

**Einen Eis- oder Gesteinsplaneten** entdeckten Astronomen kürzlich in 22 000 Lichtjahren Entfernung. Er wiegt 5,5-mal so viel wie die Erde und ist damit der masseärmste bisher bekannte Exoplanet.



# Ferne Welten enthüllen

Astronomen haben mittlerweile mehr als 170 Planeten außerhalb unseres Sonnensystems gefunden. Wie sehen diese Himmelskörper aus? **>> Sara Seager**

**B**is 1999 hatten verschiedene Astronomenteams die Existenz von etwa dreißig extrasolaren Planeten bestätigt. Das Einzige, was wir von diesen Objekten kannten, waren ihre Mindestmassen und die Größe ihrer Umlaufbahnen. Der Grund: Allesamt waren mit Hilfe der Dopplerverschiebung im Licht ihres Zentralsterns gefunden worden – eine Methode, die nur diese beiden Parameter liefert.

Von Anfang an stand fest, dass es einer anderen Messtechnik bedurfte, um wenigstens die grundlegenden physikalischen Eigenschaften eines Exoplaneten zu ermitteln. Wir setzten dabei auf Transitereignisse, bei denen Planeten von der Erde aus gesehen vor ihren Heimatsternen vorbeiziehen. Bei einem solchen Durchgang können Lichtkurven und Spektren gewonnen werden, die auf die Beschaffenheit des Planeten schließen lassen. Irgendwann, da waren wir uns sicher, würden wir auf einen »Transitplaneten« stoßen.

Heute blicken wir auf mehr als 170 bestätigte Exoplaneten. Unser Wunsch, diese fernen Welten umfassend zu verstehen, hat sich seit 1999 noch verstärkt. Wir kennen ungefähr dreißig »heiße Jupiter«, darunter den ersten, 1995 entdeckten Exopla-

neten 51 Pegasi b. Neuere Funde haben die Klasse der heißen Jupiter um jene der »heißen Neptune« erweitert, die eine etwas geringere Masse besitzen. Kürzlich wurde in 22000 Lichtjahren Entfernung sogar ein erdähnlicher Planet mit fester Oberfläche entdeckt, allerdings nicht mit Hilfe der Transitmethode, sondern des Gravitationslinseneffekts (Kasten S. 21).

Anders als die Wandelsterne unseres Sonnensystems haben die meisten bisher entdeckten Exoplaneten stark exzentrische Orbits und kreisen recht eng um ihre Zentralsterne. Sie lassen dort also wenig Raum für weitere – womöglich erdähnliche – Planeten. Zusammengefasst zeigen uns die Entdeckungen der letzten Jahre, dass die Planetenbildung ein offenbar zufallsgesteuerter Prozess ist, der bezüglich Masse, Größe und Distanz vom Zentralgestirn alle nur denkbaren Himmelskörper hervorbringt.

Bisher entdeckten die Forscher fast alle Exoplaneten mittels des Dopplereffekts. Dabei prüfen sie, ob ein bestimmter Stern kleine, periodische Bewegungen vollführt, die ihm umkreisende Planeten aufzwingen. Diese indirekte Nachweismethode liefert lediglich einen Wert für die Min- >

> destmasse eines Exoplaneten und den Radius seiner Umlaufbahn. Sie lässt viele Fragen unbeantwortet, etwa: Handelt es sich um Gasplaneten wie Jupiter oder Saturn, um Gesteinsplaneten wie die Erde oder irgendetwas dazwischen? Warum sind ihre Bahnen so stark exzentrisch, wo sie sich doch – laut Sternentstehungstheorien – in einer kreisrunden protoplanetaren Staubscheibe bildeten? Sind sie in einem anderen Orbit entstanden und nachträglich auf ihren jetzigen gewandert? Woraus bestehen ihre Atmosphären? Haben heiße Jupiter mächtige Gashüllen oder sind diese wegen der großen Nähe zum Zentralgestirn verdampft? Besitzen sie Ringe oder Monde?

### Sternverfinsterungen entdecken

Angesichts so vieler Möglichkeiten möchten wir Astronomen schon ein paar mehr Messergebnisse erhalten als lediglich die Information, ob ein bestimmter Exoplanet existiert oder nicht. Wir wollen detaillierte Vorstellungen darüber bekommen, wie diese fernen Welten aussehen. Leider können wir die bewährten Methoden der Spektroskopie, mit denen wir ferne kosmische Objekte studieren, auf Exoplaneten nicht anwenden. Ihre Zentralsterne überstrahlen sie bei Weitem. Um die Spektren der fernen Planeten einzufangen, bedarf es vieltausendfach besserer Teleskopspiegel und millionenfach besserer Abblendtechniken, als wir sie heute zur Verfügung haben.

Zum Glück ist die Natur bezüglich der Vielfalt der fernen Trabanten recht großzügig. Einige von ihnen können wir erforschen, obwohl wir sie nicht direkt abbilden oder spektroskopisch untersuchen können: die Transitplaneten. Ende 1999 registrierten die Astronomen den Vorüberzug des planetaren Begleiters HD 209458b vor seinem Zentralstern 7,6ter Größe. Er benötigt für einen Umlauf dreieinhalb Tage und nimmt in der Exoplanetenforschung mittlerweile eine Schlüsselrolle ein. Im Lauf der Jahre haben weitere Transitfunde unser Bild vervollständigt.

