von Planeten mit einer Größe zwischen Erde und Neptun also sehr viel mehr Beobachtungszeit benötigen als für Gasriesen. Deshalb können wir vermutlich nur etwa ein Dutzend solcher mittelgroßer Exoplaneten mit dem JWST anvisieren. Die Chancen, damit auch für deren Atmosphären statistische Trends zu ermitteln, stehen nicht gut. Immerhin wären die Messungen ein wichtiger Orientierungsrahmen für künftige Messkampagnen. Schließlich gibt es in unserem Sonnensystem weder Supererden noch Minineptune – deshalb ist jede neue Erkenntnis über ihre Atmosphären von großer Bedeutung.

## Zweite Erde im Visier

Noch schwieriger wird es sein, mit dem JWST erdähnliche Planeten zu untersuchen. Als »erdähnlich« bezeichneten Astronomen einen Exoplaneten, wenn er ungefähr die gleiche Größe und die gleiche Masse besitzt wie unsere Heimat. Außerdem



sollte er seinen Zentralstern in einem Abstand umkreisen, der flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche ermöglicht. Die Beobachtungszeit am JWST wird aber hart umkämpft sein, zumal Wissenschaftler auch andere Dinge als Exoplaneten beobachten wollen. Daher wird man wohl bloß eine

Hand voll solcher Welten anvisieren können. Da ihre Transitsignale vermutlich sehr schwach sind, würden Astronomen dabei solche Planeten bevorzugen, die um einen nahen und hellen Stern kreisen – in diesem Fall ist es einfacher, die Lichtabschwächung während eines Transits zu messen. Ein

## TELESKOP MIT VIELEN AUFGABEN

**Das JWST soll den Forschern Daten über das junge Universum, die Entstehung von Galaxien, Sternen und Planeten sowie über Schwarze Löcher, Dunkle Materie und Exoplaneten liefern.**

Stern darf jedoch auch nicht zu hell sein, denn dann fällt zu viel Licht auf die empfindlichen Instrumente des JWST.

Aber welche Welten kommen hier in Frage? Der 2016 entdeckte Exoplanet Proxima Centauri b, der sich mit einer Entfernung von etwa vier Lichtjahren praktisch

in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft befindet, wäre ein interessanter Kandidat. Allerdings scheint er von der Erde aus gesehen nicht vor seinem Stern vorüberzuziehen. Deshalb wissen wir auch nicht, wie groß dieser Exoplanet ist. Mehrere Weltraummissionen sollen in den kommenden Jahren Kandidaten aufspüren, die geeigneter sind. Die Teleskope heißen CHEOPS (CHaracterizing ExOPlanet Satellites), TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) und PLATO (PLAnetary Transits and Oscillations of stars). TESS soll nach seinem Start im April 2018 den gesamten Himmel nach kleinen Exoplaneten absuchen, die von der Erde aus gesehen ihren hellen Zentralstern passieren. Auch CHEOPS soll 2018 starten, sich aber jeweils auf einzelne Sterne fokussieren und dort nach Transits suchen. Der Start von PLATO ist derzeit für 2026 geplant, womit das Weltraumteleskop vermutlich zu spät kommt, um die Nutzung des JWST zu beeinflussen. Das ist bedauerlich, spezialisiert sich PLATO doch auf die Suche nach erdähnlichen Planeten, die sonnenähnliche Sterne umkreisen.

Sollten Astronomen tatsächlich irgendwann solch einen Zwilling der Erde im Or-

bit eines hellen Sterns aufspüren, würde die Untersuchung seiner Atmosphäre für das JWST allerdings eine Herausforderung. Denn um ein aussagekräftiges Spektrum zu erhalten, müssen die Forscher nicht nur einen, sondern viele Transits beobachten – und zwei von ihnen liegen entsprechend den Umlaufzeiten dieser Planeten jeweils etwa ein Jahr auseinander.

