

Erster Blick auf ferne Welten

Vor zehn Jahren entdeckten Astronomen den ersten Planeten in einem anderen Sternsystem – indirekt, durch das leichte Zittern an seiner Sonne. Jetzt aber läuft das Rennen der Großteleskope, das erste Foto eines Exoplaneten zu schießen. >> Robert Naeye

Wissenschaftlicher Fortschritt muss sich immer gegen Skepsis behaupten. Auch in der Geschichte der Astronomie gibt es nur wenige Beispiele dafür, dass ein neues Phänomen nach kurzer Zeit akzeptiert wurde – etwa die Entdeckung des kosmischen Mikrowellenhintergrunds oder der Pulsare. Wesentlich öfter blieb das Bild strittig, bis sich im Lauf der Jahre ausreichend Puzzleteile zusammenfügten.

Genau in dieser Phase befindet sich die Exoplanetenforschung. Zwei internationale Teams haben letztes Jahr Aufnahmen vorgestellt, die einen Pla-

neten außerhalb unseres Sonnensystems zeigen sollen. Eines davon könnte als Meilenstein in die Geschichte eingehen – als Zeugnis des Augenblicks, in dem Großteleskope mit ihrer adaptiven Optik der Menschheit den ersten Blick auf eine weit entfernten Welt lieferten. Doch alle bis heute veröffentlichten Aufnahmen werden zurzeit noch kontrovers bewertet. Erst im Rückblick wird sich bestimmen lassen, wer tatsächlich das erste Bild eines Exoplaneten geschossen hat.

Im Gegensatz zu indirekten Methoden, die nur den Schwerkräfteinfluss eines Planeten auf seinen Stern messen

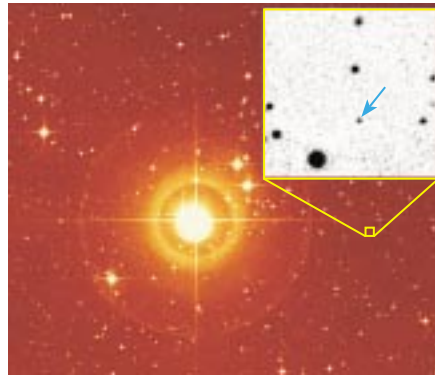
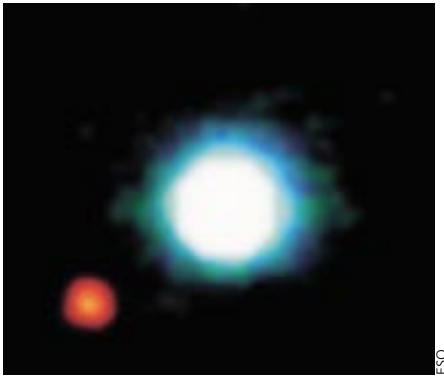
(»Planetenjagd bei Epsilon Eridani«, AH Juli / August 2003, S. 28), ermöglichen Bilder eine ganze Reihe von Aussagen über die Temperatur, die Zusammensetzung und vielleicht sogar die Meteorologie des Planeten.

Geschichtsträchtige Forschung

So wie es vor der ersten Entdeckung eines Exoplaneten Anfang der 1990er Jahre einige Male Fehlalarm gab, stellten sich bisher auch die fotografierten Exoplaneten bei näherer Untersuchung als andere Objekte heraus. Im Jahr 1998 veröffentlichte die Nasa eine Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble, >



Von seinem Mond aus betrachtet wäre dies vielleicht der Anblick des Planeten (oben links) im Dreifach-Sternsystem HD 18873. Irdische Teleskope können nur die Sonnen direkt sehen.



2M1207 & Co. in der Yepun-Aufnahme vom April 2004. Den Braunen Zwerg trennen 55 AE von seinem Begleiter (links), der fünf Jupitermassen schwer ist. Das 4,2-Meter-William-Herschel-Teleskop auf La Palma nahm im nahen Infrarot das sehr schwache Mitglied Nummer 70 (Pfeil) im Sternhaufen um Sigma Orionis (großes Foto rechts) auf.

