

# Die Suche nach der zweiten Erde

Unter den vielen entdeckten Exoplaneten könnten auch solche sein, die Leben tragen. Die große Herausforderung ist, dies aus riesiger Entfernung nachweisen zu können.

Lisa Kaltenegger

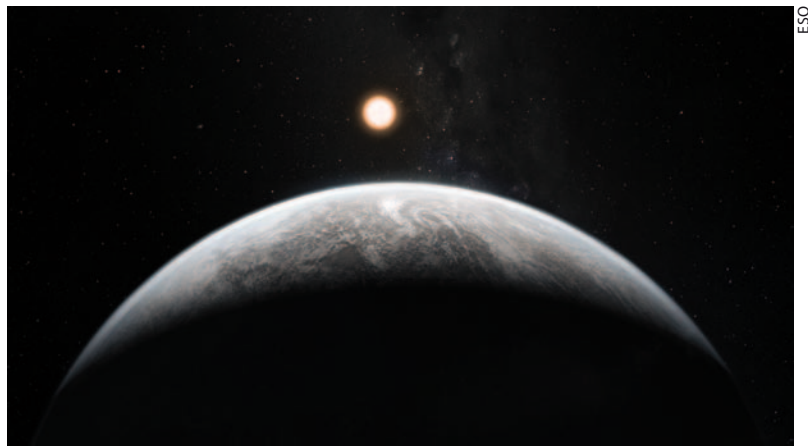
Mit der Entdeckung der ersten erdähnlichen Planeten außerhalb unseres Sonnensystems ist die faszinierende Frage nach Leben im All ins Blickfeld der Forschung geraten. Die spektralen Signaturen in den Atmosphären extrasolarer terrestrischer Planeten könnten dafür die entscheidenden Indizien liefern. Die Entdeckung einer „zweiten Erde“ wäre damit in naher Zukunft greifbar.

**G**ibt es Leben in All? Diese Frage beschäftigte schon antike Philosophen wie Lukrez, der über „andere Erden“ spekulierte. Im Mittelalter postulierte Giordano Bruno nicht nur ein unendliches All, sondern auch, dass „unzählige Welten ähnliche dieser Erde“ existieren. Für viele Jahrhunderte blieb die Frage nach Planeten und erst recht Leben außerhalb unseres Sonnensystems rein philosophisch. Nicht einmal zwanzig Jahre ist es her, dass der Schweizer Astronom Michel Mayor mit seinem Mitarbeiter Didier Queloz im Jahr 1995 erstmals einen Planeten um einen Stern im Sternbild Pegasus ähnlich unserer Sonne entdeckte, was ein amerikanisches Team kurz danach bestätigte. Vorher hatte es allerdings schon Beobachtungen gegeben, die zumindest Rückschlüsse auf die Existenz von Exoplaneten erlaubten, wie z. B. ein substellares Objekt und drei Planeten, die um die Überreste eines Sterns (Pulsar) kreisten. Doch erst mit der Entdeckung von 51 Pegasi b, einem heißen Gasplaneten, war die Existenz extrasolarer Planeten unzweifelhaft erwiesen.

Heute halten die Entdeckungen kleiner, teilweise felsiger Planeten die Welt der Astronomie in Atem. Die Frage, wie nah wir davor stehen, eine „zweite Erde“ zu entdecken, ist ins Zentrum des Interesses gerückt. Könnten um andere Sterne Planeten kreisen, die Leben tragen? Darauf gibt es (noch) keine Antwort, aber durchaus mögliche Indizien.

Mehr als 700 Exoplaneten wurden bislang entdeckt, die meisten sind heiße Gasplaneten („heiße Jupiter“), die sehr eng um ihren Stern kreisen. Das ist ein Auswahldefekt, denn große, schwere Planeten sind viel leichter aufzuspüren als kleine Gesteinsplaneten. Diese heißen Gasplaneten, die wie 51 Pegasi b ihren Stern in rund vier Tagen in einer Entfernung von nur 0,05 astronomischen Einheiten (AE) umkreisen, brachten die bestehende Theorie über Planetenentstehung ins Wanken.