Transitplaneten sind derzeit die einzigen Exoplaneten, deren physikalische Eigenschaften wir messen können. Einer ihrer wichtigsten Parameter ist ihre Dichte (also die Masse, geteilt durch das Volumen), da sie etwas über die Zusammensetzung eines Himmelskörpers mitteilt. Astronomen können die Masse von Transitplaneten aus der Radialgeschwindigkeit des Zentralsterns ableiten. Die Verdunkelung des Zentralsterns während des Vorüberzugs liefert ein Maß für die Größe des Planeten. Von acht der neun mittlerweile bekannten Transitplaneten wissen wir, sie haben so geringe Dichten, dass sie fast vollständig aus Wasserstoff und Helium bestehen müssen. Es handelt sich also um Gasplaneten wie Jupiter oder Saturn.

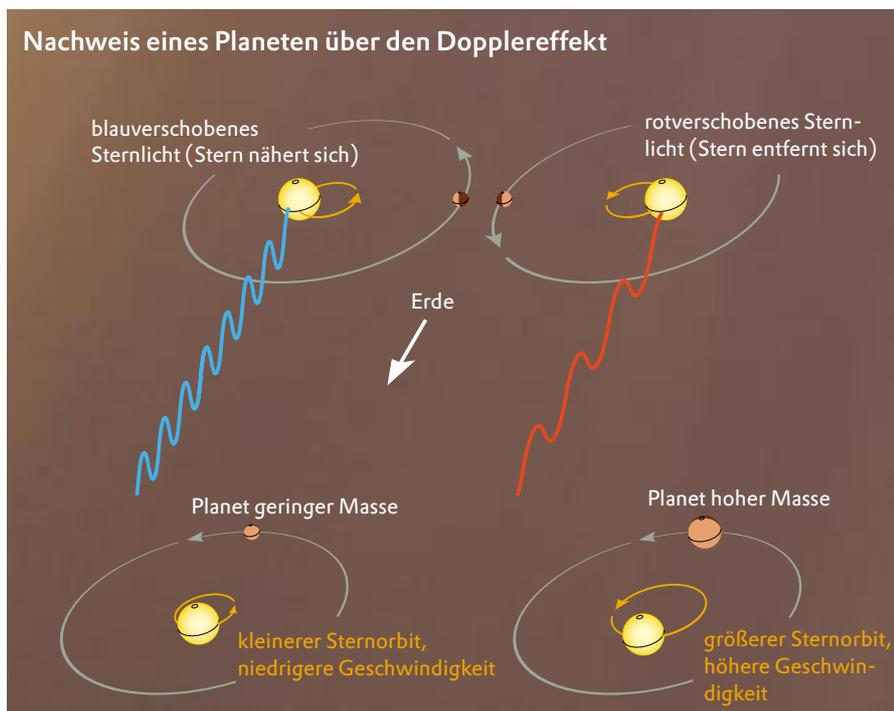
Zwei von ihnen sind wahre Exzentriker. HD 209458b besitzt einen Durchmes-

ser, der um ein Drittel größer ist als der Jupiters. Gleichzeitig ist er um ein Drittel leichter als dieser. Das ergibt die ungewöhnlich geringe Dichte von nur 0,33 Gramm pro Kubikzentimeter. In unserem Sonnensystem kommt der Planet mit der geringsten Dichte, Saturn, immerhin auf 0,69 Gramm pro Kubikzentimeter – mehr als das Doppelte. Mit anderen Worten: HD 209458b ist für seine Masse extrem voluminös.

### Ein kosmisches Tauziehen

Gasriesen werden groß und heiß geboren, verlieren aber mit steigendem Alter an Wärme und kontrahieren. Gälte das auch für HD 209458b, dann sollte er heute die Maße Jupiters besitzen. Dass er so viel größer ist, kann nur bedeuten, dass sich in seinem Innern eine Wärmequelle befindet, die ihn beträchtlich aufheizt. Worum könnte es sich dabei handeln? Möglicherweise hat der Wind des Zentralgestirns eine Menge Energie in das Innere des Planeten getragen. Konvektionsprozesse könnten diese Energie dann in Richtung Planetenzentrum befördert haben. Wenn dem so wäre – warum haben wir einen ähnlichen Vorgang nicht auch bei den anderen bekannten Exoplaneten beobachtet?