> das den sonnenlosen Planeten TMR-1C im Sternbild Stier zeigt. Laut Nasa wurde er aus seinem Sternsystem herausgeschleudert. Doch die Skepsis der meisten Astronomen erwies sich als begründet, denn weitere Untersuchungen zeigten, dass TMR-1C ein entfernter Stern ist.

Ende der 1990er Jahre veröffentlichten verschiedene Forscherteams Aufnahmen und Spektren von kalten isolierten Objekten planetarer Masse in nahe gelegenen Sternentstehungsgebieten. Da einige Astronomen diese »Freiläufer« als leichtgewichtige Braune Zwerge klassifizieren, bleiben sie umstritten.

Mit mehr Power zum Ziel

Doch im Gegensatz zum TMR-1C-Fiasko scheint die Masse einiger dieser Objekte die des Jupiter tatsächlich nicht um mehr als das Dreifache zu übersteigen, somit handelte es sich um Planeten. Noch wissen die Forscher nichts über die Herkunft solcher Objekte, ob sie sich wie Sterne aus Gaswolken bilden oder ob sie als planetarische Embryos aus ihrem System geschleudert werden. Wie auch immer – es sind keine Planeten im herkömmlichen Sinn, da sie sich nicht im Schwerefeld eines Sterns befinden.

Die Großteleskope mit adaptiver Optik zum Ausgleich atmosphärischer Turbulenzen erlauben den Astronomen seit einiger Zeit, eine Strategie zur Abbildung von Exoplaneten zu verfolgen: Sie nehmen im Umkreis von 400 Lichtjahren

mehrere Hundert junger Sterne auf. Wenn dort bereits Planeten entstanden sind, müssen sie im Infrarotlicht noch sehr hell leuchten, da sie während ihrer Entstehung aufgeheizt wurden. Erst über Millionen von Jahren strahlen sie die Hitze ins All ab. Tatsächlich könnte eine der Aufnahmen von dieser Kampagne den Wettstreit um das erste Bild eines Exoplaneten gewonnen haben.

Ein Team französischer und amerikanischer Astronomen um Gaël Chauvin von der Europäischen Südsternwarte Eso untersucht seit November 2002 junge Sterne mit Yepun, einem der vier 8,2-Meter-Spiegel des VLT in Chile (Foto rechts). Im April 2004 nahm das Team den schwachen Braunen Zwerg 2MASSW J1207334-393254, kurz 2M1207, auf. Das am 10. September 2004 veröffentlichte Bild zeigt einen hundertmal lichtschwächeren roten Punkt, genannt 2M1207b, nur 0,8 Bogensekunden vom Braunen Zwerg entfernt (Foto oben links).

»Wir wussten sofort, dass wir auf einen guten Kandidaten für einen Exoplaneten gestoßen waren«, sagt Ben Zuckerman, ein Mitglied von Chauvins Team. Aber könnte dieser Begleiter nicht auch ein Hintergrundstern sein? Die Chance für ein zufälliges Zusammentreffen zweier so kalter Objekte ist zirka eins zu einer Million. Und ein mit VLT aufgenommenes Spektrum von 2M1207b zeigt Wasserdampf in der Atmosphäre. Das weist auf planetare Temperaturen hin.

Doch welche Masse hat 2M1207b? Liegen beide Objekte in 230 Lichtjahren Entfernung zur Erde, dann entsprechen die 0,8 Bogensekunden am Himmel einem Abstand von 55 Astronomischen Einheiten (AE) – das ist weiter als von Pluto zur Sonne. Damit stehen beide zu weit auseinander, um die Masse mit der Radialgeschwindigkeitsmethode direkt zu bestimmen. Stattdessen schätzten die Forscher sie mit Hilfe von Entwicklungsmodellen ab. Diese geben an, wie Planeten oder Braune Zwerge mit der Zeit abkühlen und verblassen. Ein Körper kann seine Wärme umso länger halten, je größer er ist. Solchen Modelle zufolge hat 2M1207b die fünffache Masse Jupiters.