Am liebsten würden die Forscher natürlich Sonden zu den Exoplaneten senden, um diese vor Ort detail-



Gibt es irgendwo im All einen Planeten, der genau wie die Erde lebensfreundliche Bedingungen bietet?

liert zu erforschen. Doch die Entfernungen selbst zu den nächsten Sternen dürften solchen Vorhaben bis auf Weiteres unmöglich machen. Wenn die Sonne so groß wie ein Zuckerkorn wäre, hätte unser ganzes Sonnensystem mit den acht Planeten das Ausmaß eines Kekses. Der nächste Stern wäre in diesem Maßstab zwei Fußballfelder von unserer Sonne entfernt. Zum Mars benötigen wir etwa sechs Monate Reisezeit, obwohl die Distanz von der Erde zum Mars nur ein Bruchteil des Keksradius beträgt! Daher ist es leicht einzusehen, warum es in naher Zukunft schwierig sein dürfte, selbst zu unserem benachbarten Sternsystem Alpha Centauri, zu fliegen. Die drei sich umkreisenden Sterne sind rund vier Lichtjahre von uns entfernt.

Licht liefert uns die entscheidenden Erkenntnisse über die Objekte und Prozesse im Weltall, beispielsweise um die Geburtsstätten der Sterne oder die

## KOMPAKT

- Exoplaneten werden zurzeit mit vier Methoden aufgespürt: die Doppler-Verschiebung des Lichts, die Transitmethode, das Microlensing und direktes Imaging.
- Auf Gesteinsplaneten, die in der „habitablen Zone“ um ihren Stern kreisen, könnte es sogar Leben geben. Um dies beurteilen zu können, genügt es nicht, die Dichte des Planeten zu kennen. Erst der „spektrale Fingerabdruck“ gibt Auskunft über die Atmosphäre eines Planeten und mögliche biologische Aktivität.
- Gemeinsame Spuren von Wasser, Sauerstoff und Methan deuten auf lebensfreundliche Bedingungen hin.

Dr. Lisa Kaltenegger, MPI für Astronomie, Königstuhl 11, 69117 Heidelberg

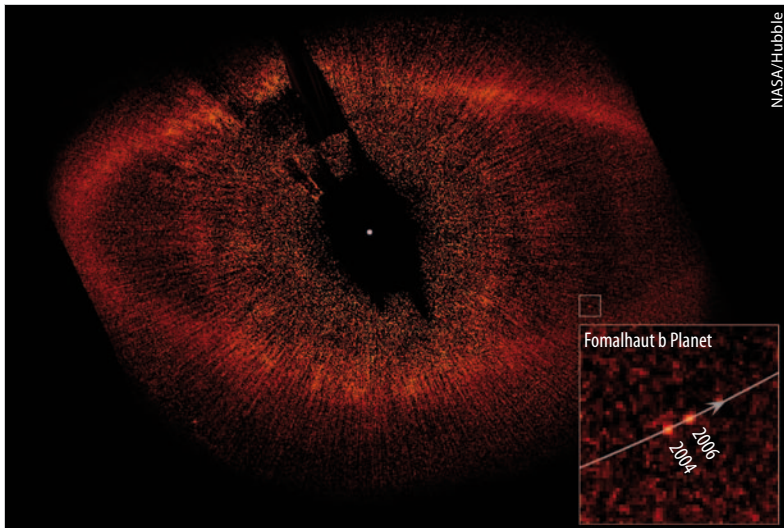


Abb. 1 Mit dem Hubble-Weltraumteleskop gelang es, einen Planeten um Fomalhaut direkt abzubilden.

Umgebung von Supernovae zu erforschen, aber auch um Planeten um andere Sterne zu entdecken: Alle verwendeten Suchmethoden nutzen Licht, um die kleinen, lichtschwachen Planeten um ihre großen hellen Sterne aufzuspüren.

Um Exoplaneten zu entdecken, lässt sich die Ausgleichsbewegung eines Sterns nutzen, die durch den Umlauf des Planeten hervorgerufen wird. Das führt zu einem winzigen „Wackeln“ („Wobble“) des Sterns um den gemeinsamen Schwerpunkt des Gesamtsystems – vergleichbar mit einem Spaziergänger, der von seinen großen Hund an der Leine hin- und hergezogen wird. Im Spektrum des Sterns zeigt sich eine periodische Verschiebung der Spektrallinien – nach rot, wenn der Stern sich von uns weg bewegt, und nach blau, wenn er sich auf uns zu bewegt. Gelingt es, diese Verschiebung zu messen, lässt sich auf die Existenz eines Exoplaneten und seine Umlaufzeit schließen. Mit der Wobble- bzw. Radialgeschwindigkeits-Methode (RV) gelang es bisher, über 650 Exoplaneten zu finden. Moderne RV-Spektrographen erzielen inzwischen Genauigkeiten von weniger als 1 m/s und spüren routinemäßig heiße Jupiter um Sterne wie unsere Sonne auf. Mit ausreichend vielen Beobachtungen lassen sich Genauigkeiten von bis zu 50 cm/s erzielen, was dem Signal einer Erde um einen kleinen, massearmen Stern entspricht. Das erklärt, warum erdähnliche Planeten sich generell besser auffinden lassen, wenn sie kleinere Sterne umkreisen.

