



Danielle Futselaar, www.artsource.nl

Schnelle Radioblitze stammen aus ferner Galaxie

WIS wissenschaft in die schulen!

Zum ersten Mal haben Astronomen die Herkunft eines so genannten schnellen Radioblitzes bestimmt. Der Erfolg etabliert die Ausbrüche als kosmische Objekte, beantwortet aber längst nicht alle Fragen.

Ganz schön unruhig ist das Universum im Radiolicht: Fünf- bis zehntausend Mal pro Tag blitzt es für Millisekunden irgendwo am Himmel auf. Nun ist es zum ersten Mal gelungen, die Herkunft eines dieser Blitze zu bestimmen: Er stammt aus einer rund drei Milliarden Lichtjahre entfernten Zwerggalaxie. Das etabliert die »Fast Radio Bursts« (FRBs) als ein kosmisches und damit enorm energiereiches Phänomen – doch wie die Blitze entstehen, vermögen die Astronomen immer noch nicht zu sagen.

Zehn Jahre sind seit der Entdeckung des ersten FRBs mittlerweile vergangen.

Ihre Erforschung gestaltet sich aus zwei Gründen schwierig:

- Zum einen haben Radioteleskope stets nur einen kleinen Himmelsausschnitt im Blick. Da FRBs am Himmel aber völlig zufällig verteilt auftauchen, ist ihre Entdeckung reiner Zufall. Deshalb registrierten Radioastronomen trotz der großen Häufigkeit der FRBs bislang weniger als zwei Dutzend von ihnen. Nach der tatsächlich aufgezeichneten Anzahl der täglichen Radioblitze ist die anfangs genannte hohe Blitzrate nur eine Hochrechnung.

- Das zweite Problem betrifft das Auflösungsvermögen eines einzelnen Radiote-

leskops. Es reicht nicht aus, um die Position eines Blitzes auf Bogensekunden genau zu bestimmen. Daher ließ sich bislang kein optisches Gegenstück identifizieren, und die Herkunft der Blitze blieb unklar. Stammen sie aus der Milchstraße, etwa von besonders leuchtkräftigen Pulsaren, oder entstehen sie in fernen Galaxien und sind damit extrem leuchtstark?

Die Anfang 2016 verkündete Entdeckung eines Radionachglühens des Blitzes FRB 150418 in einer Galaxie basierte auf statistischen Überlegungen und galt daher nicht als vollkommen gesichert (siehe SuW 8/2016, S. 21–23). In der Zif-

Die präziseste Positionsbestimmung eines Radioblitzes gelang mit den Radioantennen des europäischen Very-Large-Baseline-Netzwerks, deren größte die 100-Meter-Antenne in Effelsberg bei Bonn ist, in Kombination mit dem 300-Meter-Radioteleskop bei Arecibo auf Puerto Rico. Auf interferometrischem Weg bestimmten sie den Ort des Blitzes FRB 121102 am Himmel auf Bruchteile von Bogensekunden. Obwohl die zugehörige Galaxie rund drei Milliarden Lichtjahre entfernt ist, ließen sich die Pulse der Radioquelle mit dieser Methode auf wenige 100 Lichtjahre genau lokalisieren (künstlerische Darstellung).

fernfolge der Bezeichnung ist das Datum des Blitzes kodiert: JJMMTT – jeweils zwei Ziffern für das Jahr (J), den Monat (M) und den Tag (T).

Nun jedoch ist es einem internationalen Team um Shambrata Chatterjee von der Cornell University im US-Bundesstaat New York gelungen, eine Galaxie als Ursprungsort eines FRB zu identifizieren. Dass dies gelang, liegt an einer Besonderheit des untersuchten Blitzes FRB 121102: Er ist der erste und bislang einzige bekannte Fast Radio Burst, dessen Ausbrüche sich wiederholen. Dank dieser Eigenschaft verfolgten die Wissenschaftler mehrere Blitze »live« – üblicherweise fand man die bisherigen FRBs erst nachträglich in den Archivdaten einzelner Radioteleskope – so war es auch bei den ersten zehn Pulsen von FRB 121102 (siehe SuW 8/2016, S. 21).