Trabant eines Braunen Zwergs?

Die gleiche Methode ergibt für den Braunen Zwerg 25 Jupitermassen. Die Schätzung stimmt aber nur, wenn beide Objekte tatsächlich gleich weit von uns entfernt sind. Im Januar 2005 zeigte Glenn Schneider von der University of Arizona anhand von Hubble-Beobachtungen, dass beide Objekte die gleiche Eigenbewegung haben und daher wohl tatsächlich zusammengehören.

Diesen Befund bestätigte Chauvins Team im April 2005 durch Beobachtungen mit dem VLT. Die neuen Ergebnisse senken die Wahrscheinlichkeit, dass 2M1207b ein Hintergrundstern ist, auf eins zu einer Milliarde. »Unsere neuen Bilder zeigen ganz sicher einen Planeten. Wir haben somit die erste Aufnahme eines solchen außerhalb unseres Sonnensystems«, ist Chauvin überzeugt.

Allerdings zögern viele Forscher noch, 2M1207b einen Planeten zu nennen. Ihre Zurückhaltung rührt nicht nur daher, dass der Zentralkörper ein Brauner Zwerg und kein Stern ist. Auch der große Abstand zwischen den beiden ist ein Manko. Ihrer Auffassung nach handelt

(Exo-)Planet: Ein nicht selbstleuchtender größerer Himmelskörper, der die Sonne (beziehungsweise einen entfernten Stern) umläuft. Eine engere Definition besagt, dass sich Planeten in den Staubscheiben der jungen Sterne bilden. Im gleichen System halten sich dementsprechend alle in einer gemeinsamen Ebene auf.

Brauner Zwerg: Ein »verhinderter Stern« mit weniger als 84 Jupitermassen oder acht Prozent der Sonnenmasse; er entsteht beim Kollaps einer Gaswolke. Braune Zwerge mit mehr als 13 Jupitermassen können kurzzeitig eine Deuteriumfusion zünden. Manche Astronomen bezeichnen kleinere Vertreter als Braune Unterzwerge, andere ziehen bei dieser Masse die Grenze zu Planeten ungeachtet des Entstehungsprozesses.

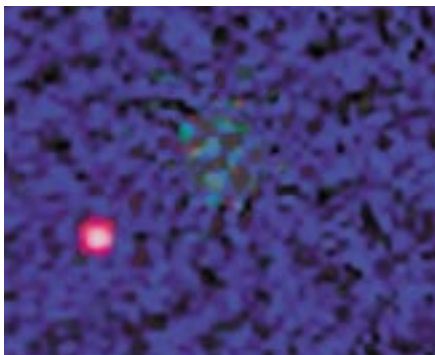
es sich eher um ein Binärsystem aus zwei leichten Braunen Zwergen. Denn das geringe Massenverhältnis von fünf zu eins und der weite Abstand von 55 Astronomischen Einheiten sind typisch für Doppelsterne. Vielleicht entstand das 2M-1207-System aus einer kollabierenden Gaswolke, die in zwei Teile zerfiel und ein 5- und ein 25-Jupitermassen-Objekt bildete.

Wenn Astronomen jedoch von Planeten reden, dann meinen sie damit Objekte, die sich aus einer Staubscheibe um einen Stern gebildet haben (siehe Glossar). Da die Scheiben um Braune Zwerge normalerweise massearm sind, ist es schwer vorstellbar, wie sich aus der von 2M 1207 ein Objekt mit fünf Jupitermassen in einem solch großen Abstand gebildet haben soll.

Was ist ein Planet?