Wahrscheinlicher ist, dass es sich bei der Wärmequelle von HD 209458b um Gezeitenreibung handelt. Kreist ein jupiterähnlicher Planet sehr eng um sein Zentralgestirn, dann erzeugt die Schwerkraft des Sterns eine Gezeitenwelle in der planetaren Atmosphäre. Indem die Gravitation des Gestirns über Jahrmillionen hinweg an dieser Welle zieht, zwingt sie den heißen Jupiter auf einen kreisförmigen Orbit. Zugleich zerrt sie an der Rotationsachse des Planeten, sodass diese sich allmählich senkrecht zur Bahnebene ausrichtet. HD 209458b hat wie erwartet eine kreisförmige Umlaufbahn; die Neigung seiner Rotationsachse wurde noch nicht gemessen. Sollte sie bezüglich der >



**Die meisten Exoplaneten** entdecken die Astronomen nach wie vor mit Hilfe der Dopplerverschiebung im Licht des jeweiligen Zentralsterns. Dieser und sein Planet bewegen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Je schwerer der Trabant ist und je enger er um seine Sonne kreist, umso deutlicher bringt er sie zum Torkeln.



**Der leichteste bisher entdeckte Exoplanet** wiegt 5,5-mal so viel wie die Erde. Er trägt die Bezeichnung OGLE-2005-BLG-390Lb und ist 22 000 Lichtjahre von uns entfernt. Dort umkreist er seinen Zentralstern in einem Abstand von etwa 390 Millionen Kilometern. Seine Entdeckung gab das Fachmagazin »Nature« am 26. Januar bekannt. OGLE-2005-BLG-390Lb ist unter allen nachgewiesenen Exoplaneten erst der dritte, der mit Hilfe des Gravitationslinseneffekts entdeckt wurde.

Wenn ein Vordergrundstern von uns aus gesehen vor einem Hintergrundstern vorüberzieht, krümmt seine Schwerkraft – entsprechend der Allgemeinen Relativitätstheorie – dessen Lichtstrahlen und fokussiert sie auf uns. Infolgedessen erhalten wir kurzfristig mehr Licht vom Hintergrundstern, er erscheint uns heller. Seine Lichtkurve folgt dabei einem exakt vorhersagbaren Verlauf.

Besitzt der Vordergrundstern einen planetaren Begleiter, kann dieser zum Gravitationslinseneffekt beitragen. Während der Vordergrundstern und sein Planet vorbeiziehen, sind sie manchmal einige Stunden lang so angeordnet, dass sie das Licht des Hintergrundsterns gemeinsam auf uns bündeln. Das äußert sich in einer kleinen Spitze auf dessen Lichtkurve.

Solche Ereignisse kommen selten vor. Höchstens einer von einer Million Sternen

wird jeweils von einer Gravitationslinse aufgeleuchtet. Seit Jahren halten Astronomen auf der ganzen Welt danach Ausschau. Dabei hat sich eine Arbeitsteilung zwischen mehreren Forschergruppen gebildet. Das »Ogle-Team« (der Name steht für »Optical Gravitational Lensing Experiment«) untersucht zehn Millionen Sterne etwa zweimal pro Woche auf ihre Helligkeit. Zeigt einer davon eine Änderung, die auf den Vorüberzug einer Gravitationslinse schließen lässt, geht eine Mitteilung an das »Planet-Team«. Dieses misst dann den Verlauf der Lichtkurve bis zu mehrere Male pro Stunde.

**Am 11. Juli 2005** registrierte das Ogle-Team das Gravitationslinsen-Ereignis 2005-BLG-390. Dessen intensive Beobachtung enthüllte eine Lichtkurve, die am 31. Juli ihr Maximum erreichte und am 10. August auf ihrer abfallenden Flanke eine verräterische Spitze aufwies. Die Auswertung der Kurve lässt nur eine Erklärung zu: Den Vordergrundstern, der als Gravitationslinse gewirkt hat, begleitet ein 13 000fach leichterer Planet.

Unter Annahme der gängigen galaktischen Modelle ergeben sich für den Vordergrundstern 0,22 Sonnenmassen auf der Hauptreihe. Demnach ist er ein Roter Zwerg. Sein Begleiter besitzt 5,5 Erdmassen und einen Abstand von 2,6 Astronomischen Einheiten

### Obwohl der erdähnlichste

unter den bisher bekannten Exoplaneten, bietet OGLE-2005-BLG-390b nicht gerade gemütliche Bedingungen. Seine Oberfläche ist in eisigen minus 220 Grad Celsius erstarrt. Der Planet verriet sich durch seine Wirkung als Gravitationslinse.

oder 390 Millionen Kilometern. In unserem Sonnensystem hieße das, seine Umlaufbahn läge zwischen Mars und Jupiter.

Wegen der schwachen Leuchtkraft und großen Distanz seines Zentralgestirns erhält OGLE-2005-BLG-390Lb nur ein Tausendstel der Energie, die uns von der Sonne erreicht. Seine geschätzte Oberflächentemperatur beträgt minus 220 Grad Celsius. Vermutlich besteht er aus Eis oder Gestein wie die inneren Planeten unseres Sonnensystems. Auch wenn er der Erde unter den bisher bekannten Exoplaneten am nächsten kommt: Lebensfreundliche Bedingungen scheinen nicht auf ihm zu herrschen.

