

Exoplaneten und die seriöse Suche nach (einfachem) extraterrestrischen Leben

Swedenborg, Kant, und Laplace waren wohl, im 18. Jahrhundert, die ersten, die zumindest qualitativ erkannten, dass sich aus dem gasförmigen Material zwischen den Sternen (Abb. 1) laufend neue Sterne bilden, und dass so auch das Sonnensystem mit seinen acht Planeten und zahlreichen kleineren Körpern entstanden ist. Heute können numerische Modelle diese sog. *Nebularhypothese* auch quantitativ nachvollziehen und bestätigen. Eine logische Konsequenz daraus ist, dass Planeten auch um andere Sterne als die Sonne nicht die Ausnahme, sondern die Regel sein sollten. Es hat aber bis Mitte der 1990er Jahre gedauert, bis solche Planeten außerhalb des Sonnensystems, kurz *Exoplaneten* gefunden wurden.

Wenn sich ein Planet um einen Stern bewegt, dann ist die Ebene, in der das geschieht, von uns aus gesehen natürlich zufällig orientiert – für den Exoplaneten und seine Bahn spielt es ja keine Rolle, wo das Sonnensystem relativ zu ihm liegt. Es wird also auch einige unter ihnen geben, bei denen wir die Bahn fast genau von der Seite sehen. Und dann wird der Planet zwischen Stern und uns hindurchziehen, er wird also einen Teil des Sterns vorübergehend bedecken, wenn auch nur einen sehr kleinen (Abb. 2), und das kann man als eine Abschwächung der Helligkeit von der Erde aus messen. Würde umgekehrt – von einem Exoplanetensystem aus gesehen – der größte Planet des Sonnensystems, Jupiter, vor der Sonne vorbeiziehen, dann würde sich deren Helligkeit von dort aus gesehen nur um etwa 1% verringern. Ein Vorbeiziehen der Erde würde gar nur ein Hundertstel Prozent ausmachen. Aber auch solch kleine Effekte kann man messen, und das macht seit 2009 der Satellit Kepler höchst erfolgreich. Er untersucht ein begrenztes Gebiet am Himmel, zwischen den Sternbildern Leier und Schwan gelegen, auf solche Variationen hin. Und bisher (Stand: 1. Dezember 2017) wurden rund 4000 Exoplaneten entdeckt; ungefähr noch einmal so viele warten auf eine kritische Überprüfung der Daten, um die Entdeckungen



Abb. 1: Das Zentralgebiet des Orionnebels mit ausgewählten, gerade neu entstehenden Stern- und Planetensystemen in Vergrößerung © NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA), the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team and L. Ricci (ESO)

auch zweifelsfrei bestätigen zu können. Und fast täglich kommen neue hinzu. Der auf das 18. Jahrhundert zurückgehende Verdacht, dass Planeten um Sterne etwas Normales sind und nicht ein Exotikum des Sonnensystems, hat sich voll und ganz bestätigt.

Damit geht der spannende Teil des Ganzen aber erst so richtig los. Ja, bisher kann man Exoplaneten normaler Weise nicht direkt sehen, da der Kontrast zum Stern zu groß, und der Abstand zu ihm zu klein ist, um ein direktes „Foto zu schießen“. Will man einen Exoplaneten untersuchen, steht man derzeit also vor dem Problem, ein Objekt beobachten zu wollen, das man nicht direkt sehen kann, und das vor oder neben einem Stern steht, der viel heller als der Planet selbst ist, und den man wiederum auch nicht als ausgedehntes Objekt sehen kann, sondern nur als Lichtpunkt. Aber damit schreckt man einen Astrophysiker nicht – solche Schwierigkeiten sind wir gewohnt.

Zuerst einmal stellt sich die Frage, in welchen Umgebungsbedingungen solche Planeten vorkommen: Sind sie sehr heiß, moderat temperiert, oder extrem kalt? Wie sehen die Atmosphären überhaupt aus? Welche Windgeschwindigkeiten herrschen dort? Und so weiter.

Es gibt Planeten, die einen Zentralstern in einer Entfernung umkreisen, die prinzipiell die Präsenz von flüssigem Wasser dauerhaft ermöglichen würde. Man spricht dabei von Planeten in der sog. *habitablen Zone*, also einer lebensfreundlichen Umgebung. Nun kommt es auf beide an, ob dort Leben überhaupt existieren kann: Planet und Atmosphäre. Zuerst einmal kann man flüssiges Wasser vergessen, wenn gar keine Atmosphäre vorhanden ist. Aber auch der Planet muss mitspielen. Bei vielen der bisher entdeckten habitablen Planeten ist das Problem, dass der Planet den Stern so umkreist, dass er dem Stern immer die gleiche Seite zuwendet – man spricht dann von *gebundener Rotation*. Dann

wird die eine Seite fürchterlich heiß, und die Atmosphäre kann sogar verdampfen. Auf der anderen Seite des Planeten friert sie wegen der sehr niedrigen Temperaturen entweder aus und ist so verloren, oder strömt auf die helle Seite und verdampft dort.

