

In einer normalen Aufnahme des Sterns HR 8799 ist nichts Auffälliges zu sehen (links). Erst nach dem nahezu vollständigen Abzug des Lichts des Zentralsterns verbleiben die gut definierten Bilder der drei neu entdeckten Planeten HR 8799b, c und d.

## Erste Bilder von extrasolaren Planeten

*Der indirekte Nachweis der ersten Planeten bei anderen Sternen vor 14 Jahren hatte einen Wettlauf um die erste direkte Aufnahme von Exoplaneten ausgelöst.*

*Nun wurden gleich zwei solcher Bilder veröffentlicht.*

Die Fähigkeit, extrasolare Planeten direkt abzubilden, bedeutet einen entscheidenden Durchbruch. Denn sobald Direktaufnahmen möglich werden, ist der Weg frei für die detaillierte photometrische und spektroskopische Charakterisierung der Planeten und ihrer Atmosphären, und ein entscheidender Schritt in Richtung auf die Entdeckung erdähnlicher Planeten ist getan.

Für eine direkte Abbildung muss der enorme Helligkeitsunterschied zwischen Zentralstern und Planet bei kleinsten Winkelabständen überbrückt werden – eine große technologische Herausforderung für die eingesetzten optischen Systeme. Wegen dieser Hürde waren bei kleinen und mittleren Abständen bisher nur indirekte Methoden erfolgreich: Kleine Abstände sind für die Transitmethode günstig, bei der man den Durchgang eines Planeten vor der Scheibe seines Zentralsterns beobachtet; bei kleinen bis mittleren Abständen ist die Doppler- oder Radialgeschwindigkeitsmethode wirksam, bei der man die gravitative Rückwirkung des umlaufenden Planeten auf den Zentralstern nachweist, oder auch der Mikrolensing-Effekt, ein charakteristisches Flackern, das entsteht, wenn sowohl der Stern als auch sein Planet vor einem fernen Stern vorüberziehen.

Bei großen Abständen ab fünf Astronomischen Einheiten (AE) gab es bereits auf Abbildungen basierende, aber indirekte Hinweise für Planeten: Man fand Strukturen in zirkumstellaren Scheiben, die sich mit der dynamischen Wirkung von dort umlaufenden Planeten erklären lassen (Wega-Phänomen). Bei solchen größeren Abständen ist die Suche nach Exoplaneten

nur mit Direktaufnahmen Erfolg versprechend. Die getrennte Abbildung von Stern und Planet ist hier leichter, aber zusätzlich muss der Nachweis geführt werden, dass der Zentralstern und sein mutmaßlicher Planet tatsächlich gravitativ aneinander gebunden sind und uns nicht bloß aufgrund eines Projektionseffekts benachbart erscheinen.

Direktaufnahmen von extrasolaren Planeten haben im nahen Infrarot die größte Aussicht auf Erfolg. Das Helligkeitsmaximum des Zentralsterns liegt meist bei kürzeren Wellenlängen, der Planet aber leuchtet hier stärker, denn er strahlt die bei seiner Bildung entstandene, mäßige Akkretionswärme ab. Dieser Abkühlungsprozess kann viele hundert Millionen Jahre dauern; je jünger und massereicher, desto wärmer und heller ist der Planet.

Die Versuche, extrasolare Planeten abzubilden, konzentrieren sich also im Infraroten – und zwar bei möglichst nahen (näher als 300 Lichtjahre) und möglichst jungen Sternen (jünger als 100 Millionen Jahre) – hunderte solcher Sterne sind in der Sonnenumgebung bekannt. Unter diesen wurden bisher diejenigen der Spektralklasse A wegen ihrer großen Helligkeit gemieden. Aber wie interferometrische Beobachtungen im Millimeterwellenbereich zeigen, weisen die A-Sterne besonders große zirkumstellare Staub- und Gasscheiben auf (sie erreichen die hundertfache Masse des frühen Sonnennebels und Radien bis zu 450 AE): Demnach gibt es bei diesen Sternen auch weit draußen genügend Material für die Planetenbildung, und es sind auch in größeren Abständen noch Planeten zu erwarten.