Die Forscher vermuten, dass es viele Exoplaneten gibt, die eine ähnlich geringe Masse besitzen wie OGLE-2005-BLG-390Lb. Andernfalls wäre es eher unwahrscheinlich, dass bereits der dritte mit der Gravitationslinsen-Methode entdeckte Planet derart leicht ist. >> Frank Schubert

> Bahnebene gekippt sein, dann würde die Gezeitenwelle während seines 3,5 Erdtage dauernden Umlaufs nord- und südwärts über ihn rollen. Das könnte genügend Wärme erzeugen, um den Planeten aufzuheizen und dadurch seine gewaltige Ausdehnung zu bewirken.

Andere Faktoren wie einstige Wanderbewegungen des Planeten, frühere Einschläge von Asteroiden, Planetoiden und Kometen oder die Existenz zusätzlicher Planeten können für den ungewöhnlichen Zustand von HD 209458b kaum verantwortlich sein. Es liegt wohl an dem spezifischen Wechselspiel zwischen HD 209458b und seinem Zentralstern, dass er der einzige bekannte Planet mit einer derart geringen Dichte ist.

Wenden wir uns nun dem zweiten Exozentriker unter den Exoplaneten zu. Er trägt die Bezeichnung HD 149026b und bereitet den Astronomen immer größeres Kopfzerbrechen. Der Grund: Mit 1,4 Gramm pro Kubikzentimeter ist er so dicht, dass er zu fünfzig bis siebzig Prozent aus schweren Elementen bestehen muss. Mithin unterscheidet sich HD 149026b deutlich von den anderen Transitplaneten, die sich hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium zusammensetzen. Die Astronomen haben sich bislang auf kein Szenario einigen können, wie dieser Planet zu seinem hohen Anteil an schweren Elementen kam. Seine bloße Existenz stellt die gängige Hypothese, nach der alle massereichen Exoplaneten Gasriesen sind, stark in Frage.

### Von der Gashülle verschluckt

Die Dichte ist nicht die einzige Eigenschaft, die sich an Transitplaneten bestimmen lässt. Astronomen können auch herausfinden, ob sie Atmosphären besitzen. Zieht ein Exoplanet vor seinem Zentralstern vorüber, dann geht ein Teil von dessen Licht durch die planetare Gashülle. Die chemischen Bestandteile der Atmosphäre verschlucken dabei bestimmte Wellenlängen des Sternlichts, wodurch im stellaren Spektrum einige schwache Absorptionslinien erscheinen. Der Vergleich des Sternspektrums während und außerhalb des Transits erlaubt, etwas über die chemische Zusammensetzung der planetaren Gashülle zu erfahren.

1999 schrieb ich zusammen mit meinem Kollegen Dimitar Sasselow vom Harvard Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) in Cambridge, Massachu-

setts, einen Artikel, in dem wir die Entdeckung der Gashülle eines heißen Jupiters etwas unbesonnen vorwegnahmen. Wir sagten damals voraus, dass das optische Atmosphärenspektrum eines solchen Planeten von Natrium dominiert sein müsse. Dabei bezogen wir uns auf die mutmaßlichen Temperaturen dort: Bei der typischen Entfernung, die heiße Jupiter von ihren Zentralsternen haben, sind auf ihrer Oberfläche 1000 bis 1500 Grad Kelvin zu erwarten. Unter diesen Bedingungen sollte das Sternlicht in der Atmosphäre hauptsächlich von Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Alkalimetallen und Methan absorbiert werden. Von diesen haben aber nur die Alkalimetalle Natrium und Kalium eine starke Absorption im Bereich sichtbarer Wellenlängen.

Gerade einmal zwei Jahre später war es so weit: David Charbonneau (jetzt am CfA), Timothy Brown (National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado) und ihre Kollegen entdeckten erstmals die Atmosphäre eines Exoplaneten. Die Mitteilung machte mich neugierig, denn ich hatte bereits seit mehreren Jahren an Computermodellen von Gashüllen heißer Jupiter gearbeitet und war nun gespannt auf echte Beobachtungen. Mit Hilfe des Weltraumteleskops Hubble wiesen Charbonneau und Brown eindeutig Natrium in der Atmosphäre von HD 209458b nach, wie wir es vorhergesagt hatten.

Wir fühlten uns also in unseren grundlegenden Annahmen bestätigt. Gleichwohl zeigten die Messungen, dass unsere Modelle zu einfach waren. Die Natrium-Absorptionslinie besaß eine viel schwächere Ausprägung als vorhergesagt. Verantwortlich hierfür könnten heiße Wolken aus Silikatstaub oder flüssigem Eisen sein, die den Blick auf große Teile der Atmosphäre verwehren – so, wie eine Wolkenbank aus der Sicht eines Piloten den Erdboden verschleiert. Darüber hinaus könnten atmosphärische Strömungen, unerwartet kühle Temperaturen, chemische Effekte infolge der UV-Strahlung des Zentralsterns oder schlicht ein niedriger Natriumgehalt ihren Anteil an dem Effekt haben. Wir haben derzeit nicht genügend Informationen, um die schwache Ausprägung der Natriumlinie befriedigend erklären zu können.