Die zweite erfolgreiche Methode, mit der sich etwa 200 Planeten und mehr als 2000 Kandidaten der Kepler-Satellitenmission der NASA aufspüren ließen, ist die Transitmethode: Umkreist ein Planet seinen Stern, deckt er einen Teil der Oberfläche des Sterns ab und verdunkelt ihn dadurch geringfügig, wenn er sich zwischen uns und seinen Stern schiebt. Dies liegt nur an der geometrischen Anordnung des Systems bezüglich unserer Erde. Nach den dadurch bewirkten winzigen Helligkeitsschwankungen sucht die Transitmethode. Würde man aus größerer Entfernung auf unser Planetensystem schauen, dann würde man beispielsweise

feststellen, dass der Durchgang des Jupiter vor unserer Sonne diese um ein Prozent verdunkelt, bei der Erde wären es nur 0,01 Prozent. Die Wahrscheinlichkeit, solch einen Durchgang zu beobachten, steigt mit der Nähe des Planeten zum Stern. Denn wenn der Planet weit entfernt vom Stern kreist, genügen geringe Abweichungen der perfekten Sichtlinie, und schon ist der Transit nicht mehr zu beobachten.

Das „Microlensing“ nutzt aus, dass eine schwere Masse in Blickrichtung zum Stern den Lichtweg krümmt und ein Beobachter somit kurzzeitig mehr Licht von einem hinter dem Stern liegenden Stern sehen kann. Ein Planet beeinflusst den Helligkeitsverlauf eines solchen Ereignisses. Mittels Microlensing gelang es, rund 10 Planeten nachzuweisen.

Die beschriebenen indirekten Methoden ermöglichen es uns, Planeten zu entdecken, auch wenn sie von ihrem tausend bis milliardenfach helleren Mutterstern bei Weitem überstrahlt werden. Doch einige wenige Exoplaneten, meist sehr heiße Objekte, ließen sich in den letzten Jahren auch direkt abbilden („direct imaging“, Abb. 1). Diese jungen Planeten umkreisen ihren Stern auf Umlaufbahnen, die 20- bis 100-mal weiter entfernt sind als die Erdbahn von der Sonne. Die Fortschritte bei Koronagraphen und adaptiver Optik für die geplanten Riesenteleskope wie das European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO in Chile lassen auf weitere Entdeckungen und Verbesserungen der direkten Methoden hoffen.

## Von Mini-Neptunen und Super-Erden

Planeten mit weniger als zehn Erdmassen können nach den derzeitigen Modellen der Planetenentstehung aus festen Gestein bestehen und sollten weniger als zwei Erdradien groß sein. Viele der entdeckten Exoplaneten besitzen fünf bis zehn Erdmassen, aber einen größeren Radius und somit eine sehr viel geringere Dichte. Das war eine Überraschung, denn unser Sonnensystem besitzt zwar vier Gesteinsplaneten und vier Gasplaneten mit mehr als 14 Erdmassen, aber keine solchen „Mini-Neptune“, die mit Masse und Radius dazwischen liegen. Eine geringe Masse allein reicht also nicht aus, um sicher gehen zu können, dass es sich um feste Gesteinsplaneten handelt.

Unter den hunderten von Exoplaneten wurde 2009 der erste Gesteinsplanet mittels Transitmethode von einer CNES/ESA-Satellitenmission (Corot) entdeckt und mit der RV-Methode bestätigt: Corot-7b ist ein sehr heißer Planet mit fast 10 Erdmassen und etwa 1,6 Erdradien, der seinen Stern in weniger als einem Tag umkreist. Nur die gemeinsame Messung von Radius und Masse erlaubt es, die mittlere Dichte des Planeten abzuschätzen. Im Falle von Corot-7b liegt diese nahe der Erddichte. Die Oberflächentemperatur beträgt jedoch rund 1500 K, sodass die Oberfläche geschmolzen sein dürfte. 2011 wurde Kepler-10b entdeckt, ein weiterer heißer Gesteinsplanet, dessen Masse mittels RV-Methode bestätigt wurde. Beide Planeten sind

hunderte von Lichtjahren von uns entfernt. Die Corot- und die Kepler-Mission beobachten hunderttausende von Sternen gleichzeitig, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, einen Planetendurchgang zu beobachten. Die Kepler-Mission der NASA hat über drei Jahre hinweg rund 150 000 Sterne im Visier. Die massearmen Exoplaneten, die mit der RV-Methode gefunden wurden und keinen Transit zeigen, könnten durchaus Gesteinsplaneten sein. Doch ohne den Radius zu kennen, lässt sich das nicht zweifelsfrei bestätigen.