Eine andere Strategie ist der Bau ergebundener Teleskope, die auf die Suche nach kleinen Exoplaneten spezialisiert sind. In den vergangenen Jahren haben eine ganze Reihe solcher Instrumente den Betrieb aufgenommen. So sucht das unter belgischer Leitung stehende TRAPPIST (TRAnsiting Planets and Planetesimals Small Telescope) nach Transitplaneten bei sehr kühlen Roten Zwergen, die viel kleiner sind als unsere Sonne. Da die Stärke eines Transitsignals vom Verhältnis der Größe des Exoplaneten zu der seines Sterns abhängt, fallen vorüberziehende Exoplaneten hier besonders auf.

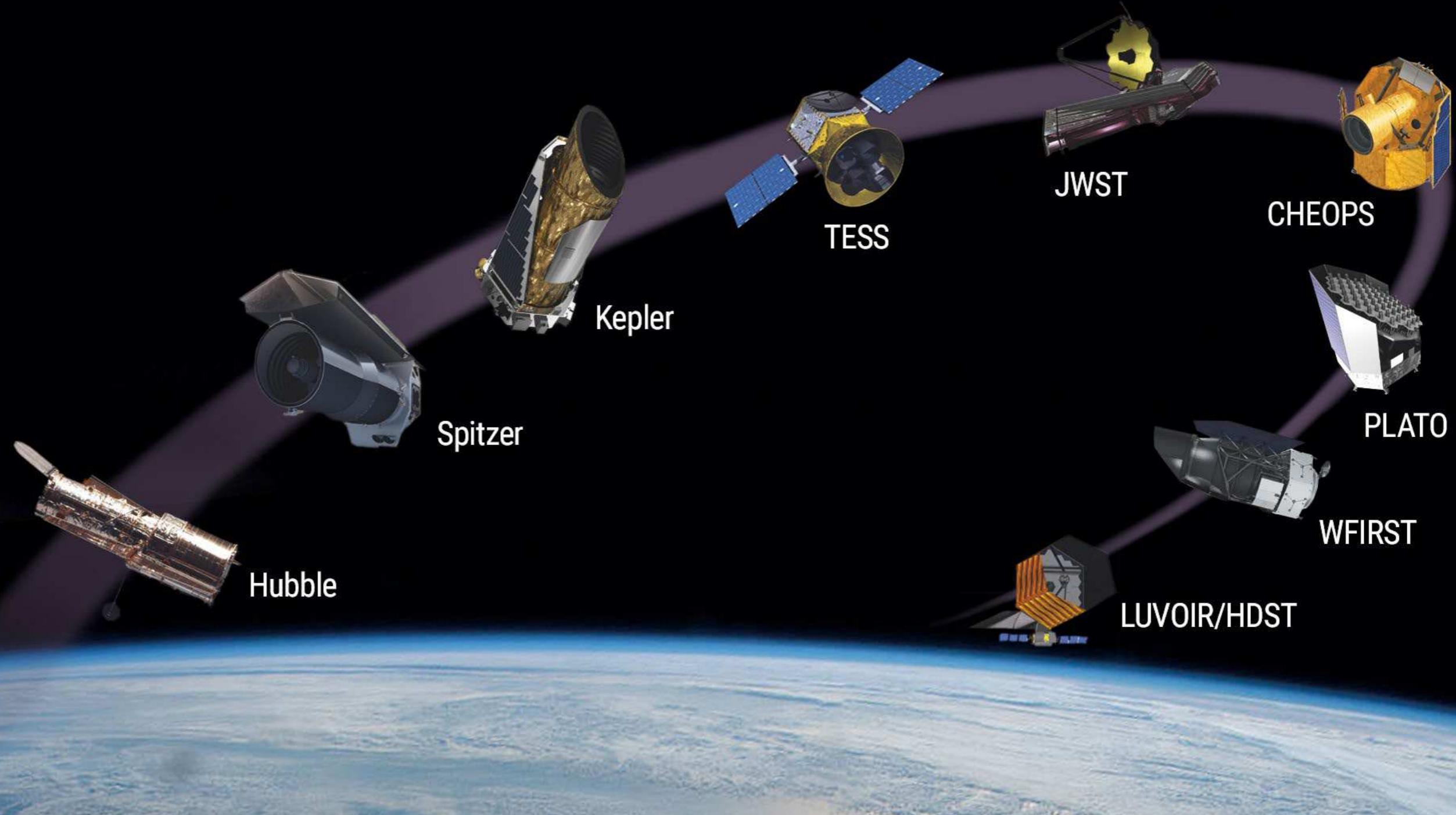
Schon die erste Entdeckung von TRAPPIST war eine Sensation: Zwar besitzt der Stern TRAPPIST-1 nur ein Zehntel der Masse unserer Sonne, aber dennoch umkreisen ihn sieben erdgroße Planeten. Und ob-