Warten kann sich lohnen

Im Unterschied zu anderen Radioblitzen richteten Chatterjee und seine Kollegen die Antennen des Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) in New Mexico nun auf FRB 121102 aus und hofften, dass er erneut aufblitzt. Und tatsächlich, das geschah zum ersten Mal am 23. August 2016. Mittlerweile empfing das VLA insgesamt neun Blitze von dieser Radioquelle im Sternbild Fuhrmann. Mit dem weit besseren Auflösungsvermögen des VLA war es möglich, die Position des Blitzes auf eine zehntel Bogensekunde genau zu bestimmen.

Nahe dieser Position fanden die Forscher eine permanente, schwache Radioquelle und mit Hilfe von Archivbildern des Gemini-Teleskops North auf dem Mauna Kea in Hawaii auch eine zugehö-

rige Galaxie – rund drei Milliarden Lichtjahre vom Milchstraßensystem entfernt. Dies folgt aus Messungen mit dem Gemini Multi-Object Spectrograph (GMOS) am Teleskop Gemini North, die ganz kurz nach dem ersten vom VLA registrierten Ausbruch durchgeführt wurden.

Leider passt keines der gängigen Erklärungsmodelle für die Radioblitze zu den Beobachtungsdaten. Sicher ist, dass in einem FRB große Energiemengen auf kleinstem Raum freigesetzt werden: Der Entstehungsort kann höchstens einige hundert Kilometer groß sein – nicht größer als die Strecke, welche die Radiostrahlung während der Dauer eines Ausbruchs zurücklegt. Bei einer Blitzdauer von zwei Millisekunden ergibt sich eine Ausdehnung von $2 \text{ ms} \cdot 300\,000 \text{ km/s} = 600 \text{ km}$.

Wird die Strahlung eines typischen FRBs isotrop in den Raum gestrahlt, dann gleicht sein Energieausstoß demjenigen eines aktiven Galaxienkerns (AGN, active

galactic nucleus) im Radiobereich. Die bolometrische (über alle Wellenlängen summierte) Leuchtkraft der AGN ist um Größenordnungen höher. Sendet die Quelle eines FRB die Strahlung jedoch gebündelt in eine Vorzugsrichtung, so ist der Energieausstoß natürlich deutlich geringer.

Welcher Natur ist die Quelle?

In einem AGN verschlingt ein extrem massereiches Schwarzes Loch Materie und setzt dabei große Mengen an Strahlung frei. Solche Objekte beobachtet man üblicherweise in massereichen Galaxien. Die identifizierte Heimatgalaxie von FRB 121102 ist aber ein Zwerg – nur ein Zehntel so groß wie unser Milchstraßensystem mit nur einem Tausendstel seiner Masse. Ein Schwarzes Loch als Verursacher scheint auch deshalb unwahrscheinlich, weil die permanente Radioquelle und auch die Blitze des FRBs nicht aus dem Zentrum der Galaxie kommen.

Im kleinen Bild rechts ist die Heimatgalaxie von FRB 121102 markiert. Die Aufnahme stammt vom Acht-Meter-Teleskop Gemini North auf Hawaii. Die Galaxie ist nur ein Zehntel so groß wie unser Milchstraßensystem und hat nur ein Tausendstel ihrer Masse. Dies und die Position der Blitze im Randbereich der Galaxie sprechen gegen einen typischen aktiven Galaxienkern als Ursache der Fast Radio Bursts (FRBs).



Gemini Observatory / AURA / NSF / NRC / SuW-Grafik

Die Blitze stammen von einem Ort rund 0,2 Bogensekunden entfernt davon, was etwa der Hälfte der Ausdehnung der Galaxie selbst entspricht. Das zeigen Beobachtungen, die Benito Marcote vom Joint Institute for VLBI in Europe und ein Team von Radioastronomen mit dem europäischen Very-Long-Baseline-Verbund von Radioantennen zusammen mit dem großen Radioteleskop bei Arecibo auf Puerto Rico durchgeführt haben. Mit dem VLBI-Netzwerk war eine nochmals um den Faktor zehn genauere Positionsbestimmung möglich. Allerdings: Es ist schwer, das Zentrum einer Zwerggalaxie zu bestimmen, was die Aussage relativiert, es könne kein zentrales Schwarzes Loch sein.