Doch klar ist, dass leistungsfähigere Instrumente und Satellitenmissionen die faszinierende Möglichkeit, erdähnliche Planeten aufzuspüren in greifbare Nähe gerückt haben. Zwar bleiben massereiche, große Planeten leichter zu finden, doch die Zahl der entdeckten massearmen Planeten steigt viel stärker, was anzeigt, dass es so viel mehr von ihnen geben dürfte. Die ersten Planeten, die Felsbrocken wie unserer Erde ähneln, haben wir bereits entdeckt.

Die neuesten Funde der Kepler-Mission offenbaren eine erstaunliche Vielfalt an Planeten. Kepler-11 [1] ist beispielsweise das erste System, in dem sechs Planeten dicht beieinander um ihre Sonne kreisen (Abb. 2). Da diese Planeten so dicht gepackt sind, beeinflussen sich die innersten fünf gravitativ. Das erlaubt eine neue, schnelle Massebestimmung für solche Systeme durch „Transit Timing Variation“: Die gegenseitige Anziehung der Planeten beeinflusst die Zeit zwischen den Transits messbar. Aus diesen Abweichungen lässt sich die Masse der Planeten direkt ableiten. Diese Planeten kreisen auf Umlaufbahnen, die zwischen Merkur- und Venusorbit liegen. Dennoch handelt es sich um heiße Gasplaneten, ähnlich unserem Jupiter. Die Kepler-Mission hat darüber hinaus bereits dutzende weitere Planetenkandidaten in Transitsystemen entdeckt. Diese warten auf die Bestätigung durch die Radialgeschwindigkeits-Methode oder durch Transit Timing Variation, um sie von bloßen Kandidaten (Kepler Object of Interest, KOI) zu wirklichen Planeten zu „erheben“. Weitere Überraschungen waren Planeten wie der im Oktober 2011 entdeckte Kepler-16b [2], der um zwei Sterne kreist, sowie der erste Exoplanet, der eine Größe wie Mars besitzt und im Januar 2012 bekannt gegeben

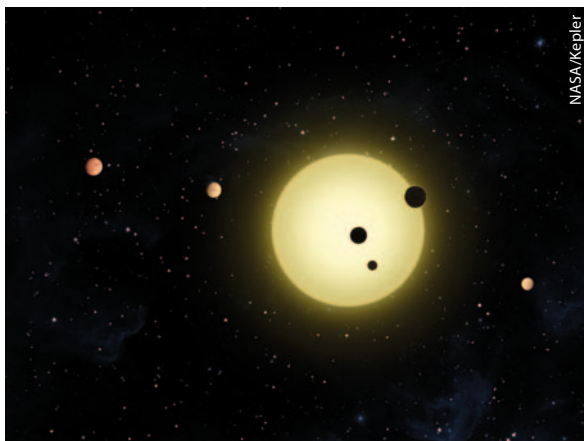


Abb. 2 Im Kepler-11-System umkreisen sechs Planeten ihre Sonne auf engeren Umlaufbahnen als die Venus.

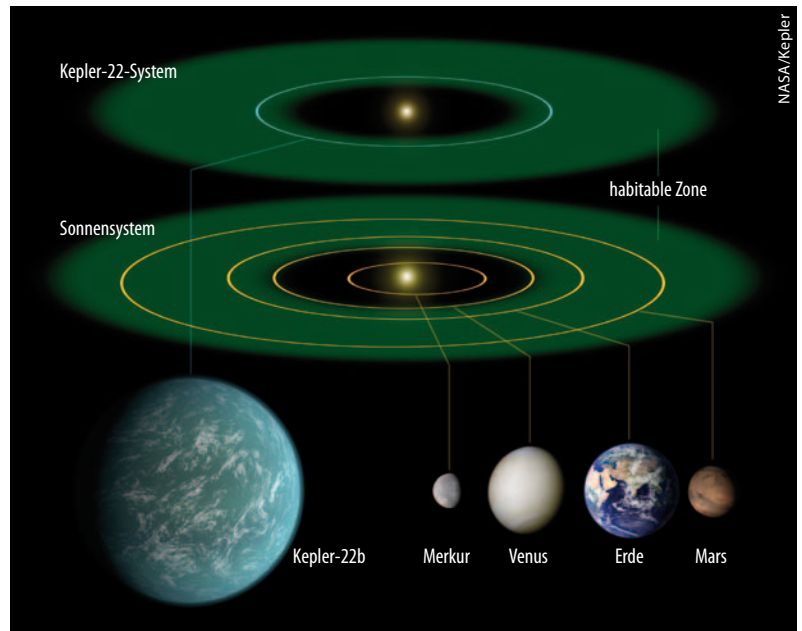


Abb. 3 Die Kepler-Mission hat kürzlich den Planeten Kepler-22b aufgespürt, der in der habitablen Zone einer zweiten Sonne kreist.

wurde. Das unterstreicht die faszinierende Vielfalt der Planetenwelten.