»Wegen der eher unüblichen Bedingungen im 2M-1207-System vermuten wir, dass sich der Riesenplanet nicht so entwickelt hat wie die Planeten in unserem Sonnensystem«, räumt Chauvin ein. »Stattdessen muss er sich wie unsere Sonne gebildet haben – durch den Kollaps einer Gaswolke.«

Deshalb ist 2M 1207b für die Astronomen, die Planeten und Braune Zwerge anhand ihrer Entstehungsgeschichte unterscheiden, kein Planet. »Ich fände die Bezeichnung Brauner Unterzweig sehr treffend«, sagt Geoffrey Marcy von der University of California, Berkeley, einer der Köpfe des Teams, das die meisten der 160 bekannten Exoplaneten entdeckt hat. »Seine im Verhältnis zum Zentralkörper große Masse und seine Bahnentfernung lassen die Klassifizierung als Planet falsch und vereinfachend erscheinen«, so Marcy weiter. »Der Name Brauner Unterzweig dagegen signalisiert, dass er massereicher ist als ein Planet und darüber hinaus anders entstand.«



NASA / ESA / G.H. SCHNEIDER ET AL.



Diese Sicht teilen nicht alle Astronomen. Schließlich weiß niemand etwas über die Entstehung von 2M 1207b. Zudem erklärte die Internationale Astronomische Union IAU im Jahre 2003, dass sie eine Differenzierung von Planeten und Braunen Zwergen auf Grund ihrer Masse und nicht des Bildungsprozesses bevorzugt. Die Massengrenze lässt sich klar definieren: 13 Jupitermassen. Bei Objekten oberhalb dieser Grenze läuft während einer kurze Phase im Kern eine Deuteriumfusion ab. Kleinere Objekte haben eine zu geringe Temperatur und Dichte, um diese zu zünden.

Die Position der IAU vermeidet so die Zweideutigkeit des Entstehungsprozesses. »Massen kann man messen. Aber wie etwas vor langer Zeit entstand, lässt sich nicht herausbekommen«, sagt Zuckerman. »Was Astronomen interessiert, sind messbare Eigenschaften: chemische Zusammensetzung, Aufbau, Temperatur und Helligkeit. Es ist irrelevant, wie ein Körper gebildet wurde.«

Hubble bestätigte mit dieser Aufnahme im nahen Infrarot, dass 2M 1207b und der Braune Zwerg (weitestgehend ausgeblendet) wirklich zusammengehören.