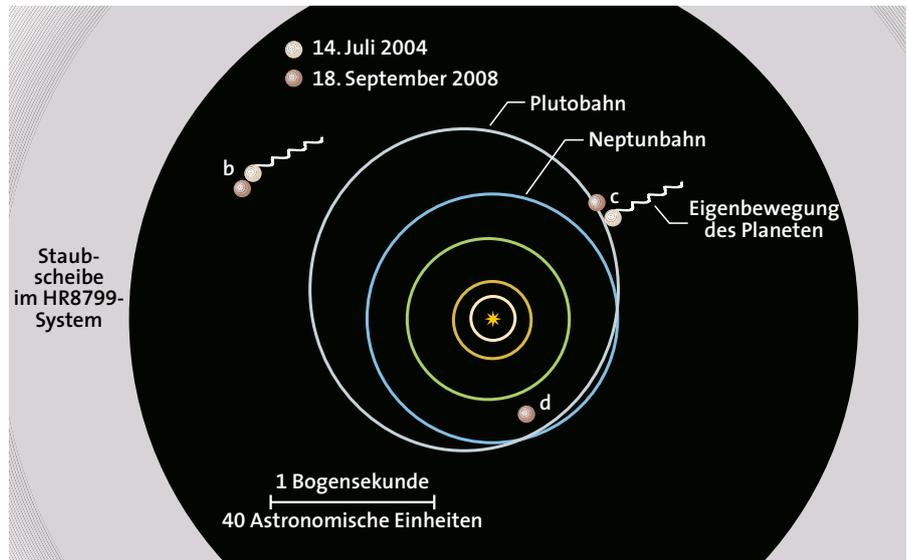
Die von solchen Kriterien geleiteten Versuche, extrasolare Planeten abzubilden, waren nun gleich zweimal erfolgreich: zum einen am Boden, unter Einsatz der größten Teleskope mit ihrer überragenden Lichtstärke und räumlichen Auflösung, zwecks Überwindung der atmosphärischen Störungen unterstützt durch modernste adaptive Optik, und zum anderen im Weltraum unter Einsatz des Weltraumteleskops Hubble (HST).

### Ein hochskaliertes Sonnensystem

Auf dem 4200 Meter hohen Mauna Kea (Hawaii) haben Christian Marois und Kollegen am Keck-II- und am Gemini-Teleskop (zwei Großteleskope der 8- bis 10-Meter-Klasse) mit einer hochauflösenden Infrarotkamera und modernster adaptiver Optik bei ein bis vier Mikrometer Wellenlänge gesucht. Bei HD 8799 wurden sie fündig, und zwar gleich dreimal. Dieser A5-Stern, dessen Masse etwa 1,5 Sonnenmassen beträgt, ist nach Infrarotmessungen von einer dicken, ausgedehnten zirkumstellaren Scheibe umgeben, deren Staubkomponente allein eine Masse von 0,1 Erdmassen besitzt. Der Abstand des inneren Randes dieser Scheibe vom Zentralstern beträgt etwa 75 AE.

Der Stern ist etwa 120 Lichtjahre von der Erde entfernt und rund 60 Millionen Jahre jung. Die Forscher fotografierten ihn über vier Jahre hinweg immer wieder. Dabei entstanden in den Einzelaufnahmen unvermeidliche Artefakte, die sich aber von echten Quellen dadurch unterscheiden, dass sie mit dem Bildfeld des Teleskops mitrotieren. Nach der Addition zahlreicher (zeitnaher) Einzelaufnahmen und