Magnetar oder Magnetar?

Eine alternative Erklärung wäre ein Magnetar, also ein aus einer Supernova-Explosion stammender Pulsar (ein rasch rotierender Neutronenstern) mit sehr starkem Magnetfeld. Solch ein Magnetar könnte leuchtstarke Radioblitze erzeugen.

Eine Möglichkeit wäre dabei, dass der Magnetar die FRBs direkt emittiert. Für dieses Szenario sprechen die große Zahl Pulsare respektive Magnetare in unserem Milchstraßensystem, die Radiopul-

se aussenden. Für dieses Modell müsste noch ein Weg gefunden werden, der die hohen Energien erklärt. Außerdem würde man in diesem Fall regelmäßige Pulse erwarten als es bei FRB 121102 beobachtet wurde. Er kann zwar während einer aktiven Phase mehrmals pro Stunde ausbrechen, dann aber auch für Monate schweigen.

Die andere Möglichkeit wäre ebenfalls ein Magnetar, der starke Ausbrüche bei höheren Energien produziert und damit Partikel auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt. Diese könnten dann mit dem Supernova-Überrest in Wechselwirkung treten und den FRB erzeugen. Wie das genau geschehen soll, ist noch nicht geklärt.

Die erstmalige Identifizierung der Herkunft eines Fast Radio Bursts beantwortet die entscheidende Frage nach der Entstehung der Blitze also nicht. Als bislang einziger FRB mit wiederholten Ausbrüchen ist FRB 121102 zudem wohl kein typischer Vertreter seiner Klasse. Dass ausgerechnet diese einzigartige Eigenschaft die Grundvoraussetzung seiner Identifizierung mittels Radiointerferometrie war, schwächt die Hoffnung, alsbald auch die Herkunft all der anderen, »einmaligen« Radioblitze zu ergründen.

JAN HATTENBACH ist Physiker und Amateur-astronom. In seinem Blog »Himmelslichter«, zu finden unter www.himmelslichter.net, schreibt er über alles, was am Himmel passiert.

Literaturhinweise

Chatterjee, S., et al.: The Direct Localization of a Fast Radio Burst and its Host.

In: Nature 541, S. 58–61, 2017

Hattenbach, J.: Hell, kurzlebig und sehr weit weg: Das Rätsel der schnellen Radioblitze. In: Sterne und Weltraum 8/2016, S. 21–23

Marcote, B. et al.: The Repeating Fast Radio Burst FRB 121102 as seen on Milliarcsecond Angular Scales. In: The Astrophysical Journal Letters 834, L8, 2017

Tendulkar, S., et al.: The Host Galaxy and Redshift of the Repeating Fast Radio Burst FRB 121102. In: The Astrophysical Journal Letters 834, L7, 2017

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051494



Spektrum SPEZIAL

JETZT
IM ABO
BESTELLEN
UND 15%
SPAREN

Die **Spektrum Spezial**-Reihe **PMT** erscheint viermal pro Jahr – im Abonnement für nur € 29,60 inkl. Inlandsporto (ermäßigt auf Nachweis € 25,60). Noch vor Erscheinen im Handel erhalten Sie die Hefte frei Haus und sparen dabei über 15 % gegenüber dem Einzelkauf!