Eine europäische Forschergruppe hat kürzlich atomaren Wasserstoff in der Umgebung des Zentralsterns von HD

209458b nachgewiesen. Er ist dort in Form einer riesigen Wolke verteilt. Die UV-Strahlung des Sterns muss einen beträchtlichen Teil des Wasserstoffs in der oberen Planetenatmosphäre aufheizen und ihn dazu bewegen, ins All zu entweichen, um dort eine gewaltige »Exosphäre« zu bilden. Unklar ist, ob der Planet auf diesem Weg einen großen Teil seiner Masse verloren hat. Die Beobachtungen zeigen, dass die Exosphäre neben Wasserstoff auch Kohlenstoff und Sauerstoff enthält.

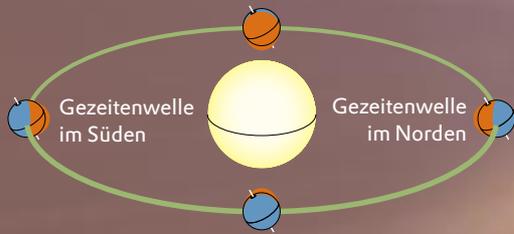
### Hinter dem Gestirn

Die obere Atmosphärenschicht umgibt den Planeten lediglich als dünne Hülle, was die Untersuchungen deutlich erschwert. Die Helligkeit des Sterns liegt zehntausendfach über jener der planetaren Gashülle! Nur Weltraumteleskope sind präzise genug, um den niedrigen Signalanteil der Planetenatmosphäre überhaupt messen zu können. Das Instrument »Space Telescope Imaging Spectrograph« an Bord des Weltraumteleskops Hubble war dazu in der Lage, fiel jedoch leider im Jahr 2004 aus. Seither benötigen die Astronomen ein neues Gerät mit vergleichbarer Leistungsfähigkeit.

Im März 2005 entdeckte mein Team unter Benutzung des Weltraumteleskops Spitzer Wärmestrahlung, die von HD 209458b direkt ausgestrahlt worden war. Die Arbeiten leitete Drake Demming vom Goddard Space Flight Center der Nasa. Zeitgleich gelang es einer anderen Gruppe um David Charbonneau, mit Spitzers Hilfe die Wärmeemission des Transitplaneten TrES-1 einzufangen. Solche Entdeckungen werden dadurch ermöglicht, dass Transitplaneten nicht nur von Zeit zu Zeit vor ihrem Zentralstern vorüberziehen, während sie um ihn kreisen, sondern genauso oft auch hinter ihn tauchen.

Sowohl unser Team als auch Charbonneaus Arbeitsgruppe nutzt eine solche »sekundäre Finsternis«, um die Strahlung des Planeten indirekt zu bestimmen. Dies gelang, indem wir die Leuchtkraft des Sterns allein (während einer sekundären Finsternis) von der kombinierten Leuchtkraft des Sterns und des Planeten (außerhalb einer sekundären Finsternis sowie außerhalb eines Transitereignisses) abzogen. Was bei dieser Rechenoperation übrig bleibt, muss die Leuchtkraft des Planeten sein.

nicht maßstabsgerecht



**Gezeitenreibung** Der Zentralstern verursacht eine Flutwelle auf seinem planetaren Begleiter. Wenn die Rotationsachse des Planeten bezüglich seiner Bahnebene gekippt ist, dann rollt die Welle nord- beziehungsweise südwärts über den Planeten, während er um den Stern kreist. Das führt zu einer inneren Erwärmung. Der Planet kann sich dabei stark aufheizen, sodass er sich gewaltig aufbläht und seine Dichte sehr niedrige Werte annimmt.

**Mit dem Weltraumteleskop Spitzer** konnten die Astronomen wertvolle Informationen über den Planeten HD 209458b gewinnen. Sie beobachteten den Stern, als sein Planet neben ihm stand, und ermittelten die Wärmestrahlung von beiden zusammengenommen. Anschließend beobachteten sie den Stern, als sein Planet hinter ihm stand (sekundäre Finsternis), und ermittelten die Wärmestrahlung des Sterns allein. Zieht man den letzten Wert vom ersten ab, bekommt man die Wärmestrahlung des Planeten. Sie verrät einiges über dessen Temperatur und Atmosphäre.

Infrarotsignal wird während der sekundären Finsternis schwächer



Atmosphärenspektrum



Natrium-Absorptionslinien

**Wenn ein Planet** vor seinem Stern vorüberzieht, geht ein winziger Teil des Sternlichts durch die obere Atmosphäre des Planeten. Dort befindliche Stoffe verschlucken spezifische Wellenlängen dieses Lichts und hinterlassen charakteristische Absorptionslinien im Spektrum.