Hier sind die Ergebnisse der vierjährigen astrometrischen Analyse der Planeten HR 8799b, c und d zusammengefasst. Die geschlängelte Eigenbewegung der Planeten b und c entspricht jener des Sterns (nicht eingezeichnet), und ihre Bewegung relativ zum Stern entspricht einer nahezu kreisförmigen Kepler-Rotation. Zum Größenvergleich sind die Planetenbahnen unseres Sonnensystems mit eingezeichnet. Die Staubscheibe um HR 8799 ist schematisch angedeutet.



nahezu vollständiger Subtraktion der Artefakte und des Zentralsterns blieben die Bilder von zunächst zwei und später drei Planeten übrig (Bild links), die den Zentralstern in Abständen von 24, 38 und 68 AE umrunden – der äußerste von ihnen nicht weit innerhalb des inneren Randes der zirkumstellaren Scheibe, ganz analog zu Neptun, dessen Bahn nicht weit innerhalb des Kuipergürtels verläuft.

Dass die Planeten tatsächlich gravitativ an den Zentralstern gebunden sind, zeigt das Bild oben: Über die vier Jahre hinweg, in denen die Planeten b und c untersucht wurden, hatten sie, relativ zu fernen Feldsternen, die gleiche Eigenbewegung am Himmel wie der Zentralstern (sie ist geschlängelt, weil zusätzlich zur Bewegung des Sterns im Raum auch die Umlaufbewegung der Erde um die Sonne hier eingeht); und relativ zum Zentralstern haben sich beide in gleicher Richtung fortbewegt. Damit ist eindeutig erwiesen, dass hier kein Projektionseffekt, sondern tatsächlich ein gravitativ gebundenes System vorliegt. Planet b hat eine Umlaufzeit von 450 Jahren, Planet c von 190 Jahren; Planet d wurde im Juli 2008 entdeckt, seine Eigenbewegung ist noch nicht erkennbar, seine Bahnbewegung ist mit einer Umlaufbahn um den Zentralstern verträglich.

Die Massen der Planeten lassen sich aufgrund von Modellrechnungen aus ihrer Helligkeit in Verbindung mit dem bekannten Alter des Zentralsterns abschätzen. Es ergeben sich für die drei Planeten Massenwerte im Bereich von 5 bis 13 Jupitermassen – also alle drei noch unterhalb der Grenze von 13,6 Jupitermassen, welche die Planeten von den Brauen Zwergen

trennt. Wie beim Sonnensystem laufen die Riesenplaneten also in relativ großer Entfernung um, aber immer noch innerhalb des inneren Randes der zirkumstellaren Staubscheibe. Ihre aus dem Vergleich mit Modellrechnungen abgeleiteten Massen sind größer als diejenigen unserer Gasriesen, aber auch der Zentralstern ist deutlich massereicher als die Sonne. So viel kann man also jetzt schon sagen: In seinem Außenbereich ist das System eine hochskalierte Version des äußeren Sonnensystems.

Insgesamt scheinen diese Ergebnisse überzeugend für ein echtes Planetensystem zu sprechen. Eine Warnung muss allerdings ausgesprochen werden: Die Modell-

rechnungen, auf denen die Bestimmung der Massen der Planeten beruht, sind noch nicht an Objekten bekannter Masse kalibriert worden und sind daher mit beträchtlichen, schwer zu fassenden Unsicherheiten behaftet. So ist es nicht ausgeschlossen, dass sich mancher »Planet« noch als Brauner Zwerg erweisen wird.