Im Dezember 2011 konnte Kepler schließlich mit Kepler-22b die Entdeckung des ersten Kepler-Planeten in der habitablen Zone einer zweiten Sonne vermelden [3], also dort, wo es gerade kühl genug ist, damit Wasser auf der Oberfläche des Planeten in flüssiger Form vorliegt (Abb. 3). Der Planet misst rund 2,4 Erdradien, was knapp über der konventionellen Grenze für Gesteinsplaneten liegt. Aber auch erdgroße Planeten und sogar Planeten, die kleiner als die Erde sind, wurden bereits entdeckt: Kepler-20b und -20c sind erdgroße Planeten, die nahe um ihren Stern kreisen [4]. Der nächste Schritt ist nun, einen erdgroßen Planeten mit einer Erdmasse in der habitablen Zone seines Sterns zu entdecken [5] – ein Schritt, der vielleicht gar nicht mehr so lange auf sich warten lassen dürfte.

Die RV-Methode hat bereits Hinweise auf solche „Super-Erden“ gefunden, also kleine Gesteinsplaneten in der habitablen Zone. Im Bereich unter 10 Erdmassen gibt es zwei besondere Planeten, nämlich Gl-581d und HD-85512b, die sich in der habitablen Zone ganz nah an der Grenze befinden. Die habitable Zone hängt dabei in erster Linie von der Helligkeit des Sterns und der Planetenatmosphäre ab. Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmt den Anteil des Sternenlichts, der reflektiert oder absorbiert wird, sowie die Erwärmung der Atmosphäre durch Treibhausgase.

Das Konzept der habitablen Zone ähnelt einem Lagerfeuer: Zu nahe am Lagerfeuer ist es zu heiß, zu weit entfernt zu kalt, und nur in einer bestimmten Entfernung ist gerade so warm, dass flüssiges Wasser existieren kann. Das ist zumindest notwendig – wenn auch nicht allein ausreichend –, um Leben zu ermöglichen, wie wir es kennen. Die habitable Zone gibt also notwendigerweise an, zwischen welchen Entfernungen eines Stern mit einer bestimmten Temperatur flüssiges



Wasser auf der Oberfläche eines Gesteinsplaneten möglich ist (Abb. 4). Natürlich ist es denkbar, dass Wasser und Leben auf einem Planeten auch unter Eis- oder Bodenschichten existieren können, wie auf dem Saturnmond Europa oder auf Mars. Doch solches Leben dürfte die Atmosphäre des Planetens nur unwesentlich verändern und war daher mit den ersten Teleskopen und ihrer geringen Auflösung nicht aufzuspüren.

### Der Fingerabdruck der Erde

Könnte unter den bekannten Gesteinsplaneten eine zweite Erde sein, mit Wasser und Temperaturen über dem Gefrierpunkt, sodass die Bedingungen erträglich für Leben sind? Da es uns in naher Zukunft wohl verwehrt bleiben wird, Lichtjahre mit Raumschiffen zu überbrücken, um vor Ort Proben zu entnehmen, bleibt uns nur die Möglichkeit, das Licht der Sterne und ihrer Planeten immer präziser spektroskopisch zu analysieren [6]. Das Ziel ist, Hinweise auf Wasser, Sauerstoff und andere Gase wie Kohlendioxid und Methan zu finden, da die Kombination von Sauerstoff mit einem reduzierendem Gas (wie Methan) ein Nachweis für biologische Aktivität auf einem Planeten ist.

Um dabei sicher gehen zu können, dass wir es tatsächlich mit Indizien für erdähnliche Lebensbedingungen zu tun haben, ist der Blick auf unseren eigenen Planeten hilfreich. Das Licht unserer Sonne wird von der Erde teils reflektiert und teils vom Boden absorbiert, um als Wärme wieder abgestrahlt zu werden. Wärme bzw. Infrarotstrahlung hat genau die richtige Energie, um Moleküle wie Wasser, Kohlendioxid und Methan zum Schwingen und Rotieren anzuregen. Dadurch erwärmt sich einerseits unsere Atmosphäre (Treibhauseffekt), andererseits fehlt ein Teil der Energie, was sich in den entsprechenden Absorptionslinien im Erdspektrum zeigt. Die spezifischen Schwingungs-

1) Über die gesamte Erdgeschichte hinweg bildet Stickstoff (N<sub>2</sub>) den Hauptanteil der Atmosphäre.