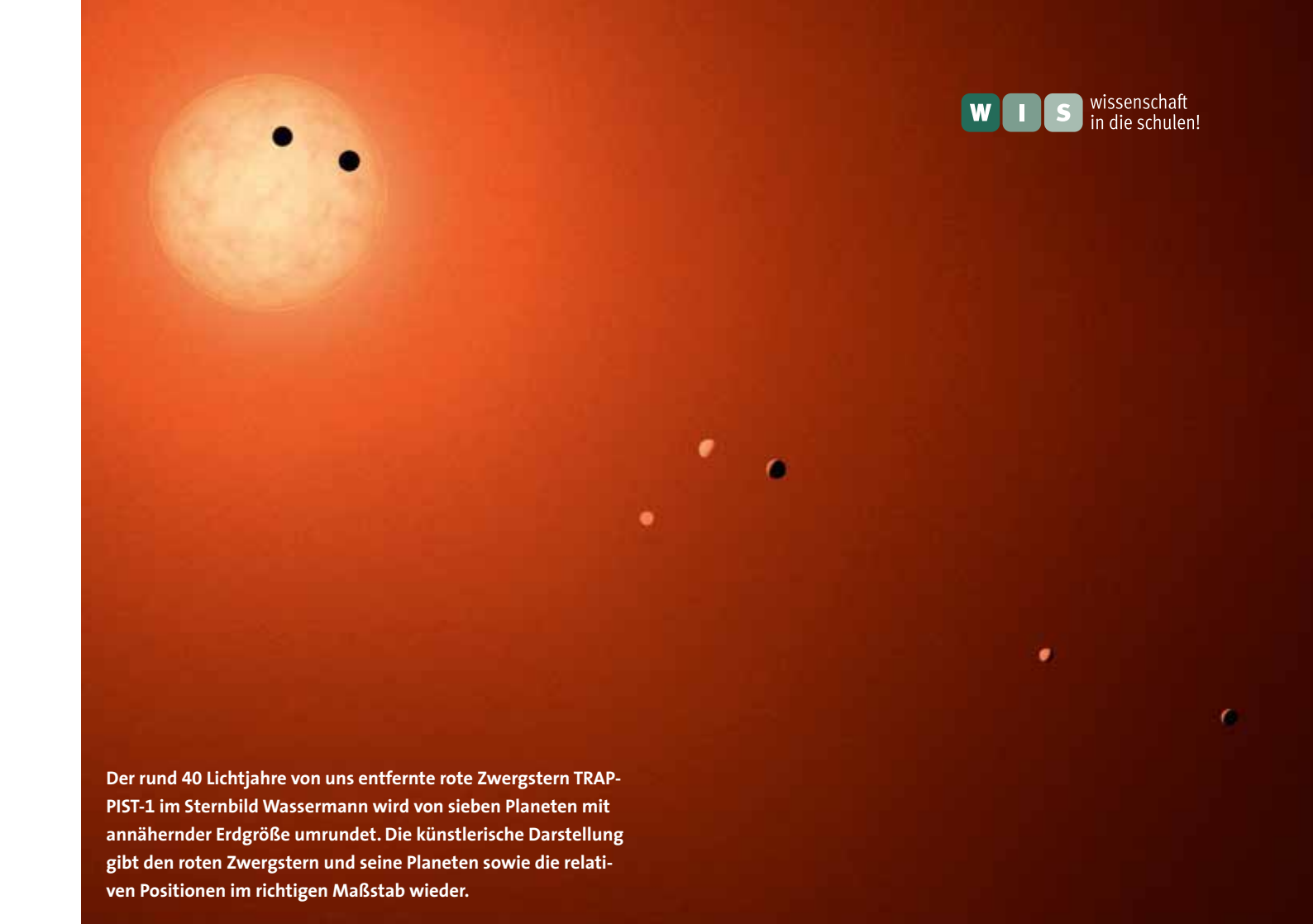
**Bestellen Sie jetzt
Ihr Spezialabo!**

service@spektrum.de

Tel.: 06221 9126-743

www.spektrum.de/spezialabo

Physik Mathematik Technik



Der rund 40 Lichtjahre von uns entfernte rote Zwergstern TRAPPIST-1 im Sternbild Wassermann wird von sieben Planeten mit annähernder Erdgröße umrundet. Die künstlerische Darstellung gibt den roten Zwergstern und seine Planeten sowie die relativen Positionen im richtigen Maßstab wieder.

NASA / JPL-Caltech

TRAPPIST-1: Neues zum Exoplanetensystem

Eine erste Auswertung von Messdaten des Weltraumteleskops Kepler ergab neue Informationen über den Stern und die sieben Planeten des Systems TRAPPIST-1. Der Stern ist offenbar zwischen drei und acht Milliarden Jahre alt und sein Planetensystem daher wohl auch über lange Zeiträume hinweg stabil geblieben.