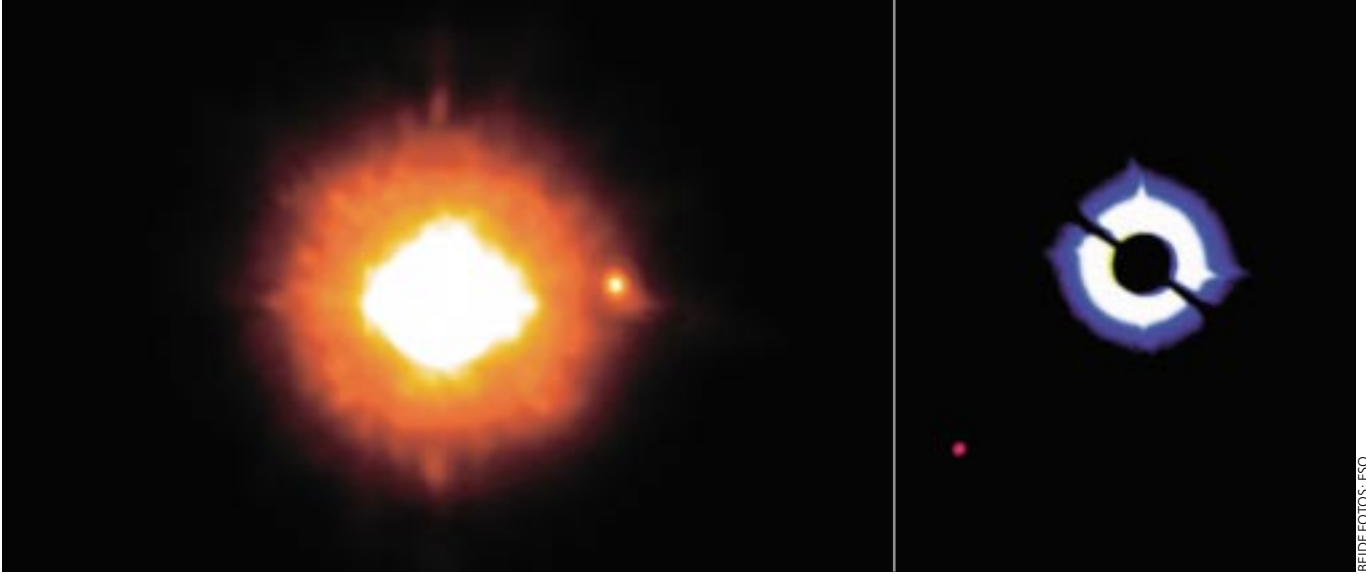
Yepun hat die Nase vorn

Dem im Vordergrund stehenden Teleskop des VLT-Quartetts gelang die erste Abbildung von 2M 1207b.

Gibor Basri, der viele Arbeiten zu dem Problem der Klassifikation veröffentlicht hat, stimmt Zuckerman zu: »Der Planet um 2M 1207 entspricht zwar nicht den Erwartungen: Er ist zu schwer und zu weit weg. Aber mich würde die Diskussion interessieren, die losbräche, wenn er eine halbe statt fünf Jupitermassen hätte. Ab welcher Masse ist ein Brauner Unterzweig ein Planet? Ich bevorzuge prinzipiell die einfache Definition, auch wenn sie sich nicht aus den Gegebenheiten unseres Sonnensystems ergibt.«

Sollten die Entwicklungsmodelle nicht völlig danebenliegen oder 2M 1207b wesentlich älter als die geschätzten acht Millionen Jahre sein, ist das Objekt gemäß der von der IAU bevorzugten Definition über die Masse ganz klar ein Planet. Setzt sich diese Sicht durch, dann wird Chauvins Bild in die Geschichts- und Lehrbücher eingehen.

Unabhängig von der Nomenklatur wirft 2M 1207b wichtige Fragen zur Entstehung von Sternen und Planeten auf. Im Jahr 1998 entdeckte das Team um >



> Marcy und seinen Kollegen Paul Butler von der Carnegie Institution in Washington zwei massereiche Begleiter um den Stern HD 168443. Diese kommen auf mindestens 7,7 beziehungsweise 17 Jupitermassen und haben Bahnen mit 0,3 und 3 AE Radius. Zwei Objekte, die ihr Zentralgestirn in der gleichen Ebene und mit Abständen von bis zu drei Astronomischen Einheiten umkreisen, lassen auf einen Ursprung schließen, der innerhalb einer Scheibe liegt, sie wären also Planeten. Dennoch sind beide, insbesondere der äußere, wesentlich massereicher als 2M 1207b.

Der Vergleich der beiden Systeme zeigt, dass sowohl der Stern- als auch der Planetenentstehungsprozess Objekte hervorbringen, deren Massenbereiche sich überschneiden. Definiert man die Objekte über ihre Herkunft, dann kann ein Planet durchaus gewichtiger sein als ein Brauner (Unter-)Zwerg. Denn warum sollte die Planetenentstehung genau bei dem Wert abbrechen, bei dem der Alternativprozess einsetzt? »Auch wenn eine Orange so schwer ist wie eine Tomate, wuchs eines an einem Zitrusgewächs und das andere an einem Nachtschattengewächs. Unsere Aufgabe ist es, die Tomaten und Orangen auseinander zu halten«, meint Carnegie-Astronom Alan Boss.

