

Der grosse Erfolg der Schweizer Planetenjäger

Die beiden Schweizer Astronomen **Michel Mayor (geb. 1942) und Didier Queloz (geb. 1966)** haben **1995 einen 50 Lichtjahre entfernten Planeten entdeckt, der um den sonnenähnlichen Stern 51 Pegasi kreist. Er hat halb so viel Masse wie der Jupiter und seine Umlaufzeit beträgt nur 4,23 Tage. Für diese Entdeckung werden die beiden Wissenschaftler mit dem diesjährigen Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.**

Seit 1901 verleiht der schwedische König jeweils am 10. Dezember, dem Todestag des Stifters Alfred Nobel, die begehrten Nobelpreise. Weltweit wurden bis heute 206 Physiker und 3 Physikerinnen geehrt. Darunter befinden sich 5 Schweizer (Charles Édouard Guillaume 1920, Heinrich Rohrer 1986, Karl Alexander Müller 1987, Michel Mayor 2019 und Didier Queloz 2019) sowie 3 Physiker, die auch durch andere Staaten für sich gezählt werden (Albert Einstein 1921,

Wolfgang Pauli 1945 sowie Felix Bloch 1952). Die Preissumme für jeden Preis beträgt rund 830 000 Euro und wird 2019 unter die beiden Schweizer (Abb. 1) und James Peebles (Kanada, USA) aufgeteilt. Letzterer wurde für theoretische Entdeckungen in der Kosmologie ausgezeichnet.

Suche nach Exoplaneten

Bereits in den 1980er-Jahren wurden Beobachtungen gemacht, die auf Exoplaneten hingedeutet haben. Zu Beginn der 1990er-Jahre wurden aus kleinen Schwankungen der Frequenz zweier Pulsare auf die Existenz von sie umkreisenden Planeten geschlossen. Die erste Entdeckung eines Exoplaneten, der um einen sonnenähnlichen Stern kreist, gelang dem Schweizer Astronomen Didier Queloz im Januar 1995. Er war damals Doktorand bei Michel Mayor, der das Astronomische Observatorium der Universität Genf leitete und die Radialgeschwindigkeitsmethode zur Auffindung von Exoplaneten entwickelte. Nach sorgfältiger Überprüfung der Resultate und weiteren Beobachtungen zum

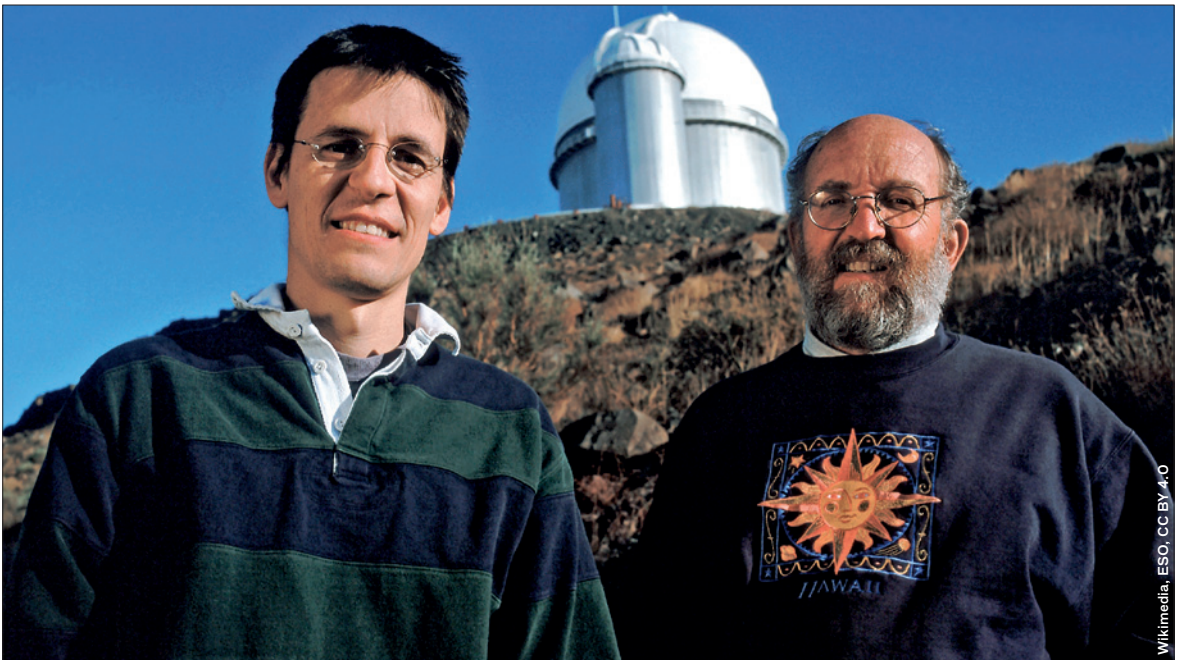


Abb. 1: Didier Queloz (l.) und Michel Mayor vor dem La Silla Observatorium der ESO in Chile im Jahre 2012. Eine Weiterentwicklung des Spektrometers ELODIE wurde ans Schweizer 1,2 Meter Euler Teleskop des ESO Observatoriums angeschlossen und ermöglichte die Entdeckung weiterer Exoplaneten. Mit einem dritten verbesserten Spektrometer konnte später sogar das Licht des Planeten 51 Pegasi b vermessen werden (vgl. Text).