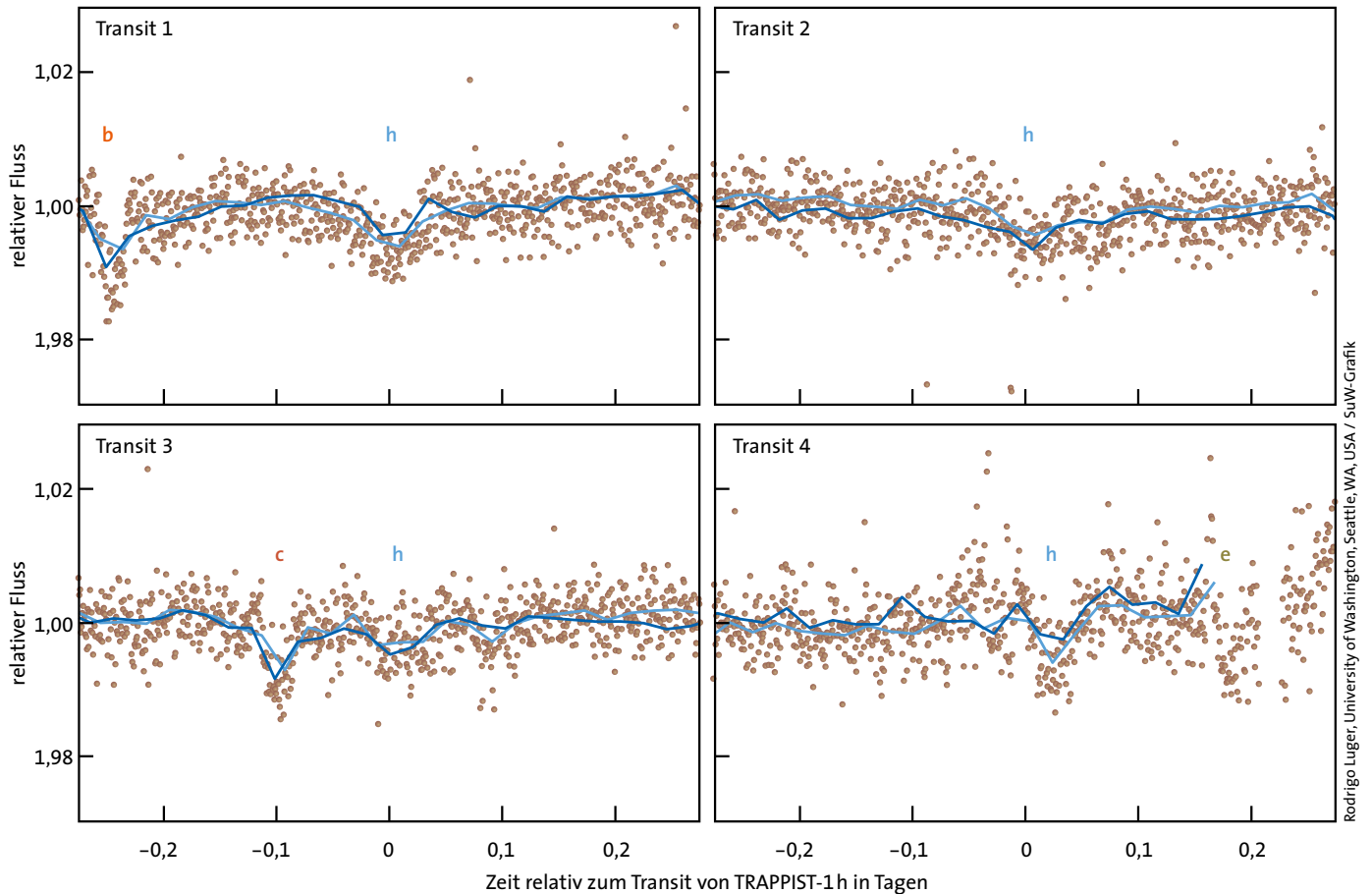
Nach der Veröffentlichung der spektakulären Erkenntnisse über das bemerkenswerte Miniatursonnensystem TRAPPIST-1 mit sieben erdgroßen Exoplaneten ist das Interesse der Forscher ungebrochen (siehe SuW 4/2017, S. 22). Sie unternehmen derzeit große Anstrengungen, noch mehr über diese Welten und ihren Stern herauszufinden (siehe Bild oben).

