

Die Suche nach erdähnlichen Exoplaneten – wie geht das?

In Bezug auf die Meldung „Weitere Hinweise auf Planet Planet Proxima Centauri c“ in der Zeitschrift Sterne und Weltraum 03/2020, S. 15, Rubrik „Blick in die Forschung: Nachrichten“, Zielgruppe: Unterstufe bis Mittelstufe, WIS-ID: 1421035

Gerhard Herms

Gibt es außerirdisches Leben? Das ist die Frage, die sich Franziska schon immer gestellt hat. Aktuelle Meldungen über erdähnliche Exoplaneten waren der Anlass, dass sie und ihr Mitschüler Daniel den Studenten Jan aufgesucht haben und mit ihm diskutieren. Das didaktische Gespräch geht kurz auf einige der möglichen Untersuchungsmethoden ein, im Schwerpunkt aber auf die wichtigste und erfolgreichste: die Transitmethode.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten Positionsastronomie Astropraxis	Exoplanet Entfernungseinheiten: Lichtjahr Radialgeschwindigkeitsmethode, Transitmethode
Physik	Schwingungen und Wellen Mechanik	Dopplereffekt: Rot- und Blauverschiebung bei bewegter Lichtquelle Schwerpunktsatz: Fixstern und Exoplanet umkreisen den gemeinsamen Schwerpunkt
Fächer- verknüpfung	Astro-Chemie Asto-Biologie	Habitable Zone
Lehre allgemein	Kommunikationskompetenz Lehrformen	Gesprächskompetenz Unterrichtsgespräch, Sokratisches Gespräch (im Sinne von Martin Wagenschein)



Abbildung 1: Das Bild zeigt mit künstlerischen Mitteln, wie die Entdeckung bewohnbarer Planeten außerhalb unseres Sonnensystems unsere Gedankenwelt beeinflusst. Die Bewohnbarkeit kann den irdischen Verhältnissen sehr nahekommen (dargestellt in der unteren rechten Ecke des Bildes) oder aber unzumutbar sein (linke Seite des Bildes). Am erfolgreichsten ist es vielleicht, die Suche auf fernere Teile der Milchstraße auszudehnen (rechts oben). © NASA, <https://exoplanets.nasa.gov/news/191/nasas-nexss-coalition-to-lead-search-for-life-on-distant-worlds/>.

Dreier-Gespräch aus Anlass aktueller Meldungen im Januar 2020

- Daniel:** Hallo, Jan! Wie angekündigt, bringe ich eine Mitschülerin mit.
- Franziska:** Hallo, ich bin Franziska!
- Jan:** Herzlich willkommen!
- Franziska:** Die aktuellen Nachrichten über neu entdeckte Exoplaneten haben uns Anfang des Jahres regelrecht elektrisiert. Vieles verstehen wir nicht. Deswegen sind wir hier.
- Jan:** Ich freue mich über eure wissenschaftliche Neugier.
- Franziska:** Ich wünschte mir, ich könnte einmal dabei sein, wenn die Astronomen nach monatelangem Durchmustern der Sterne endlich einen Exoplaneten sehen.
- Jan:** Du denkst offenbar an eine **direkte Beobachtung**. Aber nur wenige Entdeckungen sind so erfolgt; denn es ist sehr schwierig, die nur schwach leuchtenden Exoplaneten neben ihrem alles überstrahlenden Fixstern zu sehen. Am besten geht es noch, wenn sie möglichst weit von ihm entfernt sind, so wie Jupiter und Neptun von der Sonne.
- Daniel:** Aber dann sind sie nicht erdähnlich und für unser Thema nicht von Interesse. Es sollte auch noch erwähnt werden, dass die Schwierigkeiten mit zunehmender Entfernung von der Erde anwachsen.
- Franziska:** Ich dachte, man könnte mit dem Weltraumteleskop etwas näher rangehen.
- Daniel:** Du würdest wohl auf einen Stuhl steigen, wenn du die Oberfläche des Mondes deutlicher sehen willst?
- Franziska:** Nun übertreibst du aber, lieber Daniel!
- Jan:** Keineswegs, liebe Franziska! Wenn du dir einmal die Entfernungsverhältnisse richtig klarmachen würdest, verstehst du, dass Daniels Vergleich eher noch untertrieben ist. Der erdähnliche Exoplanet, von dem in den aktuellen Meldungen die Rede ist, liegt rund 100 Lichtjahre entfernt, d. h., das Licht braucht 100 Jahre für diese Strecke.
- Daniel:** Für die 150 Millionen km von der Sonne bis zu uns braucht es 8 Minuten und 20 Sekunden. Wenn du die beiden Laufzeiten vergleichst, dürfte dir klarwerden, welche riesigen Räume zwischen uns und dem neu gefundenen „Nachbarn“ liegen.
- Franziska:** Das ist wie ein Guss kalten Wassers für mich. Unter solchen Verhältnissen ist natürlich mit „näher herangehen“ nichts zu erreichen. Welche Möglichkeiten gibt es denn, erdähnliche Planeten aufzuspüren?
- Jan:** Bevor ich darauf eingehe, möchte ich noch sagen, dass mehr als 100 Exoplaneten durch die direkte Beobachtung entdeckt wurden, wobei es sich aber durchweg um massereiche Planeten (5 – 60-fach größer als unser Jupiter) gehandelt hat ...
- Daniel:** ... und von Erdähnlichkeit also keine Rede war.