Ausschluss möglicher alternativer Erklärungen publizierten die beiden Forscher die Entdeckung gemeinsam am 23. November 1995 in der Zeitschrift «Nature». Heute ist Mayor emeritiert und Queloz Physikprofessor am renommierten Cavendish Laboratory der Universität Cambridge (UK).

Entdeckung von 51 Pegasi b

Die beiden Astronomen untersuchten 142 Sterne, die sie aus einer grösseren Anzahl auswählten, die seit 15 Jahren unter genauerer Beobachtung von Mayor standen. Darunter fiel nach mehreren Monaten der Stern 51 Pegasi auf, dessen Radialgeschwindigkeit kleine regelmässige Schwankungen mit einer Periode von gut 4 Tagen zeigte.

Zur Messung der Radialgeschwindigkeit wurde das Spektrometer ELODIE verwendet, das in einer Zusammenarbeit zwischen den Observatorien Haute-Provence, Marseille und Genf entwickelt worden war. Es deckte den sichtbaren Spektralbereich ab und war durch Glasfaserkabel mit dem Fokus des 1,93 Meter Reflektors des Observatoire de Haute-Provence verbunden (Abb. 2). Dieses Observatorium liegt in Südfrankreich rund 90 Kilometer östlich von Avignon auf 650 Metern über Meer und weit von störenden Lichtquellen entfernt. Im Mittel sind 60 Prozent der Nächte geeignet für Beobachtungen, und die durch atmosphärische Störungen begrenzte Auflösung beträgt typischerweise 2 Winkelsekunden.

Physik der Geschwindigkeitsmessung

Umkreist ein Planet einen Stern, bewegt sich auch der Stern um den gemeinsamen Schwerpunkt. Da 51 Pegasi praktisch dieselbe Oberflächentemperatur hat wie die Sonne, kann für seine Masse näherungsweise die Masse der Sonne verwendet werden. Setzen wir die Daten für die Erde (Bahnradius 150 Mio. km, Umlaufzeit 365 Tage) und die gemessene Umlaufzeit von 51 Pegasi b (4,23 Tage) ins 3. Keplersgesetz ein, erhalten wir einen Bahnradius von 7,7 Mio. km.

Im besten Fall befindet sich die Erde in der Bahnebene des Planeten (Inklination = 90°) und die Planetenbahn ist genau kreisförmig (Exzentrizität = 0). Beide Parameter sind nicht bekannt und müssen aus den Messungen extrahiert oder geschätzt werden. Nehmen wir die Planetenmasse als halbe Jupitermasse an (0,5 Promille der Sonnenmasse), ergibt sich für den Idealfall mit Hilfe des Hebelgesetzes eine Amplitude der sinusförmigen Radialbewegung des Mittelpunktes von 51 Pegasi von etwa 3850 km.



Abb. 2: Das 1,93-Meter-Teleskop am Observatoire de Haute-Provence, mit dem der Exoplanet 51 Pegasi b im Jahre 1995 entdeckt wurde.

Daraus lässt sich eine maximale Radialgeschwindigkeit von 66 m/s berechnen ($2\pi \times 3850 \text{ km} / 4,23 \text{ d}$). Mayor und Queloz haben 60 m/s gemessen, d.h. unsere geschätzten Werte passen bereits gut zu den in **Abbildung 3** gezeigten Beobachtungen. Bei diesen Überlegungen muss im Auge behalten werden, dass die Radialgeschwindigkeit bezogen ist auf den Schwerpunkt des Systems, der sich mit rund 33000 m/s auf die Erde zubewegt. Die gemessenen maximal 60 m/s sind also eine sehr kleine Modulation der Relativgeschwindigkeit zwischen Erde und 51 Pegasi, die zudem aufgrund der Bewegung der Erde um die Sonne nicht konstant ist.

Das Hauptproblem bei der Jagd nach Exoplaneten mit Hilfe dieser Methode bestand also darin, periodische Schwankungen der Radialgeschwindigkeit von Sternen möglichst genau zu messen. Da sich die Fraunhoferlinien (dunkle Absorptionslinien im Sternspektrum, die durch Elemente in der Sternatmosphäre verursacht werden) abhängig von der Radialgeschwindigkeit verschieben, kann auf der Basis der Relativitätstheorie die Radialgeschwindigkeit