Vor Kurzem gab die US-Raumfahrtbehörde NASA vorzeitig Daten des Weltraumteleskops Kepler frei, die dieses im Verlauf seiner Mission K2 über eine Messzeit von 79 Tagen hinweg gesammelt hatte, um den Forschern die Informationen so schnell wie möglich zur Verfügung zu stellen. Extra für diese Beobachtungen war Keplers Orientierung im

All verändert worden, um das Sternsystem möglichst lange und kontinuierlich im Blick zu behalten. Ein internationales Team von Astronomen um Rodrigo Luger von der University of Washington in Seattle reichte nun seine erste Auswertung der Daten bei der Fachzeitschrift »Nature Astronomy« zur Veröffentlichung ein. Sie stellten fest, dass der rote Zwergstern TRAPPIST-1 wesentlich älter ist als zunächst angenommen, und sie konnten den äußersten siebten Planeten, TRAPPIST-1h, endgültig bestätigen.

Die Forscher bestimmten anhand der Messungen von Kepler nun auch die Rotationsperiode des leuchtschwachen Zentralgestirns TRAPPIST-1. Sie ermittelten eine Dauer von 3,3 Tagen, also deut-

lich länger als die ersten ursprünglichen Annahmen von 1,2 Tagen. Damit hat TRAPPIST-1 etwa ein Prozent des Drehmoments unserer Sonne, obwohl die sich gemächlich in rund 25 Tagen einmal um ihre Achse dreht. Allerdings enthält unsere Sonne mehr als die zwölfwache Masse des Roten Zwergs. Aus Sternentwicklungsmodellen, die das Rotationsverhalten von roten Zwergsternen beschreiben, folgt für TRAPPIST-1 ein Alter zwischen drei und acht Milliarden Jahren. Bisher gingen die Astronomen von einem Alter von mindestens 500 Millionen Jahren aus. Das Alter von TRAPPIST-1 ist demjenigen unserer Sonne mit rund 4,6 Milliarden Jahren durchaus ähnlich, und das System ist demnach nicht ausgesprochen jung.



Hier sind die vier aus den Messdaten von Kepler herausgefilterten Durchgänge des Planeten TRAPPIST-1h vor seinem Zentralgestirn zu sehen. Die Teilgrafiken sind jeweils auf die Transitmitte zentriert. Kurz vor Transit 4 ereignete sich ein heller Flare, auf den die Zeitachse ausgerichtet ist. In den gezeigten Daten wurde der Helligkeitsausbruch jedoch herauskorrigiert. Weitere Durchgänge anderer Mitglieder des Planetensystems innerhalb des gezeigten Zeitfensters sind ebenfalls markiert.

Unter der nach heutigem Kenntnisstand plausiblen Annahme, dass sich das Zentralgestirn von TRAPPIST-1 und seine Planeten annähernd gleichzeitig bildeten – es gibt keine Informationen, dass dies nicht der Fall gewesen sein könnte –, muss das Planetensystem somit über Jahrmilliarden hinweg stabil gewesen sein.

Numerische Simulationen des Forscherteams um Michaël Gillon, das die Entdeckung der sieben Planeten verkündet hatte, wiesen darauf hin, dass das System über einen längeren Zeitraum hinweg instabil werden könnte. So ergab ihre Simulation eine Wahrscheinlichkeit von ungefähr 25 Prozent, dass TRAPPIST-1 inner-

halb einer Milliarde Jahre einen oder gar mehrere Planeten verlieren wird. Die Ursache wäre darin zu suchen, dass sich die Planeten bei ihren Umläufen in geringem räumlichen Abstand zueinander mit ihren Schwerfeldern wechselseitig beeinflussen. Dadurch könnten sich die Störeffekte so weit aufschaukeln, dass das System schließlich in einen chaotischen Zustand überginge, Planeten kollidierten, aus dem System herausflögen oder in den Zentralstern stürzten.