wohl alle Planeten des Systems ihrem Stern näher sind als der Merkur der Sonne, ist auf drei von ihnen flüssiges Wasser denkbar. Die engen Umlaufbahnen bieten einen weiteren Vorteil: Die Transits folgen schnell aufeinander, es lassen sich also in kürzerer Zeit ausreichend Daten für ein umfassendes Spektrum sammeln.

Das Sternensystem TRAPPIST-1 hat eine der Haupterkenntnisse der Kepler-Mission bestätigt: Gesteinsplaneten scheinen im Weltall alles andere als die Ausnahme zu sein, und wenn es in einem System einen solchen Planeten gibt, stehen die Chancen nicht schlecht, dass dort weitere existieren. Das unter schweizerischer Leitung stehende Projekt SAINT-Ex will künftig mit einem ähnlichen Teleskop wie TRAPPIST auf der Nordhalbkugel nach vergleichbaren Systemen suchen. Es bleibt abzuwarten, wie viele solcher kleiner Exoplaneten bei roten Zwergsternen letztlich als Ziele des JWST in Frage kommen.

## **Erdähnliche Exoplaneten bringen die Instrumente an ihre Grenzen**

Um mit dem JWST aufregende Entdeckungen machen zu können, müssen die Astronomen das Maximum aus dem Weltraum-



teleskop herausholen. Es ist mit vier wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattet: dem Nahinfrarot-Spektrografen NIRSpec, dem Nahinfrarot-Bildwandler und spaltlosen Spektrografen NIRISS, der Nahinfrarot-Kamera NIR-Cam und MIRI, einem Instrument für mittlere Infrarotwellenlängen.

Gemeinsam analysieren sie den Wellenlängenbereich von 0,6 bis 28 Mikrometern und vereinen damit die Kapazitäten von Hubble und Spitzer.

Mit den Instrumenten können Astronomen sowohl Fotos als auch Spektren von astronomischen Objekten aufnehmen. Jedes

**AKTUELLE UND ZUKÜNTIGE WELTRAUMTELESKOPE**  
**Das JWST soll das Erbe von Hubble und Spitzer antreten. TESS ist als Nachfolger von Kepler geplant. CHEOPS und PLATO sind europäische Projekte. WFIRST und LUVOIR könnten einst das JWST beerben.**

Instrument lässt sich auf unterschiedliche Weise nutzen, je nachdem, ob die Forscher bei einer Beobachtung eine hohe spektrale Auflösung oder einen hohen Abstand zwischen Signal und Rauschen wünschen. Diese beiden Aspekte sind eng verknüpft – je feiner die Aufspaltung nach Wellenlängen, desto schwieriger ist es, ein Signal bei einer spezifischen Frequenz nachzuweisen.

Weiterhin müssen die Astronomen alle Besonderheiten des Teleskops und seiner Instrumente kennen, die Wissenschaftler sprechen von systematischen Effekten. Will man ein sehr schwaches Signal entdecken, so muss man zunächst alle Ursachen von Rauschen und Störungen ausfindig machen. Die Pixel eines Detektors besitzen möglicherweise nicht alle exakt dieselbe Empfindlichkeit – und sogar innerhalb eines Pixels kann diese variieren.