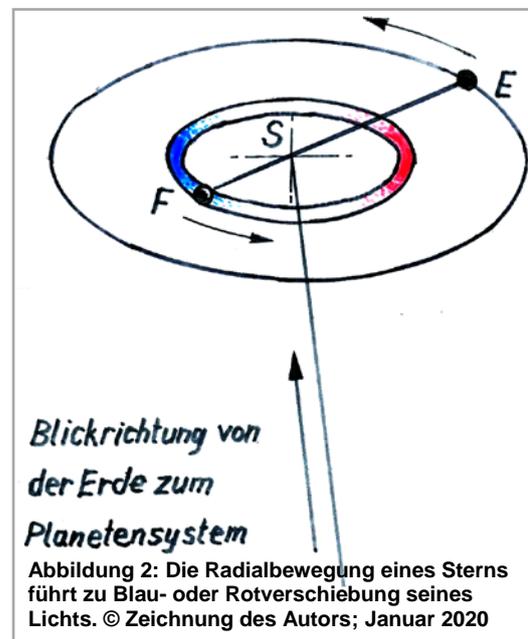
Jan: Nun zu den anderen Spürmethoden! Die nächstwichtigste Methode geht davon aus, dass sowohl der Fixstern als auch der Exoplanet den gemeinsamen Schwerpunkt umkreisen. Dabei bewegt sich der Stern meist auch etwas in Richtung zum irdischen Beobachter oder von ihm weg. Diese Bewegung führt – wie Christian Doppler 1842 erkannt hatte – zu Änderungen der Wellenlänge und damit zu Farbveränderungen des Lichtes. Bei Annäherung kommt es zu einer „Blauverschiebung“, bei Abstandsvergrößerung zu „Rotverschiebung“.

Daniel: Ich habe mir überlegt, dass dieser Effekt am deutlichsten ist, wenn die Blickrichtung des Astronomen einen möglichst kleinen Winkel mit der Bahnebene der beiden kreisenden Partner bildet. Dagegen haben wir keinen Effekt, wenn die Bahnebene senkrecht zu unserer Blickrichtung steht.

Jan: Richtig! Wenn der Astronom voll (senkrecht) auf die Bahnebene blickt, dann gibt es trotz der Bahnbewegung des Sterns keine Entfernungsänderung; diese ist gleich Null, oder mit anderen Worten: Die Radialgeschwindigkeit ist gleich Null.

Daniel: Die Radialgeschwindigkeit ist offenbar maßgebend für die Stärke der Dopplerverschiebung, nicht wahr?

Jan: Ja, und daher der Name: „**Radialgeschwindigkeitsmethode**“. Ich habe hier eine Abbildung, die das Ganze im Zusammenhang zeigt. Es ist ein Blick unter kleinem Winkel schräg von oben auf die Bahnebene. Der Fixstern F und der Exoplanet E umkreisen ihren gemeinsamen Schwerpunkt S.