### Ein Planet bei Fomalhaut?

Fomalhaut ist ein Stern erster Größe am irdischen Firmament. Er ist ein 100 bis 300 Millionen Jahre alter, nur 25 Lichtjahre entfernter Hauptreihenstern von Spektraltyp A3, umgeben von einer ausgedehnten kalten Staubscheibe, deren

## Ausschreibung

Auf der Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft in Potsdam, im September 2009, wird der

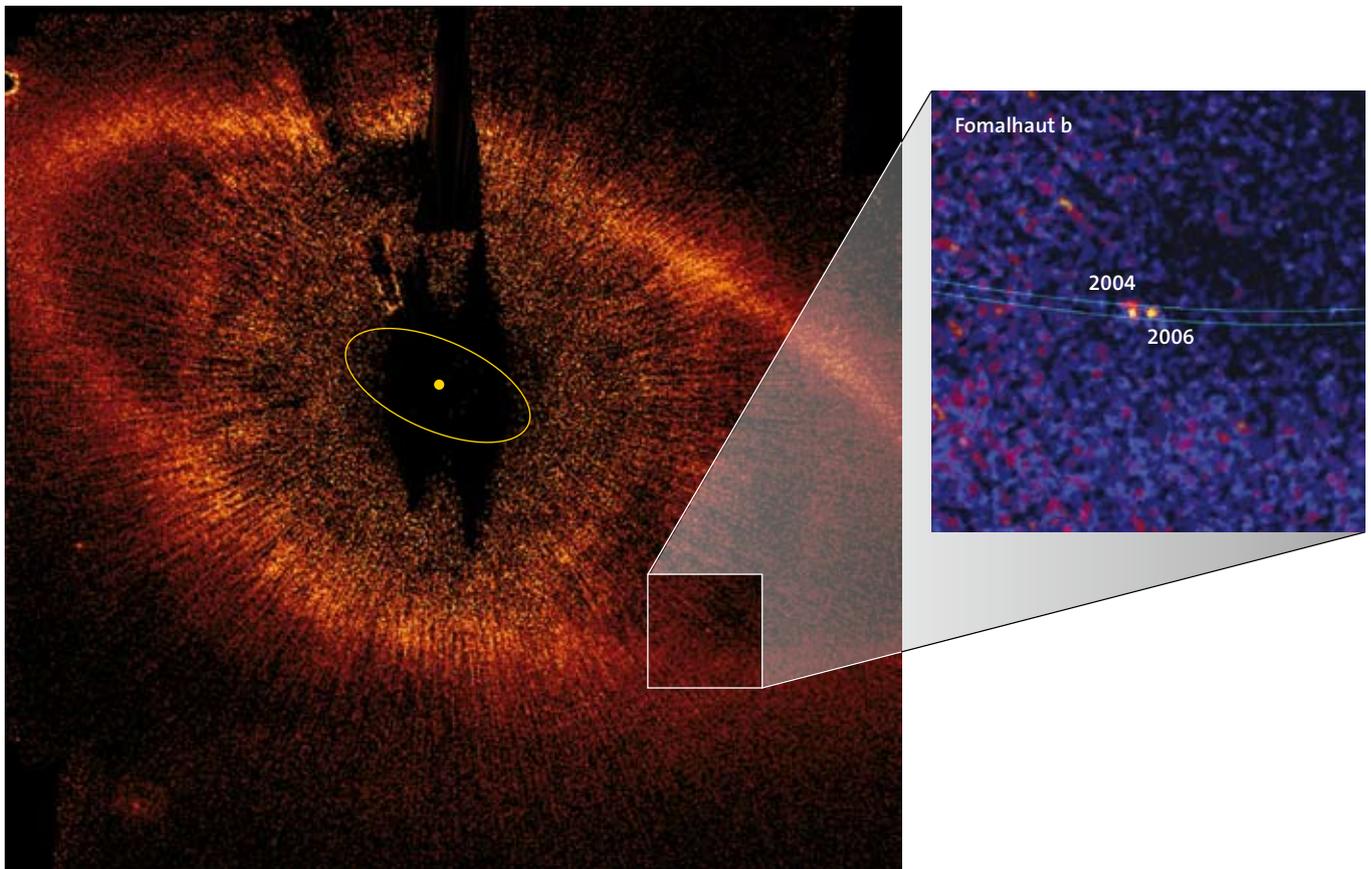
### Hanno und Ruth Roelin-Preis für Wissenschaftspublizistik

zum dritten Mal vergeben. Mit diesem Preis wird ein(e) Wissenschaftler(in) oder ein(e) Wissenschaftspublizist(in) ausgezeichnet, der/die neue Erkenntnisse aus der Astronomie und Weltraumforschung einer breiteren Öffentlichkeit besonders erfolgreich vermittelt hat. Es können auch in didaktisch-pädagogischer Absicht verfasste Darstellungen ausgezeichnet werden. Es sind Publikationen aller Art zugelassen (Druck, Rundfunk, Fernsehen, Internet...).