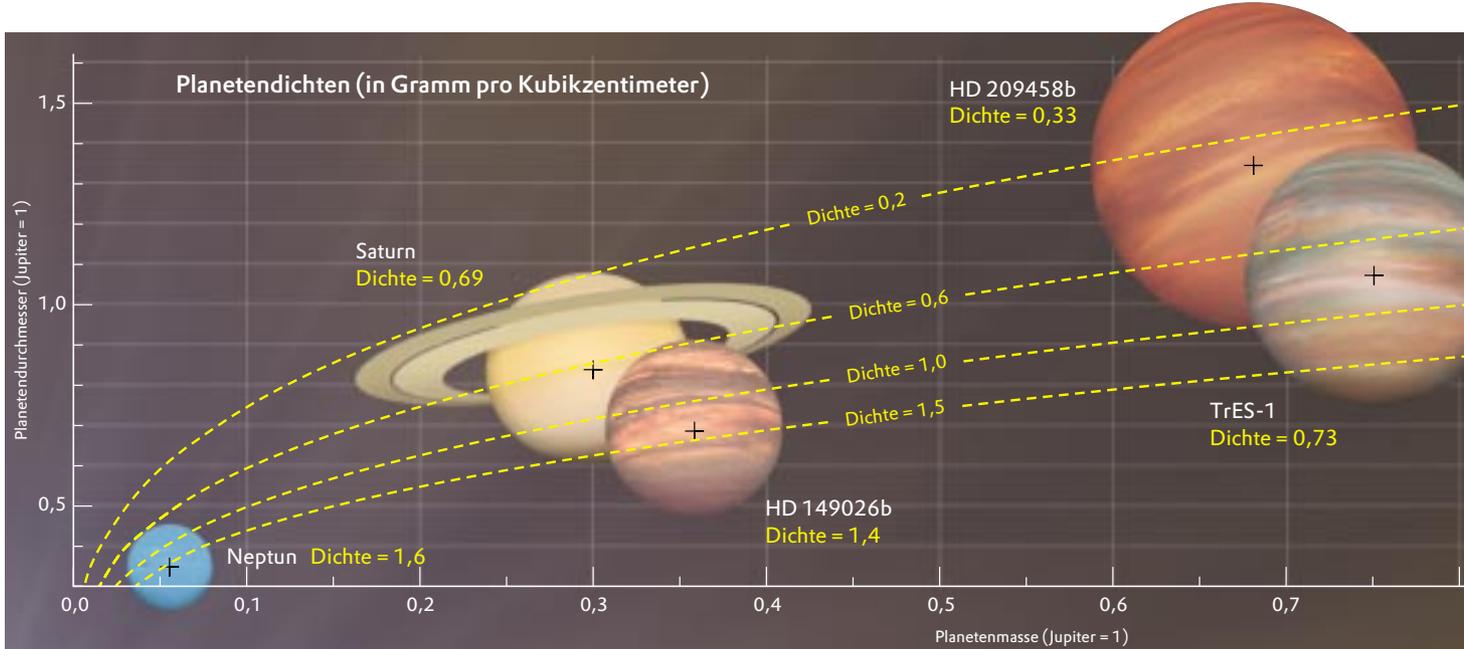
**Ein Planetentransit** verursacht eine geringfügige Helligkeitsabnahme des Zentralsterns. Der Effekt hängt vom Größenverhältnis des Planetenscheibchens zum Sternscheibchen ab. Das erlaubt den Astronomen, die Größe des Planeten zu ermitteln.

Stern erscheint während des Transits dunkler



Die Größen des Sterns, des Planeten und des Orbits sind maßstabsgerecht.

S&T, CASEY REED



**Der Vergleich** verschiedener Exoplaneten mit Wandelsternen unseres Sonnensystems zeigt, dass sie sich zum Teil stark voneinander unterscheiden. Eine Sonderstellung nimmt HD 209458b ein, der angesichts seiner Größe verblüffend leicht ist. Kein anderer bekannter Planet besitzt eine so geringe Dichte wie er.

- Diese Methode hat zwei Vorteile. Zum einen gibt die gesamte Oberfläche des Planeten Infrarotstrahlung ab, während die Absorption der planetaren Gashülle, die man bei der Transittechnik misst, nur von einer dünnen Atmosphärensicht verursacht wird. Zum anderen strahlen heiße Jupiter im Infrarot mit »lediglich« tausendfach geringerer Intensität als ihr Zentralstern – sie sind hier also nicht so stark überstrahlt wie bei sichtbaren Wellenlängen, wo die Leuchtkraft des Zentralgestirns zehntausendfach über der planetaren Begleiters liegt.

### Manche haben's heiß

Die Messungen Spitzers ergaben für die Oberflächentemperaturen von HD 209458b und TrES-1 Werte von 1130 Kelvin beziehungsweise 1060 Kelvin. Das liegt im erwarteten Temperaturbereich und bestätigt die Annahme, dass die Atmosphären heißer Jupiter von ihren jeweiligen Zentralsternen aufgeheizt werden. Viel mehr können wir momentan nicht dazu sagen, weil wir nur wenige Daten haben. Wir sind auf die Ergebnisse künftiger Messungen gespannt. Die kürzliche Entdeckung eines heißen Transitplaneten, der um den Stern HD 189733 kreist, verschafft uns eine weitere hervorragende Möglichkeit, die Atmosphären ferner Exoplaneten mit Hilfe sekundärer Finsternisereignisse zu untersuchen.