Planetenreigen

Anhand der neuen Messdaten von Kepler bestätigten die Forscher um Rodrigo Luger die Angaben des Forscherteams um Michaël Gillon zu den Planeten von TRAPPIST-1. Zudem gelang es ihnen, die Existenz des äußersten Planeten, TRAPPIST-1h, bei dem es zuvor noch große Messunsicherheiten gegeben hatte, endgültig zu belegen. Der Planet umläuft sein Zentralgestirn demnach in 18,8 Tagen (siehe Grafik oben).

Der Durchmesser von TRAPPIST-1h beträgt 72 Prozent desjenigen der Erde. Damit ist er mit seinen 9100 Kilometer Durchmesser etwa anderthalb mal so groß wie der Mars in unserem Sonnensystem. TRAPPIST-1h umrundet sein Zen-

tralgestirn in einem mittleren Abstand von 9,3 Millionen Kilometern, was rund sechs Prozent der Distanz Erde–Sonne entspricht (siehe Bild S. 23). Trotz dieses im Vergleich zum Sonnensystem geringen Abstands beträgt seine mittlere Oberflächentemperatur –104 Grad Celsius (= 169 Kelvin), denn sein Zentralgestirn erreicht nur etwa ein Zweitausendstel der Leuchtkraft unserer Sonne. Damit dürfte TRAPPIST-1h mit hoher Wahrscheinlichkeit eine eisige Welt sein, und eventuell vorhandenes Wasser wäre auf seiner Oberfläche zu einer Eiskruste erstarrt.

Mit der Bestimmung der exakten Umlaufdauer von TRAPPIST-1h ist nun klar, dass sich alle sieben Planeten des Systems bei ihren Umläufen um ihr Zentralgestirn annähernd in zeitlicher Resonanz befinden. Die Längen ihrer Umlaufperioden stehen also in weitgehend ganzzahligen Verhältnissen zueinander. Im Fall von TRAPPIST-1h besteht zum unmittelbaren inneren Nachbarn TRAPPIST-1g eine 2:3-Resonanz. Das heißt, »1g« umrundet seinen Stern drei Mal in der Zeit, in der »1h« zwei Umläufe absolviert. Damit ist TRAPPIST-1 dasjenige Exoplanetensystem mit den meisten in Resonanz stehenden Planeten überhaupt. Offenbar tragen diese Resonanzen dazu bei, das



24. – 28. Mai 2017

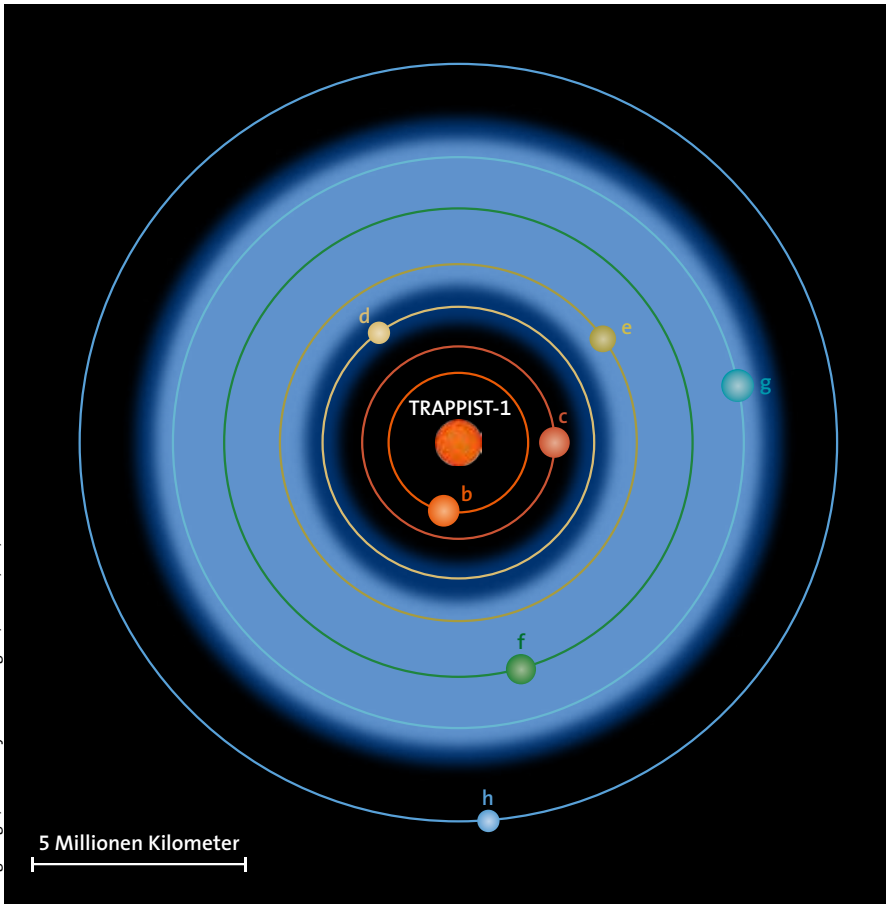
**Campingpark am Gederner See
Am Gederner See 19 · 63688 Gedern**