Es ist auch praktisch unmöglich, ein Teleskop exakt auf ein Objekt auszurichten und vollkommen still zu halten. Immer wird es irgendeine Art von Bildinstabilität geben, die das eigentliche Signal verrauscht. Daneben führen Bewegungen sekundärer Komponenten des Teleskops, etwa der Antenne, zu kleinen, aber messbaren Störungen des Signals. Ein Problem

sind auch Temperaturunterschiede, da sie das Teleskop deformieren und damit beschädigen können.

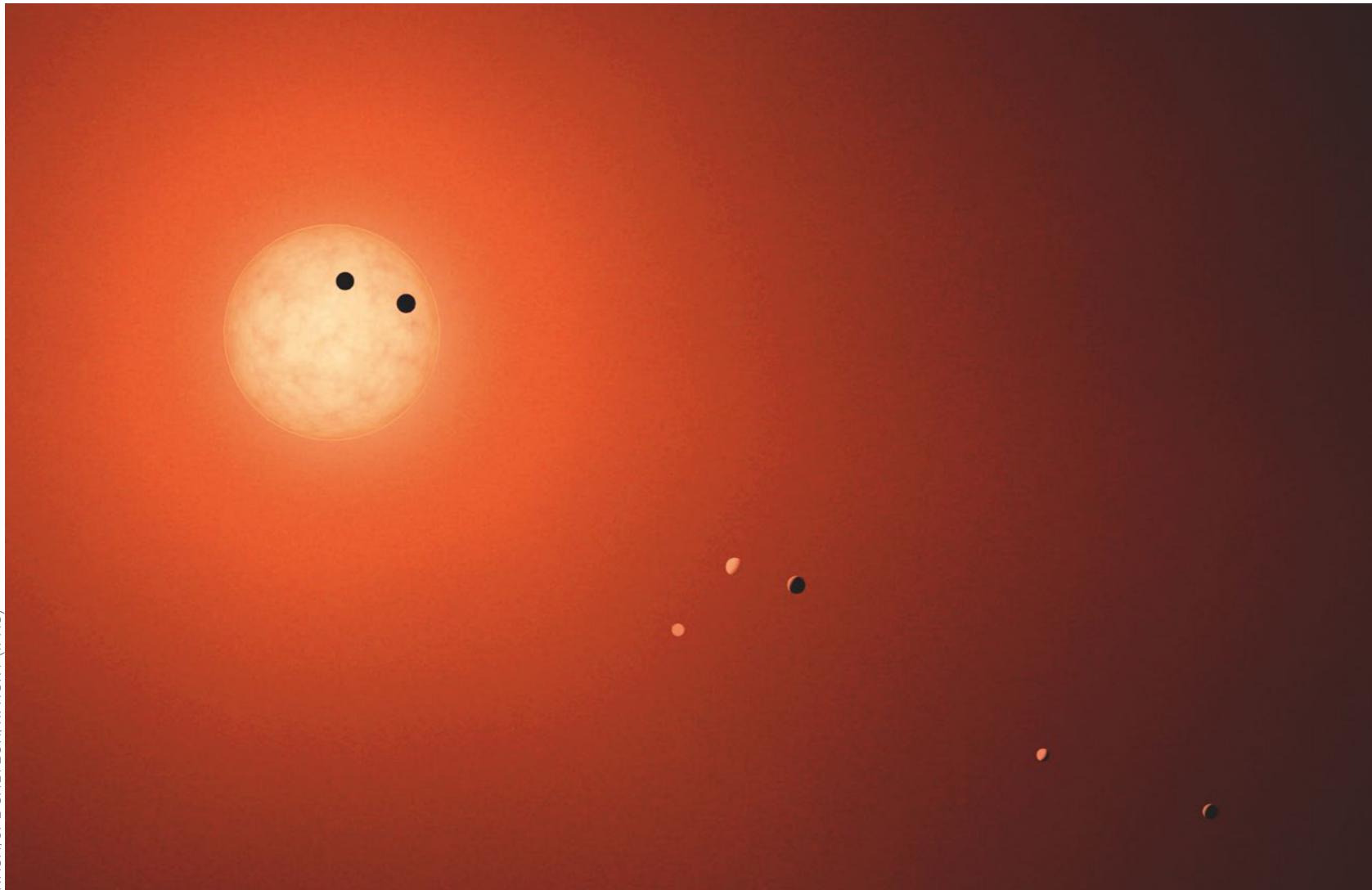
All das kennen Forscher schon von anderen Weltraumteleskopen. Hubble verformt sich beispielsweise alle 30 Minuten ein wenig, wenn es aus dem oder in den Schatten der Erde tritt. Wie die Astronomin Laura Kreidberg vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics berichtet, beeinflusst dieser Effekt die Genauigkeit der Nahinfrarot-Detektoren. Bei Spitzer wiederum führten Variationen der Empfindlichkeit innerhalb der Pixel dazu, dass die ersten Untersuchungen der Atmosphären von Exoplaneten zunächst keine schlüssigen Ergebnisse lieferten.