Franziska: Ich dachte, der Exoplanet kreist um den Fixstern.

Daniel: Wenn wir beide uns beim Tanzen an den Händen fassen und uns gemeinsam um die Senkrechte drehen, dann beschreibst du einen Kreis um die Senkrechte. Dasselbe gilt aber auch für mich. Wären wir beide gleich schwer, wären beide Kreise gleich groß. Da ich aber mehr wiege als du, ist mein Kreis etwas kleiner. Um sagen zu können, du kreist um mich, müsste ich unendlich mal schwerer sein als du.

Franziska: Oder ich müsste unendlich mal leichter sein als du. Aber ich verstehe, was du mit deinem Vergleich sagen willst. Der Fixstern könnte nur dann der ruhende Angelpunkt sein, wenn er unendlich Male schwerer wäre als der Exoplanet.

Jan: Zur Abbildung ist noch zu sagen, dass die farbigen Bereiche erkennen lassen, wo die Radialgeschwindigkeit groß ist und wann Blau- und wann Rotverschiebung auftritt.

Daniel: Es wäre schön, liebe Franziska, wenn du aus eigenen Erfahrungen und Erleben zum Thema beitragen könntest; denn dann würdest du leichter verstehen und besser behalten.

Franziska: Du bist gut! Ich habe Himmelsfernrohre bisher nur von außen und aus der Ferne gesehen.

- Daniel:** Trotzdem könntest du was über Dopplereffekt sagen; denn den gibt es auch bei Schallwellen. Machen wir einen Test: Du stehst dicht neben einer Landstraße und ein Auto fährt vorbei. Was geschieht?
- Franziska:** Im Moment des Vorbeifahrens verändert sich die Tonhöhe des Motorklages schlagartig auf eine tiefere Tonhöhe.
- Daniel:** Was wäre, wenn die Landstraße etwas weiter von dir entfernt wäre?
- Franziska:** Ich glaube, die Tonhöhenänderung erfolgt dann allmählich. Sie beginnt schon etwas eher und endet etwas später. Daraus könnte man vielleicht sogar berechnen, wie weit es bis zur Straße ist.
- Daniel:** Bravo! Das ist, was ich meine: Aktive Mitarbeit! Sie vertieft und festigt.
- Jan:** Das kann ich nur unterstreichen. - Abschließend ist zu den Leistungen der Radialgeschwindigkeitsmethode noch zu sagen, dass über 850 bestätigte Entdeckungen von Exoplaneten damit erzielt wurden.
- Franziska:** Jetzt bin ich gespannt, was die leistungsfähigste Methode vorweisen kann.
- Jan:** Es geht um die **Transitmethode**. Am 16.01.2020 hatten Daniel und ich eine brandneue Meldung gefunden, wonach es zu diesem Zeitpunkt insgesamt 4108 bestätigte Exoplaneten gab. Davon ist ein sehr großer Anteil (rund 3000) das Verdienst der Transitmethode.
- Daniel:** Allein im Jahr 2016 konnte diese Methode mit einem Rekord von 1475 neu entdeckten Exoplaneten beitragen.
- Franziska:** Ich fürchte, dass eine derart leistungsfähige Methode so kompliziert ist, dass ich sie nicht verstehen kann.
- Daniel:** Im Gegenteil! Das Prinzip ist schnell erklärt. Unter Transit versteht der Astronom das Vorbeiziehen eines kleineren Himmelskörpers vor einem größeren Himmelskörper, z.B. auch des Exoplaneten vor seinem Stern. Dadurch wird das vom Stern kommende Licht geschwächt, wenn auch nur wenig. Wird diese Abdunklung mehrmals und in regelmäßigen Zeitabständen festgestellt, dann weiß der Astronom, dass ein Exoplanet dafür verantwortlich ist.
- Jan:** Damit ein solcher Transit zustande kommt, muss das in Frage kommende System aber auch die richtige Lage haben. Die Blickrichtung des Astronomen zum System muss nahezu in der Bahnebene des Systems liegen, so wie wir es schon bei der Radialgeschwindigkeitsmethode hatten.
- Daniel:** Auch hier ist die Einsatzmöglichkeit der Methode wieder stark eingeschränkt.
- Franziska:** Das ist mir klar. Ich würde aber gern etwas Anderes wissen: Was versteht man unter der habitablen Zone? Das Wort „habitabel“ heißt ja wohl „bewohnbar“.
- Jan:** Die habitable Zone ist derjenige ringförmige Bereich um die Sonne, in welchem etwa vorkommende Planeten durch die Sonneneinstrahlung so warm wären, dass auf ihrer Oberfläche H₂O meist als Flüssigkeit vorliegt.