www.teleskoptreffen.de/itv

- dunkler Himmel (visuell bis 6,7 mag)
- beobachten mit Gleichgesinnten
- buntes Rahmenprogramm
- breites Freizeitangebot
- viele Teleskope



Rodrigo Luger, University of Washington, Seattle, WA, USA / SuW-Crafik



System über sehr lange Zeiträume hinweg zu stabilisieren.

TRAPPIST-1 wird weiterhin mit diversen Teleskopen erkundet, um noch mehr über seine mindestens sieben Welten herauszufinden. Vielleicht werden dann weitere Begleiter des Roten Zwergs entdeckt, die sich in noch größeren Abständen befinden. Zudem warten die Astronomen weltweit mit Spannung auf den Start des James Webb Space Telescope im nächsten Jahr. Mit ihm könnte es gelingen, die Planeten von TRAPPIST-1 direkt spektroskopisch zu untersuchen und Informationen über die Existenz eventueller Atmosphären und ihrer chemischen Zusammensetzungen zu erhalten. Mit Hilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode könnte es außerdem gelingen, die Massen der sieben Welten von TRAPPIST-1 noch genauer zu bestimmen, als es bislang möglich war. Liegen diese Ergebnisse schließlich vor, dann lassen sich die Planeten wesentlich exakter charakterisieren. Auf jeden Fall dürften die Nachrichten über TRAPPIST-1 so schnell nicht abreißen.

TILMANN ALTHAUS ist Redakteur bei »Sterne und Weltraum« und betreut vor allem Themen zur Planetenforschung und Raumfahrt.

www.sterne-und-weltraum.de

In der Draufsicht lassen sich die kompakten Dimensionen des Planetensystems von TRAPPIST-1 erkennen. Die blaue Farbe gibt die Lage der habitablen Zone an, jenen Abstandsreich, in dem flüssiges Wasser auf den Oberflächen möglich wäre.

Literaturhinweise

Althaus, T.: Die sieben Welten von TRAPPIST-1. In: *Sterne und Weltraum* 4/2017, S. 22–27

Gillon, M. et al.: Seven Temperate Terrestrial Planets Around the Nearby Ultracool Dwarf Star TRAPPIST-1. In: *Nature* 542, S. 456–460, 2017, doi:10.1038/nature21360

Luger, R. et al.: A Terrestrial-Sized Exoplanet at the Snow Line of TRAPPIST-1. In: *Nature Astronomy*, eingereicht, 2017. arxiv.org/abs/1703.04166

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1377445



Alles für die Astronomie.



www.intercon-spacetec.de

INTERCON SPACETEC®

Gablinger Weg 9 · 86154 Augsburg
Tel.: 0821 / 41 40 81
Mo - Fr 10-19 Uhr, Sa 11-16 Uhr
email: info@intercon-spacetec.de
Shop: www.intercon-spacetec.de