

## ■ Auf zu fernen, bewohnbaren Welten

Das Kepler-Team vermeldet die Entdeckung zweier etwa erdgroßer Planeten in der habitablen Zone.

Irgendwo im All einen zweiten oder gleich mehrere erdgleiche, bewohnbare Planeten zu finden, ist sicherlich eines der ultimativen Ziele der Astronomen und Planetenforscher. Jetzt sind sie diesem Ziel so nahe, wie noch nie zuvor: Am 18. April 2013 veröffentlichte ein Forscherteam die Entdeckung eines Systems mit fünf Planeten, deren Radien zwischen einem halben Erdradius und knapp dem doppelten Erdradius liegen. Zudem laufen zwei davon in einem solchen Abstand um ihren Heimatstern, dass es auf ihnen Wasser in flüssiger Form geben könnte [1] (Abb. 1).

Möglich machte den Fund das NASA-Weltraumteleskop Kepler, nach dem die damit entdeckten Planeten benannt werden. Das Observatorium sucht seit 2009 nach extrasolaren Planeten und beobachtet seit seinem Start immer das gleiche Feld im Sternbild Schwan, das rund 170 000 Sterne enthält. Am 14. Mai gab die NASA technische Probleme bekannt, die die genaue Positionierung des Weltraumteleskops verhindern und weitere Beobachtungen vielleicht verhindern. Kepler hat seine ursprünglich auf 3,5 Jahre ausgelegte Mission aber bereits erfüllt und befindet sich seit November 2012 in der Verlängerungsphase.

Seine Messungen beruhen auf der Transit-Methode, die photometrisch nach regelmäßigen Abschwächungen der Sternhelligkeit sucht, die ein vor dem Stern vorüber ziehender Planet verursacht. Um einen solchen Transit zu erzeugen,

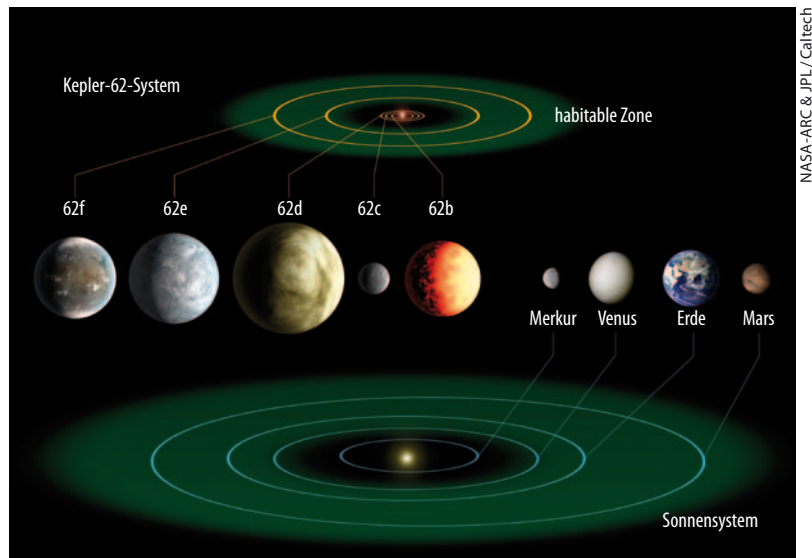


Abb. 1 Das Planetensystem Kepler-62 im Vergleich zum Sonnensystem. Der grüne

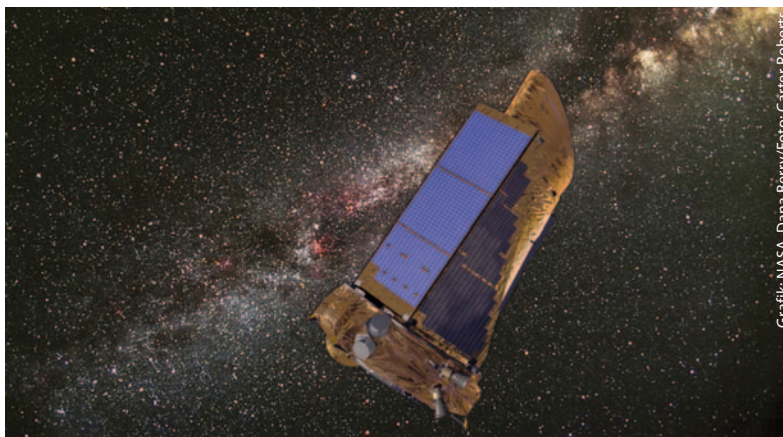
Ring markiert die habitable Zone um den jeweiligen Stern.

muss die Bahnebene des Planeten so liegen, dass er durch die Sichtlinie zwischen Beobachter und Stern läuft. Diese Bedingung reduziert die Zahl der beobachtbaren Systeme stark. Hat man ein Transitereignis gefunden, lässt sich aus dem gemessenen Helligkeitsverlauf der Radius und die Umlaufperiode des Planeten sowie die große Halbachse seines Orbits bestimmen. Die Analyse sollte mindestens drei Transitereignisse umfassen. Bei den um den Stern Kepler-62 neu entdeckten Exoplaneten Kepler-62e ( $R = 1,61 \pm 0,05 R_{\text{Erde}}$ ) waren es neun Transits bei einer Umlaufperiode von 122 Tagen und bei Kepler-62f ( $R = 1,41 \pm 0,07 R_{\text{Erde}}$ ) drei bei einer Periode von 267 Tagen. Deutlich mehr Transits beobachteten die Wissenschaftler bei den anderen

drei weiter innen laufenden Mitgliedern dieses Planetensystems, denn hier liegen die Umlaufperioden bei 6, 12 und 18 Tagen.