Daniel: Dafür gibt es – wie wir Erdbewohner wissen – nur **einen** Vertreter in unserem Sonnensystem. Aber bei einem weit entfernten Planetensystem kann das ganz anders sein. Wo genau bei ihm die ringförmige habitable Zone liegt, wird natürlich durch die Strahlungsstärke des Fixsterns bestimmt. Die muss bekannt sein, und wenn man sich irrt, passiert das, was Anfang Januar 2020 passiert war. Der Stern wurde für größer und heißer gehalten als er war und die habitable Zone blieb deswegen leer.

Franziska: Erst, als der Schüler und Hobby-Astronom Alton Spencer auf den Irrtum aufmerksam machte, konnte das richtiggestellt werden, und wir wissen seitdem, dass TOI 700 d in der habitablen Zone, relativ nahe an ihrem heißen Rand, seine Bahn zieht.

Jan: Euch ist hoffentlich klar, dass die Lage in der habitablen Zone eine notwendige, aber keineswegs eine hinreichende Bedingung für Leben auf dem Planeten ist?

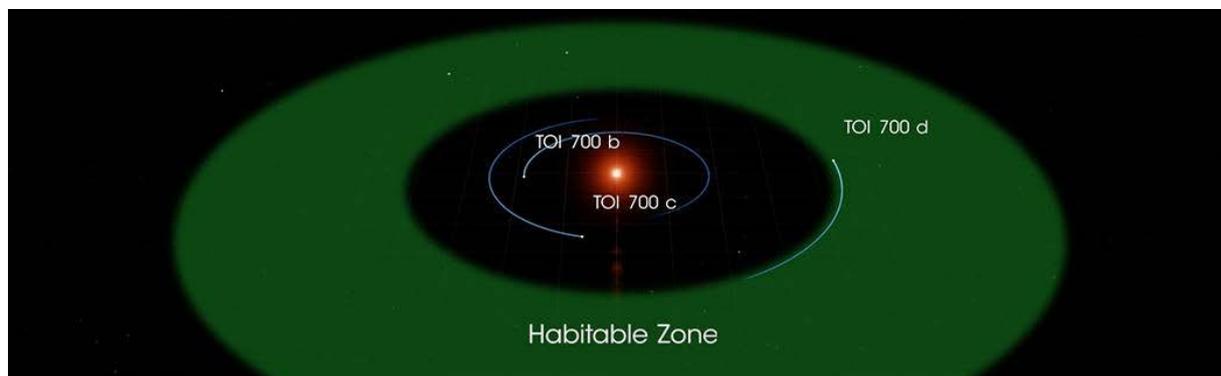


Abbildung 3: Habitable Zone um einen Stern. © NASA,
https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/largesize/PIA23407_hires.jpg

Daniel: Ja! Es müssen noch andere Befunde hinzukommen.

Franziska: Gibt es denn Exoplaneten, bei denen dies der Fall war?

Daniel: Ich erinnere mich an eine Meldung Mitte September 2019, in der von einem Exoplaneten gesagt wurde, dass es der Einzige ist, von dem wir wissen, dass er die richtige Temperatur, eine Atmosphäre und Wasser hat.

Jan: Du meinst den 124 Lichtjahre entfernten Exoplaneten K2-18 b, der viel größer als die Erde ist (7 -10-fache Erdmasse).