Es hat letztlich ein Jahrzehnt gedauert, diese Schwankungen zuverlässig auszugleichen. Da das JWST Detektoren verwendet, die auf das Erbe von Hubble und Spitzer zurückgehen, werden die dort gesammelten Erfahrungen von großem Wert sein, wenn die ersten Daten einlaufen. Auch hat es im Vergleich zu Hubble eine günstigere Umlaufbahn: Das JWST wird am Lagrange-Punkt L2 um die Sonne kreisen, während sich Hubble im Erdorbit befindet. Im Vergleich zu Spitzer haben die

Forscher hingegen die Stabilität der Ausrichtung des Teleskops verbessert.

Die Astronomen des Space Telescope Science Institute, das den Betrieb sowohl des Hubble Space Telescope als auch des JWST leitet, initiierten unlängst ein »Early Release Science«-Programm – ein spezielles Programm also für Beobachtungsprojekte, bei denen die einlaufenden Daten sofort öffentlich zugänglich gemacht werden. Eines der vorgeschlagenen Projekte soll einen Exoplaneten mit vielen Transits finden, den das JWST permanent beobachten könnte. Dazu muss der Mutterstern des Planeten weit ober- oder unterhalb der Bahnebene der Planeten in unserem Sonnensystem liegen.

Bislang ist der heiße Jupiter WASP-62b das beste Beispiel für einen solchen Exoplaneten. Beobachtungen dieses Objekts mit den vier Instrumenten des JWST in unterschiedlichen Konfigurationen könnten den Forschern wichtige Informationen über die Eigenschaften der Instrumente liefern sowie darüber, wie sie sich optimal für die Transit-Spektroskopie einsetzen lassen. Bereits jetzt bereiten die Astronomen also die ersten Beobachtungen der Atmosphären von Exoplaneten vor.



## Blick in Exo-Atmosphären

Sobald die Wissenschaftler das infrarote Spektrum vom Rauschen getrennt haben, stehen sie vor dem Problem, es korrekt zu interpretieren. Ein Spektrum besteht – als Diagramm der Intensität dargestellt – aus einer Reihe von Bergen und Tälern unterschiedlicher Formen und Größen. Diese Strukturen können wir interpretieren, weil wir annehmen, dass die Gesetze der

Physik und der Chemie im ganzen Universum gleich sind: Das Spektrum von Wassermolekülen sieht in einem irdischen Labor genauso aus wie in der Atmosphäre eines fernen Planeten. Dennoch ist es schwierig, eindeutige Schlüsse zu ziehen, denn Atmosphären bilden ein sehr komplexes System, das von vielen Faktoren beeinflusst wird, etwa von Druck, Dichte und Temperatur, die sich mit der

## EXOPLANETTRANSIT

**Manche Exoplaneten ziehen aus der Perspektive des beobachtenden Instruments vor ihrem Stern vorüber. Bei solch einem Transit können Forscher Informationen über die Atmosphäre einer fernen Welt gewinnen.**

Höhe über der Oberfläche verändern. Gelingt es letztlich, aus der nach außen dringenden Strahlung das Spektrum zu rekonstruieren, müssen Astrophysiker noch daraus ableiten, welche Atome und Moleküle in der Atmosphäre existieren und wie häufig sie relativ zueinander vorkommen.