Die beiden äußeren dieser fünf Planeten, Kepler-62e und Kepler-62f, befinden sich in der lebensfreundlichen, der habitablen Zone des Sterns. Das macht die Entdeckung besonders bedeutsam. Die habitable Zone bildet einen Ring um jeden Stern, in dem sich auf der Oberfläche eines Gesteinsplaneten flüssiges Wasser über längere Zeiträume halten könnte. Dabei muss die Atmosphäre ausreichend dicht sein, damit Wasser nicht verdunstet, und eine geeignete Zusammensetzung haben, um mit dem Treibhauseffekt die Temperatur im notwendigen Bereich zu halten. Das beruht auf der Annahme, zur Entwicklung von Leben sei Oberflächenwasser in flüssiger Form unbedingt notwendig. Da man bei Exoplaneten allenfalls die Oberflächentemperatur grob über den Orbitabstand und den Spektraltyp des Sterns abschätzen kann, beschränkt sich der Begriff Habitabilität auf flüssiges Wasser. Dessen Vorhandensein alleine bedeutet jedoch nicht zwangsläufig die Existenz von Leben. Natürlich müssen auch Energie- und Nahrungsquellen hinzukommen.

Das rund fünf Meter lange NASA-Weltraumteleskop Kepler läuft in einer eigenen Umlaufbahn um die Sonne, von wo aus es permanente Sicht auf das Zielgebiet im Sternbild Schwan hat.

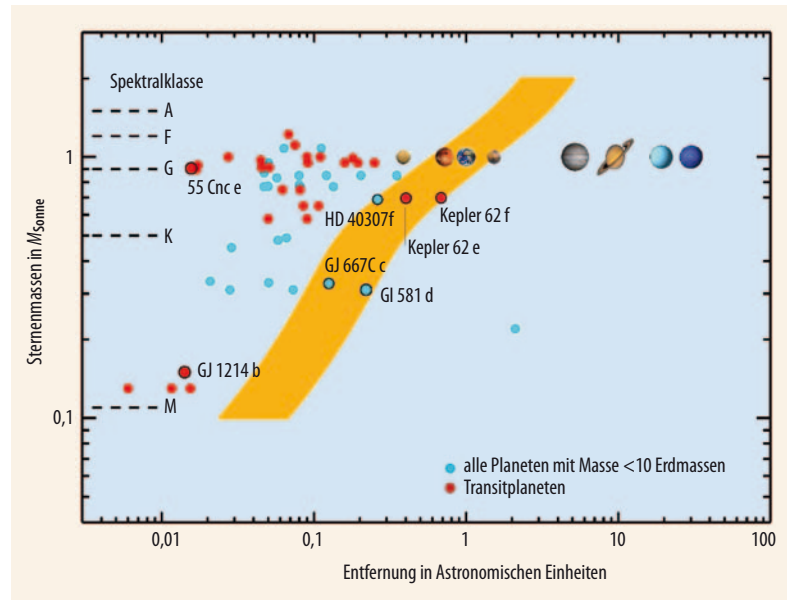


Grafik: NASA, Dana Berry/Foto: Carter Roberts

In den vergangenen zwanzig Jahren haben Astronomen bereits fast 900 Planeten mit verschiedenen Methoden aufgespürt, davon 131 Planetensysteme mit zwei oder mehreren Planeten (aus [2], Stand: 29. 4. 2013). Die Liste enthält auch 70 sogenannte Super-Erden, Planeten mit weniger als der zehnfachen Erdmasse (Abb. 2). Planetensysteme und Planeten von ähnlicher Masse und Radius der Erde sind also grundsätzlich nichts Neues mehr im Zoo der Exoplaneten. Die meisten dieser Super-Erden befinden sich allerdings nicht in der habitablen Zone.

Kepler hat bisher mehr als 120 Planeten entdeckt. Etwa 3000 weitere Objekte gelten als Planetenkandidaten, bei denen noch nicht klar ist, ob die Transit-ähnlichen Abschwächungen des Sterns von einem Planeten herrühren. Denn es gibt viele Ereignisse, die einen Transit vortäuschen können, beispielsweise ein Doppelstern im Hintergrund. Daher müssen die Forscher die Kandidaten mit einer anderen, unabhängigen Methode bestätigen. Meist ist dies die Radialgeschwindigkeitsmethode, die auf der Doppler-Verschiebung der Spektrallinien des Sterns beruht: Da sich Stern und Planet um den gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, sind die Absorptionslinien im Spektrum der Sternphotosphäre periodisch rot- und blauverschoben [3].