Haufenweise Kandidaten

Es gibt noch zwei weitere Teilnehmer im Rennen um das erste Exoplanetenbild. Ende April dieses Jahres veröffentlichte Chauvins Team die Aufnahme eines planetenähnlichen Begleiters des dreißig Millionen Jahre alten orangefarbenen Sterns AB Pictoris. Beide Objekte haben die gleiche Eigenbewegung, sind aber durch die riesige Entfernung von mindestens 260 AE getrennt. Gemäß den Mo-

Das VLT-Bild von GQ Lupi (links) zeigt einen Begleiter in 0,7 Bogensekunden Abstand – umgerechnet 100 AE – von dem erst eine Million Jahre alten Stern. AB Pictoris (rechts, ebenfalls eine Yepun-Aufnahme), der mit einem Koronografen ausgeblendet wurde, hat einen Planeten oder Braunen Zwerg in 260 AE Abstand zum Begleiter.

dellen liegt der 1700 Kelvin heiße Begleiter mit 13 bis 14 Jupitermassen genau an der Grenze zwischen Planeten und Braunen Zwergen. »Falls AB Pictoris b weniger als 13 Jupitermassen besitzt, sollten wir ihn 2M 1207b als zuerst abgebildeten Exoplaneten vorziehen, denn wir haben ihn bereits im März 2003 entdeckt«, sagt Zuckerman.

Ein paar Wochen zuvor veröffentlichte das Team um Ralph Neuhäuser von der Universität Jena ein weiteres mit Yepun aufgenommenes Bild eines möglichen Exoplaneten. Dieser umkreist keinen Braunen Zwerg, sondern den Protostern GQ Lupi im Abstand von ungefähr hundert Astronomischen Einheiten. Er wurde schon 1999 von Hubble und 2002 vom japanischen 8,2-Meter-Subaru-Teleskop aufgenommen. Dadurch konnten Neuhäuser und seine Kollegen die gemeinsame Eigenbewegung bestätigen.

Das Spektrum von GQ Lupi b weist auf einen Körper mit einer Temperatur von 2000 Kelvin hin. Jedoch liegt er – wegen des geringen Alters des Systems von nur einer Million Jahren – je nach angewandtem Entwicklungsmodell irgendwo zwischen einer und knapp über vierzig Jupitermassen. Allerdings, merkt Neuhäuser an, können die Unsicherheiten in den Modellen oder den Temperaturschätzungen auch 2M 1207b in den typischen Massenbereich der Braunen Zwerge verbannen. Sollten weitere Untersuchungen zeigen, dass sich GQ Lupi b dagegen am unteren Ende der Skala befindet, könnten die Astronomen

ihn als zuerst abgebildeten Exoplaneten ansehen.

Auch Neuhäuser legt den Finger auf die wunden Punkte in Bezug auf Erstentdeckung und Nomenklatur. »Was ist denn, wenn ein Objekt mit 12 Jupitermassen eines mit 14 umkreist? Ist das masseärmere dann auch ein Planet? Jedenfalls bleibt festzuhalten, dass in den Jahren 2004 und 2005 einige gute Kandidaten abgelichtet wurden und es nur eine Frage der Zeit ist, bis man sich einig ist, was nun ein Planet ist und was nicht. Und nicht vergessen: GQ Lupi b wurde schon 1999 aufgenommen!«

And the winner is ...

Ein halbes Dutzend Teams macht Jagd auf Planeten und einige Kandidaten warten darauf, dass ihre gemeinsame Eigenbewegung bestätigt wird. Die Astronomen lernen jedenfalls gerade aus der Flut neuer Entdeckungen und Folgeuntersuchungen viel über die Unterschiede substellarer Objekte, die Entstehung und Gemeinsamkeiten von Planeten. Diese neuen Informationen festigen das Wissen über diese Himmelskörper und irgendwann wird sich das »Foto-Finish« entscheiden. Vielleicht ist es ja eine der Aufnahmen auf diesen Seiten, die in die Geschichte eingehen und in künftigen Lehrbüchern als erstes Foto eines fernen Planeten verewigt wird. <<

Robert Naeye bevorzugt die Definition von Planeten über ihre Entstehung und nicht über ihre Masse.