Daniel: So heißt er wohl. Zum ersten Mal war bei einem Exoplaneten Wasserdampf in der Atmosphäre nachgewiesen worden. Es hieß, der Wassergehalt könnte 0,01% sein oder 50%. Von der Genauigkeit darf man offenbar nicht zu viel erwarten. Aber dennoch ein tolles Ergebnis!

Franziska: In diesem Falle war der Exoplanet also im Fernrohr zu sehen. Vermutlich weil er so viel größer ist, nicht wahr?

Jan: Niemand hat ihn gesehen und niemand wird ihn jemals sehen können.

Franziska: Wie kann man da Aussagen machen über seine Atmosphäre?

Jan: Die Transitmethode macht es möglich.

- Daniel:** Ich wusste, dass K2-18 b mit Hilfe dieser Methode entdeckt wurde. Dass sie aber auch die Atmosphäre untersuchen kann, musst du mir noch erklären.
- Jan:** Wir wollen zunächst einmal voraussetzen, dass der Exoplanet keine Atmosphäre hat. Wenn er – von der Erde aus gesehen – vor seinem Fixstern vorbeizieht, dann macht er mit der von ihm ausgehenden Strahlung nichts anderes, als sie um einen kleinen Betrag zu schwächen. Er macht wirklich nichts anderes!
- Daniel:** Ich denke, das hatten wir richtig verstanden.
- Jan:** Nun aber zu dem Fall, dass der Exoplanet eine Atmosphäre hat! Die Bedeckung beginnt damit, dass sich zuerst die Atmosphäre in den Strahl schiebt, der vom Fixstern kommt. Die bei unseren Astronomen auf der Erde ankommende Strahlung ist jetzt qualitativ verändert, weil die in der Atmosphäre enthaltenen Moleküle bestimmte Wellenlängen blockieren.
- Daniel:** Ich kann mir denken, dass nun in den Spektren Spektrallinien zu finden sind, aus denen man die Bestandteile der Atmosphäre ermitteln kann.
- Jan:** Genauso ist es.
- Daniel:** Ich möchte noch etwas sagen zu den hinreichenden Bedingungen: Wenn man Sauerstoff und Methan finden würde, dann wäre das ein sehr überzeugender Hinweis auf biologische Aktivität. Vielleicht werden wir bald von solchen Forschungsergebnissen überrascht.
- Jan:** Davon bin ich überzeugt. Die bisherigen Ergebnisse haben klargemacht, welche Aufgaben vor den Planeten-Jägern liegen und wie die Instrumente verbessert werden müssen. Die größten Erwartungen sind mit dem neuen Weltraumteleskop James Webb verknüpft, das im Jahr 2021 starten und vier Aufgaben bearbeiten soll. Eine davon lese ich euch wörtlich vor: „Messen der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Planetensystemen und die Erforschung, ob dort Leben möglich ist.“
- Franziska:** Genau das ist es, was uns am meisten interessiert!
- Jan:** Mir geht es auch so; und ich möchte euch sagen: Jetzt ist der richtige Zeitpunkt einzusteigen und die Entwicklung hautnah zu verfolgen.
- Daniel:** Ich bin fasziniert von dem 6,3 Tonnen schweren Gerät, dessen Spiegel eine Fläche von 25 Quadratmetern hat und der erst am „Aufstellungsort“ automatisch entfaltet wird. Das ist, liebe Franziska, ein sehr geheimnisvoller Ort auf der von der Sonne abgewandten Seite der Erde, 1,5 Millionen km von ihr entfernt.
- Jan:** Und ich bin begeistert, dass dieser „Aufstellungsort“, der früher nur auf dem Papier existierte und dort selbst von den Fachleuten kaum beachtet wurde, zu einer Realität geworden ist, von der man heutzutage - wie selbstverständlich - praktischen Gebrauch macht. Praktischen Gebrauch für Forschung auf höchstem Niveau!

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen findet man unter der Adresse www.wissenschaft-schulen.de (Fachgebiet Astronomie).

Wir würden uns freuen, wenn Sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an wis.heidelberg@yahoo.de senden (wird an den Autor weitergeleitet).