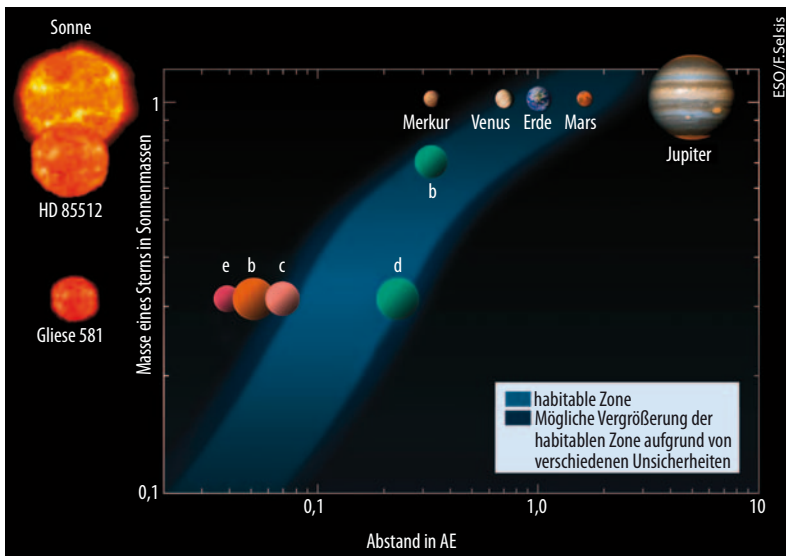


Abb. 4 In unserem Sonnensystem (oben) befinden sich der Mars, die Erde und die Venus in der habitablen Zone (blau). Die Planeten um die Sterne HD 8512 (Mitte) und Gl 581 (unten) liegen in der habitablen Zone, am inneren bzw. äußeren Rand.

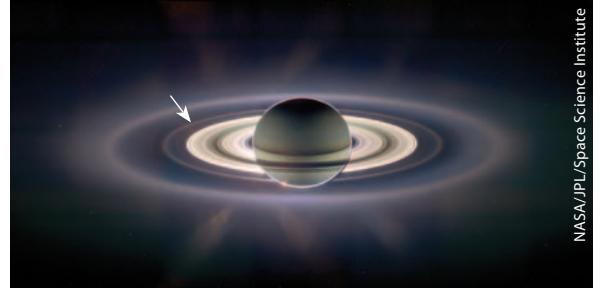


Abb. 5 Als die Cassini-Sonde Anfang 2006 auf den Saturn blickte, war die Erde im Bereich der äußeren Ringe als winziger blauer Punkt zu erkennen.

und Rotationsenergien der verschiedenen Moleküle hinterlassen somit einen charakteristischen Fingerabdruck im Spektrum der Erde. Doch der Außenblick auf unserer Erde aus großer Entfernung ließ sich erst mit interplanetarischen Sonden erreichen (Abb. 5).

Im Dezember 1990 flog die Galileo-Sonde an der Erde vorbei und beobachtete diese mit dem Spektrographen an Bord. Diese Beobachtung nutzte Carl Sagan, um den „Fingerabdruck“ des Lebens auf der Erde zu bestimmen: Dieser zeigte sich in den Absorptionslinien der Moleküle. Sehr große Weltraumteleskope mit hoher Auflösung könnten sogar Oberflächen, wie z. B. Vegetation, abbilden, wie unsere Erde sie in den letzten 500 Millionen Jahren zeigte.

Dieser spektrale Fingerabdruck repräsentiert jedoch zunächst nur die heutigen Zustände auf unserer Erde. Gesteinsplaneten um andere Sonnen könnten auch ganz andere Spektren zeigen, etwa weil sie sich in einem anderen Entwicklungszustand befinden. Auch der Fingerabdruck unserer Erde hat sich seit ihrer Entstehung stark verändert [7] und spiegelt die Veränderungen unserer Sonne, die uns zu Beginn weniger wärmte, sowie unseres Planeten wider. Mithilfe von Fossilienfunden lässt sich ein Modell der Geschichte unserer Erde über geologische Zeiträume entwickeln (Abb. 6). Demnach besaß die junge Erde beispielsweise mehr Treibhausgase, wodurch die damals schwächere Sonneneinstrahlung ausgeglichen wurde.