Für die nahe Zukunft erwarten wir zahlreiche Messdaten zum Exoplaneten HD 209458b, die es uns erstmals erlauben sollten, seine Gashülle detailliert zu beschreiben. Die wissenschaftlichen Instrumente an Bord von Spitzer können eine Vielzahl chemischer Substanzen auf ihm nachweisen – darunter Wasserdampf, Kohlenmonoxid und Methan – sowie seine Durchschnittstemperatur messen. Zusätzlich hat das kleine kanadische Weltraumteleskop MOST (Microvariability and Oscillations of Stars) den Planeten im Bereich des sichtbaren Lichts beobachtet, wobei es sich sekundäre Finsternisse zu Nutze machte, um das von ihm reflektierte Licht zu messen. Die Ergebnisse werden uns etwas über seine Wolkenbedeckung verraten. Auch Hubble leistet nützliche Dienste: Brown und seine Forscherkollegen analysieren derzeit Spektren, die es vor einigen Jahren aufnahm und aus denen sich auf die Konzentration des Wasserdampfs in der Atmosphäre von HD 209458b schließen lässt.

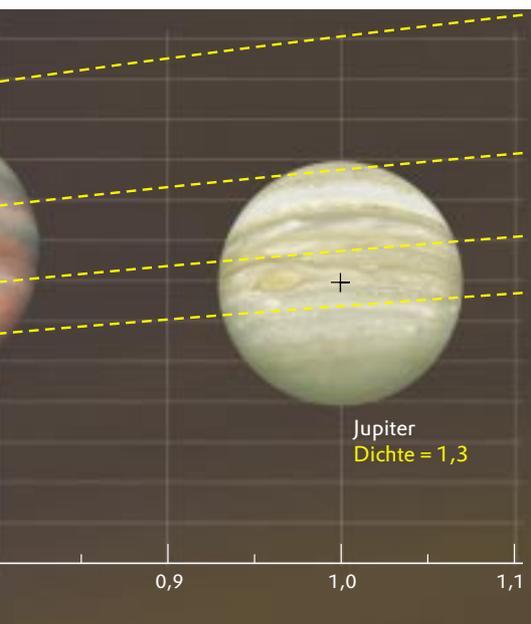
In der nächsten Zeit soll Spitzer sieben heiße Jupiter untersuchen, die nicht zur Transitklasse gehören. Das Ziel ist, die Helligkeitsschwankungen dieser Exoplaneten während des Umlaufs um ihre Sonnen zu messen. Heiße Jupiter sollten gravitativ an ihre Zentralsterne gekoppelt sein, sie sollten ihnen also immer dieselbe Seite zuwenden – so, wie es un-

ser Mond der Erde gegenüber tut. Mit anderen Worten: Auf ihrer einen Hälfte ist es immer Tag, auf der anderen immer Nacht. Das hat extreme Temperaturunterschiede und sehr starke Winde (vermutlich mit Geschwindigkeiten nahe der Schallgeschwindigkeit) zur Folge, die die Wärme von der Tag- zur Nachtseite transportieren. Eine Untersuchung der orbitalen Helligkeitsschwankungen könnte den Astronomen verstehen helfen, wie sich die absorbierte Strahlungsenergie auf dem Planeten verteilt.

### Die Jagd hat erst begonnen

In den kommenden Jahren könnten Himmelsdurchmusterungen irdischer Großteleskope auf Dutzende weitere Transitplaneten stoßen. Das flugzeuggestützte 2,5-Meter-Teleskop Sofia soll diese Transitplaneten von den oberen Schichten der Erdatmosphäre aus untersuchen. Sofia wird seinen wissenschaftlichen Betrieb voraussichtlich in knapp zwei Jahren aufnehmen, vorausgesetzt, die Nasa stellt weiterhin die erforderlichen finanziellen Mittel bereit.

Weitere Projekte stehen vor dem Start, darunter sind der europäische Satellit Corot, der 2006 abheben soll, sowie der Nasa-Satellit Kepler mit dem geplanten Starttermin im Jahr 2008. Beide sollen nach kleinen Transitplaneten suchen, denn nur Weltraumteleskope sind präzise genug, um solche Objekte aufzuspüren. Kepler wird neben jupiter- und neptunähnlichen Objekten sogar Exoplaneten von der Größe der Erde entdecken können. Dichtemessungen an den größeren und massereicheren Exoplaneten sollten es uns ermöglichen, ihre grobe



SPITZ/CASEY REED

Zusammensetzung und Entstehungsgeschichte zu untersuchen.

Im Jahr 2014 steht schließlich der Start des Weltraumteleskops James Webb (JWST) auf dem Programm. Es soll Transitplaneten in der gleichen Art und Weise untersuchen, wie das schon Hubble und Spitzer tun – freilich mit wesentlich

höherer Leistungsfähigkeit. Jupiterähnliche Planeten, die in großer Entfernung um ihre Zentralgestirne kreisen, interessieren uns dabei besonders, weil wir sie mit den Gasriesen in unserem eigenen Sonnensystem vergleichen wollen.