Der Preis wird vom Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, etwa alle zwei Jahre vergeben. In der Jury, die zu jeder Preisverleihung neu einberufen wird, sind sowohl Wissenschaftler als auch Wissenschaftspublizisten vertreten. Im Jahr 2009 beträgt das Preisgeld **3000 Euro**. Die Arbeit des (der) Preisträger(in) wird den Lesern unserer Zeitschrift »Sterne und Weltraum« in angemessener Form vorgestellt werden.

Es sind sowohl Eigenbewerbungen als auch Vorschläge von Dritten möglich. Bitte senden Sie Ihre Bewerbung bzw. Ihren begründeten Vorschlag an: *Dr. Jakob Staude, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg.*

**Einsendeschluss: 15. April 2009.**



Diese koronografische Aufnahme im Sichtbaren zeigt den Staubring um den Stern Fomalhaut (der selbst verdeckt ist) mit seiner gürtelartigen Struktur. In 12,7 Bogensekunden Abstand vom Stern, knapp innerhalb des Gürtels, leuchtet im blauen Quadrat der mögliche Planet Fomalhaut b. In der Vergrößerung sind seine Positionen für die Jahre 2004 und 2006 zu erkennen. Alle anderen Objekte stehen entweder im Hintergrund, oder es sind Artefakte. Der untere, lichtschwächere Teil des Ringes ist der fernere. Die eingezeichnete Ellipse entspricht der Bahn Neptuns um die Sonne.

gürtelförmige Struktur sich mit der gravitativen Wirkung eines umlaufenden Planeten erklären lässt. Wer mögliche Planeten eines solchen Sterns abbilden möchte, der hat einen wahrhaft enormen Helligkeitskontrast zu überbrücken. Paul Kalas und Mitarbeiter haben dafür das HST und eine spezielle, mit Koronografen ausgerüstete Kamera verwendet. Das Wesentliche am Koronografen ist eine Maske, die das Licht des Zentralsterns abblockt, so dass es den Detektor erst gar nicht erreicht.

Mit dieser Ausrüstung war 2004 auch bereits der Staubgürtel um Fomalhaut entdeckt worden, sowie eine Reihe schwacher

Quellen in seiner Umgebung. Die Suche nach solchen Quellen, welche die schnelle Eigenbewegung des Sterns (0,45 Bogensekunden pro Jahr) teilen, wurde 2005 am 10-Meter-Teleskop Keck II und 2006 am HST aufgenommen. Die Auswertung aller bis Mai 2008 gesammelten Daten brachte dann im sichtbaren Licht das kompakte Objekt Fomalhaut b und seine Bahnbewegung hervor (Bild oben). Im Anschluss wurde mit Gemini im nahen Infrarot, bei 3,8 Mikrometer Wellenlänge gesucht.