Unsere Sonne strahlt wie jeder Stern auf der Hauptreihe mit wachsendem Alter immer mehr Energie ab. Das heißt für einen Planeten, dass die Zeit in der habitablen Zone begrenzt ist, sofern sich der Anteil der Treibhausgase in seiner Atmosphäre nicht regulieren lässt. Das geschieht auf unserer Erde mit dem Kohlenstoffzyklus, der den Anteil an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre regelt und damit die sich ändernde Sonneneinstrahlung ausgleicht.

Die Veränderung des Fingerabdrucks der Erde über geologische Zeiträume in diesem Modell [7] kennzeichnet verschiedene Epochen der Erdgeschichte.<sup>1)</sup>

- Vor knapp 3,9 Milliarden Jahren besaß die Erde eine Atmosphäre mit hohen Anteilen von CO<sub>2</sub> (10 %), N<sub>2</sub> sowie Wasser (Epoche 0), gespeist aus Vulkanen. Solch eine Atmosphäre produzierte einen hohen Treibhausgasanteil.
- Vor 3,5 Milliarden Jahren (Epoche 1), als die ersten Fossilienpuren des Leben entstanden, verringerte

sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre, während der Anteil von Methan durch die ersten Lebewesen bis zum Tausendfachen des heutigen Wertes anstieg.

- Vor 2,4 Milliarden Jahren (Epoche 2) zeigten sich die ersten geringen Spuren von Sauerstoff. Die Zusammensetzung der Atmosphäre änderte sich dramatisch von anoxisch zu sauerstoffreich.
- In Epoche 3 vor zwei Milliarden Jahren war der Anteil von Sauerstoff und Methan gleich hoch. Danach stieg der Sauerstoffanteil an, während der Anteil von Methan sank. Die Atmosphäre enthielt damals rund 1 % CO<sub>2</sub>, 0,4 % CH<sub>4</sub>, 0,2 % O<sub>2</sub> und die Spurengasen O<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O.
- In Epoche 4 nahm der Anteil von Sauerstoff weiter zu, während die Konzentration von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> sank. Diese Epoche vor 800 Millionen Jahre ist durch 1 % CO<sub>2</sub>, 0,04 % CH<sub>4</sub>, 2 % O<sub>2</sub> und den weiteren Anstieg von O<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O gekennzeichnet.
- Vor 300 Millionen Jahren (Epoche 5) ähnelt die Atmosphäre schließlich unserer heutigen mit einem hohen Anteil von N<sub>2</sub>, mit 0,0365 % CO<sub>2</sub> und 21 % O<sub>2</sub> sowie entsprechenden Konzentrationen von CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O.

Somit finden sich etwa in der Hälfte der bisherigen Lebensspanne der Erde Spuren von Leben im Fingerabdruck, in Form von Sauerstoff kombiniert mit Methan und Wasser. Auch geologische Ereignisse wie gewaltige Vulkanausbrüche hinterlassen Spuren in der Atmosphäre und könnten bei erdähnlichen Planeten nachweisbar sein [8].

### CSI im All?

Jeder Planet bzw. Exoplanet besitzt einen charakteristischen spektralen Fingerabdruck. Die Schwierigkeit besteht allerdings darin, ausreichend viel Licht mit einem Teleskop einzufangen, um den Fingerabdruck von Lichtjahren entfernten Exoplaneten auch klar identifizieren zu können. Dies ist die Barriere, die es mit neuen Teleskopen im Weltall zu überwinden gilt. Das erste dieser Teleskope, das einen Einblick in die Atmosphäre felsartiger, fremder Welten gestatten soll, ist das James Webb Teleskop (JWST), das die NASA im Jahr 2018 starten möchte. Dieses Weltraumteleskop mit einem Spiegeldurchmesser von 6,5 m wird die Empfindlichkeit besitzen, um erstmals die Atmosphäre eines erdähnlichen Planeten bei seinem Transit um eine nahen Stern nachzuweisen. Durch die Kepler-Mission wissen wir jetzt, dass es viele dieser Planeten in Sonnennähe geben sollte, aber wo genau sie sich befinden, ist noch offen. Diese Frage sollen RV-Suchprogramme nach kleinen Planeten (z. B. HARPS und Carmines) und Transitmethoden (z. B. MEarth und HAT) vom Boden aus klären bzw. Satelliten (z. B. TESS-Mission) vom All aus.