Wissenschaftler stützen sich hierfür auf Erkenntnisse aus der Atmosphären- und

Klimaforschung. Die ersten Versuche sind durchaus ermutigend. Beispielsweise wissen wir inzwischen, dass die Gashüllen heißer Jupiter Wasser enthalten können und dass manche von ihnen wolkenverhangen sind. Ein Exemplar sieht im reflektierten Licht seines Zentralsterns sogar bläulich aus. Außerdem sind Wissenschaftler mittlerweile in der Lage, Temperaturkarten der Tag- und Nachtseiten der riesigen Exoplaneten anzufertigen.

Mit der stetigen Weiterentwicklung der Methoden erwarten wir, schon bald Spektren kühlerer und kleinerer Welten zu erhalten. Letztlich hoffen wir, die Verfahren irgendwann auf die Atmosphäre eines erdähnlichen Planeten anwenden zu können und so zu erkennen, aus welchen Gasen sie besteht. Mit dieser Information könnte man schließlich Rückschlüsse darauf ziehen, ob es dort Leben gibt. Wenn wir Glück haben, kann uns das JWST innerhalb eines Jahrzehnts chemische Indizien für die Existenz von Leben auf einem Exoplaneten liefern. Die große Herausforderung wird aber sein, nicht nur Signale zu finden, die auf Leben hinweisen, sondern auch solche, die dessen Existenz eindeutig beweisen.

## Der Nachfolger des JWST wird für Exoplaneten-Beobachtungen optimiert

Inzwischen entwickelt die NASA bereits Pläne für einen Nachfolger des JWST. Seine vorläufige Bezeichnung lautet »Large Ultraviolet/Optical/Infrared Surveyor«, auf Deutsch etwa: großes Vermessungsinstrument für den ultravioletten, optischen und infraroten Bereich, abgekürzt LUVOIR. Wie seine Vorgänger wird auch dieses Teleskop im Lauf seiner Entwicklung einen einprägsameren Namen erhalten. Mit seinem 8 bis 16 Meter großen Primärspiegel soll es die Fähigkeiten von Hubble, Spitzer und JWST in sich vereinen und Spektren durchgehend vom infraroten bis zum ultravioletten Bereich messen.

Irgendwann in den 2030er Jahren könnte LUVOIR starten. Es wird von Anfang an unter Berücksichtigung der Exoplanetenforschung entwickelt. Denn in nicht allzu ferner Zukunft wird es Alltag sein, Spektren von Exoplaneten zu untersuchen, aus ihnen auf die Existenz von Kontinenten und Ozeanen zu schließen – und Moleküle nachzuweisen, die uns Hinweise auf Leben liefern. ↗

(Spektrum der Wissenschaft, September 2017)

Copyright American Scientist

Spektrum  
der Wissenschaft

# KOMPAKT

## THEMEN AUF DEN PUNKT GEBRACHT



UND ÜBER 160 WEITERE AUSGABEN

ZUR ÜBERSICHT

TITELTHEM: EMOTIONEN

## Bloß nicht ausrasten!

Zetern, brüllen und rot anlaufen: Selbst die friedfertigsten Menschen gehen manchmal an die Decke. Doch warum sind wir überhaupt zornig? Und hilft es, seine Wut ab und an rauszulassen?



### BIOLOGIE

Sind Schnecken wirklich so schlimm?



### FOSSILE ENERGIEN

Bekommen wir noch die Kurve?



### INTERVIEW MIT MARTIN REES

Sorgen über das Ende der Wissenschaft – und der Menschheit

Mit ausgewählten Inhalten aus **nature**

Im Abo nur  
**0,92 €**  
pro Ausgabe

Jetzt bestellen!

**Das wöchentliche  
Wissenschaftsmagazin**  
als Kombipaket im Abo:  
Als App und PDF

**HIER ABONNIEREN!**