Die neu entdeckten Planeten kreisen um Kepler-62, einen Stern des spektralen Typs K2V, dessen Masse und Radius etwa zwei Drittel der Sonnenwerte betragen<sup>#)</sup>. Bei allen fünf Planeten könnte es sich auf Grund ihres kleinen Radius um Gesteinsplaneten handeln. Allerdings ist ihre Masse nicht bekannt. Daher lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob sie tatsächlich eine feste Kruste besitzen, auf der sich Wasser in flüssiger Form ansammeln kann. Die angegebenen Massen für die Planeten des Sterns Kepler-62 sind zunächst obere Grenzen, Kepler-62e:  $36 M_{\text{Erde}}$ , Kepler-62f:  $35 M_{\text{Erde}}$ . Um die wahren Massen zu ermitteln, sind Beobachtungen mit einer komplementären Methode notwendig. Für Radialgeschwindig-



nach Rauer et al. 2012 / Seisist et al. 2007 und Tout et al. 1996

Abb. 2 Masse und große Halbachse der Sterne mit Super-Erden und der Verlauf

der habitablen Zone (Stand: Sept. 2012 zuzüglich Kepler-62e und Kepler-62f)

keitsmessungen stehen die Chancen hier aber schlecht, denn der kleine Stern ist rund 1200 Lichtjahre entfernt, was eine Nachfolgemessung aufgrund der geringen Helligkeit extrem erschwert.

Die wenigen bisher in einer habitablen Zone gefundenen Super-Erden wurden mit der Radialgeschwindigkeitsmethode entdeckt und zeigen keinen Transit. Somit besteht keine Möglichkeit, ihren Radius direkt zu messen. Alle bislang bekannten Planeten in einer habitablen Zone sind definitiv keine Gesteinsplaneten. Zum Beispiel ist Kepler-22c, der mit einer Massenschätzung von  $M \sim 35 M_{\text{Erde}}$  und  $R = 2,4 R_{\text{Erde}}$  mit ziemlicher Sicherheit ein Gasplanet ist, ein „Mini-Neptun“. Die erste Super-Erde, deren Radius und Masse Astronomen messen konnten – und damit auch die mittlere Dichte –, war CoRoT-7b. Dieser Exoplanet umkreist seinen Stern jedoch in einem sehr geringen Abstand, weit innerhalb der habitablen Zone. Die Temperatur auf ihm dürfte bei rund 1300 Kelvin liegen [4], was flüssiges Wasser ausschließt. Aufgrund der geringen Radien gehen die Forscher bei Kepler-62e und -62f daher von den ersten gefundenen Super-Erden innerhalb der habitablen Zone aus.

Mit zunehmender Anzahl entdeckter Exoplaneten zeigt sich

schon heute eine außerordentlich große Vielfalt ihrer Massen und mittleren Dichten und damit auch von Zusammensetzung und Aufbau. Trotz der schon bekannten fast tausend Planeten sind wir erst am Anfang, die möglichen Formen von Planeten zu erkunden. Von einem detaillierten Verständnis, etwa der Bildungs- und Entwicklungsprozesse, sind wir noch weit entfernt.

Zudem werfen die Beobachtungen neue Fragen zum inneren Aufbau, zur Zusammensetzung und Atmosphäre der Planeten und somit zur Planetenentstehung und -entwicklung auf. Die dafür notwendigen Untersuchungen sind aber nur bei Planeten um sehr helle Zentralsterne möglich, heller als die Mehrzahl der Sterne im Kepler-Feld. Das ist die Motivation für die im nächsten Jahrzehnt geplante europäische Mission PLATO 2.0<sup>+</sup>, ein Weltraumteleskop, über dessen Bau die Europäische Weltraumorganisation ESA im nächsten Jahr entscheidet.

Ruth Titz-Weider,  
Ulrich Köhler und Heike Rauer

- [1] W. J. Borucki et al., Science 340, 587 (2013)
- [2] Enzyklopädie der extrasolaren Planeten: [exoplanet.eu](http://exoplanet.eu)
- [3] J. Wambsganz, Physik Journal, Mai 2009, S. 49
- [4] F. W. Wagner et al., Astron. Astrophys. 541, A103 (2012)

#) K2V bedeutet, Kepler-62 ist ein Hauptreihen-(Zwerg-)Stern mit orangefarbener Oberfläche. Er ist somit kühler, kleiner ( $R = 0,63 \pm 0,02 R_{\text{Sonne}}$ ), masseärmer ( $M = 0,69 \pm 0,02 M_{\text{Sonne}}$ ) und leuchtschwächer als unsere Sonne. Seine habitable Zone ist daher auch kleiner und liegt enger am Stern (Abb. 1, 2).

+ ) PLATO 2.0 soll Gesteinsplaneten um helle Sterne in der näheren Umgebung zu unserem Sonnensystem finden und deren Radius, Masse und Alter mit hoher Genauigkeit bestimmen, um erstmals einen umfassenden Katalog dieser fundamentalen Planetenparameter zu erstellen.

Dr. Ruth Titz-Weider, Ulrich Köhler, Prof. Dr. Heike Rauer, Institut für Planetenforschung, DLR, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin-Adlershof