### Welten aus Wasser oder Edelstein

Das JWST sollte auch Wärmeemissionen von heißen Neptunen und vielleicht sogar heißen Erden registrieren können. Bis die Astronomen in der Lage sind, das Licht ferner Sterne ausreichend abzublenken, um direkte Fotos ihrer Exoplaneten zu erhalten, ist es allerdings noch ein weiter Weg. Vermutlich wird es erst in zirka fünfzehn Jahren so weit sein.

Jahrtausendlang haben sich die Menschen gefragt, ob sie im All allein sind. Bereits 350 v. Chr. dachte der griechische Philosoph Epikur über ferne Welten nach, die genauso oder anders beschaffen sein könnten wie unser Heimatplanet. Es wird noch wenigstens ein Jahrzehnt dauern – bis zum Start des Terrestrial Planet Finders der Nasa und der

europäischen Sonde Darwin – bis wir erdähnliche Welten aufspüren und direkt untersuchen können (siehe auch AH 11/2004, S. 16 und AH 12/2004, S. 16). Die kürzlichen Entdeckungen haben uns aber bereits gezeigt, wie sehr sich Exoplaneten zuweilen von den vertrauten Himmelskörpern in unserem Sonnensystem unterscheiden. Wir werden künftig aller Voraussicht nach auf noch mehr ungewöhnliche Welten stoßen – darunter solche, die zur Hälfte aus flüssigem Wasser bestehen, oder solche, die eine Hülle aus purem Diamant besitzen. Schon jetzt ist klar, dass die Natur wesentlich kreativer ist, als unsere talentiertesten Köpfe es je sein könnten. <<

**Sara Seager** ist Astrophysikerin an der Carnegie Institution of Washington, die sich auf die Exoplanetenforschung spezialisiert hat.

**Literatur zum Thema** gibt es auch in STERNE UND WELTRAUM: Heft 1/2006, S. 22 • Heft 2/2006, S. 32 • Spezialheft 1/2004 »Planensysteme«

## Der Beitrag der Amateure

**Wenn ein heißer Jupiter** vor einem sonnenähnlichen Stern vorüberzieht, vermindert er dessen Helligkeit um ungefähr ein Prozent. Erfahrende Astroamateure können das mit Teleskopen, CCD-Kameras und spezialisierter Software messen. Bis heute zeichneten Amateure die Transits von vier Exoplaneten auf: HD 209458b, TrES-1, HD 149026b und HD 189733b. Es handelte sich dabei um die Bestätigung professioneller Entdeckungen.

Könnten die Amateure vielleicht irgendwann auch selbst Transitplaneten entdecken? Ich glaube schon. Drei von vier heute bekannten Transitplaneten wurden zunächst mit Hilfe der Dopplerverschiebung im Licht ihrer Zentralsterne aufgespürt. Erst später wiesen professionelle Astronomen nach, dass sie von uns aus gesehen vor ihren Heimatsternen vorüberziehen.

Inzwischen hat sich bei vielen Forschergruppen eine fruchtbare Zusammenarbeit herausgebildet: Sobald die einen bei einem fernen Gestirn eine Dopplerverschiebung feststellen, die mit einer Periode von weniger als zehn Tagen schwankt, machen sich die anderen sofort an die Beobachtung des Gestirns, um möglichen Transits auf die Schliche zu kommen. Bei Dopplerverschiebungen mit Perioden zwischen zehn und

**Ron Bissinger** ist ein kalifornischer Hobbyastronom. Er hat die Transits von vier Exoplaneten beobachtet.

zweihundert Tagen verkünden die Teams ihre Entdeckung für gewöhnlich, bevor die Suche nach eventuellen Transitereignissen abgeschlossen ist. Hier liegt die Chance für kompetente, gut ausgerüstete Amateurastronomen.

Tim Castellano vom Ames Research Center der Nasa und ich haben das Netzwerk »Transitsearch.org« aus der Taufe gehoben, um Amateure auf mögliche Vorübergänge aufmerksam zu machen. Darin führen wir Beobachtungsberichte und umfangreiche Listen vermuteter Transitereignisse auf.

Für einen beliebigen Stern beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass er von einem Transitplaneten umkreist wird, gewöhnlich ein bis zwei Prozent. Doch der Aufwand, den man für dessen Entdeckung treiben muss, ist sehr hoch. Während der drei Jahre seit der Gründung unseres Netzwerks hatten wir diesbezüglich keinen Erfolg. Aber immerhin konnten wir zeigen, dass die planetaren Begleiter der Sterne Gliese 876, HD 68988, HD 80606, HD 37605, HD 74156 und HD 168746 nicht vor ihren Zentralgestirnen



RON BISSINGER

vorüberziehen. Indem wir die Zahl unserer Beobachtungsobjekte erhöhen, steigt auch die Chance auf einen Fund. Überdies haben wir gelernt, zahlreiche Fehlerquellen zu erkennen. Daher bin ich ziemlich optimistisch und glaube, dass unsere Suche innerhalb der nächsten zwei Jahre von Erfolg gekrönt sein wird. <<

**Gregory Laughlin** arbeitet als Astrophysiker an der University of California, Santa Cruz.