Fomalhaut b läuft anscheinend auf einer Keplerbahn in der Ebene der Staubscheibe, 18 AE vom Staubgürtel und 119 AE vom Zentralstern entfernt. Das Objekt kann die Struktur des Staubgürtels erklären, wenn seine Masse höchstens drei Jupitermassen beträgt. Dieser Wert ist verträglich mit seiner bei 0,8 Mikrometer Wellenlänge gemessenen Helligkeit. Dagegen erscheint die Helligkeit bei 0,6 Mikrometer überhöht – sie lässt sich mit der Annahme erklären, dass der Planet (wenn es einer ist) von einem hell reflektierenden Staubring umgeben ist. Schließlich sollte ein solcher Planet, der ja nicht älter sein kann als sein 300 Millionen Jahre alter Zentralstern, noch seine Kontraktionswärme abgeben und im nahen Infrarot beobachtbar sein. Eine solche Beobachtung ist noch nicht gelungen – die bisher

gemessenen oberen Grenzen sind bereits gefährlich niedrig und nicht ohne Weiteres mit den (an sich schon unsicheren) Modellrechnungen für einen »normalen« Planeten verträglich.

Deshalb ist nicht ausgeschlossen, dass Fomalhaut b nur eine lokale Verdichtung im Staubring ist, die zwar im reflektierten Licht hell leuchtet, aber nicht genügend Masse besitzt, um als echter Planet zu gelten und die Entstehung und Morphologie des Staubgürtels zu erklären. Eine solche Verdichtung hätte keine lange Lebenserwartung und würde sich nach einiger Zeit wieder auflösen. Auch ist aufgrund früherer Durchmusterungen bekannt, dass Planeten in so großen Abständen vom Zentralstern nur äußerst selten vorkommen können. Empfindlichere Messungen im nahen Infrarot werden helfen, die Natur von Fomalhaut b zu klären.

JAKOB STAUDE

#### Literaturhinweise

**Kalas, P. et al.:** Optical Images of an Exosolar Planet 25 Light-Years from Earth. In: Science 322, S. 1345–1348, 2008.

**Marois, Ch. et al.:** Direct Imaging of Multiple Planets Orbiting the Star HR 8799. In: Science 322, S. 1348–1352, 2008.



# NATURWISSENSCHAFTLICHES WISSEN AUS ERSTER HAND FÜR SCHULEN UND SCHÜLER



[WWW.WISSENSCHAFT-SCHULEN.DE](http://WWW.WISSENSCHAFT-SCHULEN.DE)

WIS

wissenschaft in die schulen!

## AUS DER FORSCHUNG IN DEN UNTERRICHT

Das Projekt **Wissenschaft in die Schulen!** – eine Investition in die Zukunft

**Naturwissenschaften und Technik** sind für Oberstufenschüler eine spannende Sache und für den Wirtschaftsstandort Deutschland von fundamentaler Bedeutung. Daher möchten wir gemeinsam mit Ihnen das Interesse der Jugendlichen an diesem Themenbereich wecken und fördern. Wir – das sind der Verlag Spektrum der Wissenschaft, die Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie und das Max-Planck-Institut für Astronomie.

**Bisher haben sich schon über 7500 Schüler für Wissenschaft in die Schulen! angemeldet.** Wenn Sie wissen möchten, wie Sie eine Klasse und das Projekt unterstützen können und was es mit **WiS!** auf sich hat, dann finden Sie hier die Informationen: [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de)

Mehr als tausend Schüler sind schon dabei. Tausend Dank an unsere Sponsoren!



AREVA Sachsenwerk GmbH | Förderverein des Thomas-Strittmatter-Gymnasiums St. Georgen | LS medcap GmbH | Märkischer Arbeitgeberverband | Symbio Herborn Group | Fürst-Johann-Moritz-Gymnasium Siegen | Großdrebritzer Agrarbetriebe | Freundeskreis des evang. Heidehofgymnasiums Stuttgart | Förderverein »Freunde des Helmholtzgymsnasiums« Zweibrücken | NDT Systems & Services Stutensee | Argillon GmbH | Verein der Ehemaligen des Gymnasiums Marianum Warburg | Stadtwerke Düsseldorf | Karl-Möller-Stiftung | BESSY – Berliner Elektronenspeicherring | AREVA Energietechnik GmbH | Leonie-Wild-Stiftung | Katholisches freies Gymnasium Regensburg | Weinmann GmbH Hockenheim