Die Entdeckung von Gesteinsplaneten in der habitablen Zone um ihre Sterne eröffnet also die faszinierende Aussicht, ihre Charakteristiken im Detail zu untersuchen. Die Erkenntnisse, die wir dabei gewinnen, dürfte sicher auch unser Verständnis, was eine habitable Zone und ein habitabler Planet sind, auf den

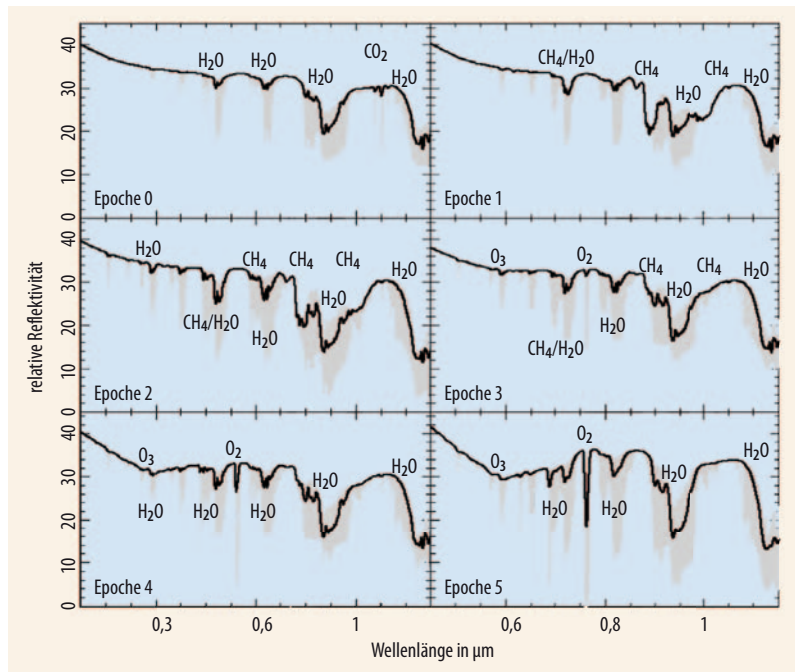


Abb. 6 Seit Entstehung der Erde sind für rund 50 % der Zeit Spuren von Leben im Modell-Fingerabdruck sichtbar. Grau dargestellt ist die tatsächliche, hochaufgelöste Modellierung des Erdspektrums. Die schwarzen Linien simulieren eine geringere Auflösung, zeigen also die Spektren, wie Teleskope sie liefern würden. Die Auflösung reicht dann nicht aus, um die ersten O<sub>2</sub>-Spuren in der zweiten Epoche zu sehen. N<sub>2</sub> wird nicht angeregt, ist demnach nicht sichtbar.

Prüfstand stellen. Das könnte auch sehr lehrreich sein, um mehr über Entstehung, Entwicklung und Zukunft unseres eigenen Planeten zu erfahren.

Wir leben in einer spannenden Zeit, in der wir den Horizont nicht mehr nur nach neuen Kontinenten, sondern nach ganzen neuen Welten absuchen und ob sie Anzeichen für Leben zeigen. Wer weiß, vielleicht stoßen wir tatsächlich bald auf eine zweite Erde...

### Literatur

- [1] J. J. Lissauer et al., Nature 470, 7332, 53 (2011)
- [2] R. Doyle et al. Science 333, 6049, 1602 (2011)
- [3] W. J. Borucki et al. ApJ 745, 2, 120 (2012)
- [4] F. Fressin, Nature, doi:10.1038/nature10780
- [5] L. Kaltenegger und D. Sasselov, ApJL 736, 2 (2011)
- [6] L. Kaltenegger et al., Astrobiology 10 (2010)
- [7] L. Kaltenegger et al., ApJ 658, 598 (2007)
- [8] L. Kaltenegger et al., ApJ 140, 5 (2010)

### DIE AUTORIN

Lisa Kaltenegger fasziniert die Frage, ob es andere Erden gibt und wie man solche Welten über Lichtjahre hinweg charakterisieren kann. Sie leitet seit September 2010 ihre sechsköpfige, internationale Emmy-Noether-Forschergruppe am MPI für Astronomie in Heidelberg auf diesem Gebiet. Lisa Kaltenegger ist zudem wissenschaftliche Mitarbeiterin am Harvard Smithsonian Center for Astrophysics und unterrichtet an der Harvard University. Ausgezeichnet wurde sie u. a. mit dem Tinsley Visiting Scholarship 2009 der Universität Texas Austin, dem Paul Hertelendy Preis 2007 „for outstanding young scientists at the Harvard Smithsonian Center for Astrophysics“ und Promotio sub auspiciis Praesidentis 2005.