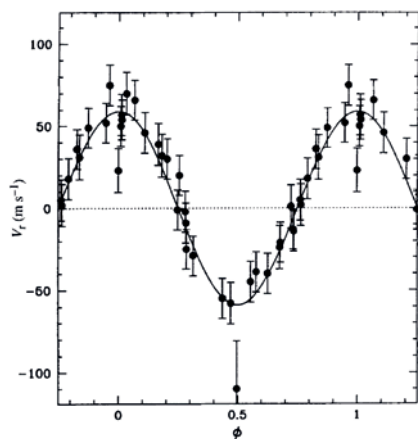


Abb. 3: Zusammenstellung aller 48 Messpunkte, die während 4 Beobachtungsperioden zwischen Sept. 1994 und Sept. 1995 erhoben wurden. Die Grafik zeigt die Radialgeschwindigkeit des Sterns 51 Pegasi in Metern pro Sekunde. Die durchgezogene Kurve zeigt 1,5 Perioden einer Sinusfunktion mit einer Amplitude von 60 m/s und einer Periodendauer von 4,23 Tagen. (Bild aus Mayor & Queloz 1995)

berechnet werden. Weil die gesuchte Geschwindigkeit v in den entsprechenden Beziehungen nur in der Kombination $1 \pm v/c$ vorkommt (c = Lichtgeschwindigkeit), ergeben sich nur winzig kleine Rot- oder Blauverschiebungen. Um diese genügend genau messen zu können, wurde das Spektrometer ELODIE entwickelt, das mit Hilfe einer Kreuzkorrelationsmethode den Mittelwert der Verschiebung von 5000 stellaren Absorptionslinien bestimmt und so die geforderte Genauigkeit von etwa 15 m/s erreichen kann.

Helvetios und sein Planet Dimidium

Der mit einer scheinbaren Helligkeit von 5,5 Magnituden knapp von Auge sichtbare Stern 51 Pegasi heisst heute zu Ehren der Entdecker Helvetios. Er liegt im Sternbild Pegasus (Deklination $+20,77^\circ$, Rektaszension 22,96h) in einer Entfernung von 50 Lichtjahren. Am bequemsten beobachtbar ist Pegasus vom September bis Januar nach Einbruch der Dunkelheit bis gegen Mitternacht im Osten bis Süden gegen Westen wandernd in 40° bis 60° Höhe über dem Horizont. Der Stern hat gemäss neuesten Messungen 1,11 Sonnenmassen und sein Radius beträgt 1,27 Sonnenradien (vgl. Extrasolar Planets Encyclopedia).

Sein Planet heisst Dimidium (lat. «Hälfte», erinnernd an seine halbe Jupitermasse) und ist nach spektroskopischen Messungen der Europäischen Südsternwarte ESO ein Gasriese mit 0,47 Jupitermassen, dessen Bahnebene nur etwa 10° von der Sichtlinie abweicht (Inklination 80°) und dessen Bahn fast

kreisförmig ist (Exzentrizität = 0,0069). Allerdings beträgt sein Radius fast das Doppelte des Jupiterradius. Mit seinem äusserst kleinen Abstand zu Helvetios wurde eine Oberflächentemperatur von 1255 Kelvin (982°C) berechnet. Es war das erste Mal, dass mit einer Weiterentwicklung des ELODIE-Spektrometers Licht von einem Exoplaneten direkt beobachtet und vermessen werden konnte (Martins 2015).

Entdeckung weiterer Exoplaneten

Die beiden Schweizer Forscher haben eine wahrhaftige Lawine ausgelöst: Die Extrasolar Planets Encyclopaedia umfasst heute 4121 Planeten in 3063 Planetensystemen, worunter 670 Systeme mit mehreren Planeten sind. Ein erdähnlicher Exoplanet befindet sich nicht darunter. Dies dürfte auch daran liegen, dass die meisten Exoplaneten mit Methoden entdeckt wurden, die nur auf grosse und sich schnell bewegende Planeten ansprechen, wie die 1995 benutzte Radialgeschwindigkeitsmethode.

Die meisten der entdeckten Exoplaneten haben deshalb Massen zwischen 0,01 und 100 Jupitermassen und drehen sich sehr schnell (meist wenige Tage) um den Zentralstern. Es wurden nur 15 Exoplaneten gefunden, die eine kleinere Masse als die Erde haben: 3 davon liegen knapp unter der Erdmasse, 2 haben etwa Mondmasse und der kleinste liegt rund 20 mal unterhalb der Mondmasse. Alle haben Umlaufzeiten von weniger als 28 Tagen (darunter sind 5 mit weniger als 1 Tag), sind also nahe beim Zentralstern und entsprechend heiss. Zweifelsohne werden in Zukunft auch Planeten gefunden, auf denen Leben möglich sein könnte. Neueste Resultate aus der Kometenforschung legen nahe, dass die Entstehung von Leben universal ist und deshalb an vielen Orten im Universum zu erwarten ist (vgl. Beitrag von K. Altwegg im Neujahrsblatt auf das Jahr 2020).

Fritz Gassmann

Der Autor ist Physiker und arbeitete früher am Paul Scherrer Institut PSI in Villigen.

Literatur

Extrasolar Planets Encyclopaedia:
<http://exoplanet.eu/catalog>

Martins J.H.C. et al. 2015. Evidence for a spectroscopic direct detection of reflected light from 51 Peg b. *Astronomy & Astrophysics* 576

Mayor M. & Queloz D. 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *NATURE* 378: 355-359. Der Artikel ist verständlich geschrieben und gratis downloadbar unter www.nature.com/articles/378355a0