Das Endergebnis wäre also ein Exoplanet ohne Atmosphäre, der auf seiner Oberfläche kein Leben haben könnte. Wir kommen aber gleich zu einer Überraschung, die Modellrechnungen an der CAU gebracht haben. Vorher aber noch ein paar grundlegende Gedanken zu den Atmosphären.

Exoplaneten-Atmosphäre zu untersuchen, ist nämlich an sich gar nicht so kompliziert, denn da kann man, den gerade genannten Schwierigkeiten zum Trotz, sich eines Tricks bedienen. Wenn der Planet kurz davor steht, auf seiner Bahn um den Stern zwischen Sonne und Stern hindurchzuziehen, zeigt er uns seine unbeleuchtete¹⁾ Seite. Als Planet setzt er ja keine eigene Energie frei, sondern reflektiert nur die, die er vom Stern zugestrahlt bekommt. Und damit ist seine helle Seite immer dem Stern zugewandt. Kurze Zeit später steht er dann vor dem Stern und verdunkelt einen kleinen Teil dessen. Der größte Teil der Sternstrahlung ist aber nach wie vor unverändert sichtbar. Aber dann ist da noch ein sehr kleiner Anteil, den die Planetenatmosphäre ausmacht, die zwar auch vor dem Stern steht, von diesem aber durchstrahlt wird. Diese Strahlung hat es im wahrsten Sinne des Wortes in sich. Sie ist nämlich ursprüngliche Sternstrahlung, die aber auf dem Weg zu uns durch die Planetenatmosphäre geht und dadurch in ihrer spektralen Zusammensetzung²⁾ verändert wird. Und diese Veränderung hängt davon ab, woraus die Planetenatmosphäre zusammengesetzt ist. Damit aber ist der Weg klar: Man muss den Planeten vor dem Durchgang spektroskopieren, also das Licht in seine Wellenlängen zerlegen, und das Gleiche noch einmal, wenn Planeten und Atmosphäre vor dem Stern stehen. Vergleicht man die beiden Spektren nun, so muss der Unterschied eben vom Beitrag der Planetenatmosphäre kommen, alles andere ist ja gleich geblieben.

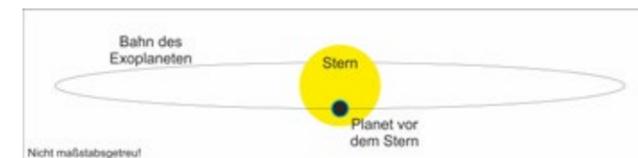


Abb. 2: Schematische Darstellung der teilweisen Bedeckung eines Sterns durch einen Exoplaneten (schwarzer Kreis) mit Atmosphäre (blauer Ring) © W.J. Duschl (CAU)

Man lasse sich das einmal auf der Zunge zergehen: Mit diesem Verfahren wird es möglich werden, die (dünne) Atmosphäre eines Planeten vor einem Stern zu untersuchen, obwohl man den Stern nur als Punkt sieht, und der Planet samt seiner Atmosphäre gar nicht direkt erkennbar ist. Aber auch wenn das Verfahren vom Konzept her geradezu genial einfach ist, die Durchführung ist sehr schwierig. Die Erdatmosphäre, betrachtet von weit entfernt, würde vor der Sonne gerade einmal rund drei Millionstel der Sonnenfläche ausmachen. Und dieses Signal muss man aus dem entsprechend stärkeren „Hintergrund“ Sonne herausfiltern. Das ist zwar heute standardmäßig noch nicht möglich, wird aber in absehbarer Zeit möglich werden, zehn Jahre können es aber bis dahin schon noch sein.

Aber zurück zu den gebunden rotierenden Exoplaneten: Es wurde ja gerade erläutert, dass es in diesem Fall gar keine Atmosphäre geben sollte – so dachte man jedenfalls bis jetzt. Wir,

Astrophysiker der CAU, haben uns einen Fall³⁾ nun aber etwas genauer angesehen und festgestellt, dass dort alles ganz anders läuft: Die Atmosphäre verdampft gar nicht, sie fängt vielmehr an schnell zu rotieren. Damit werden aber die Temperaturen auf den beiden Seiten des Sterns weitgehend ausgeglichen, und es bleiben die habitablen, die lebensfreundlichen Bedingungen erhalten (Abb. 3). Allerdings bedeutet das ständige vergleichsweise hohe Windgeschwindigkeiten im Bereich bis zu rund 160 km/h. Wenn es dort Leben geben sollte, dann wird es sicher recht flach und windschnittig aussehen.

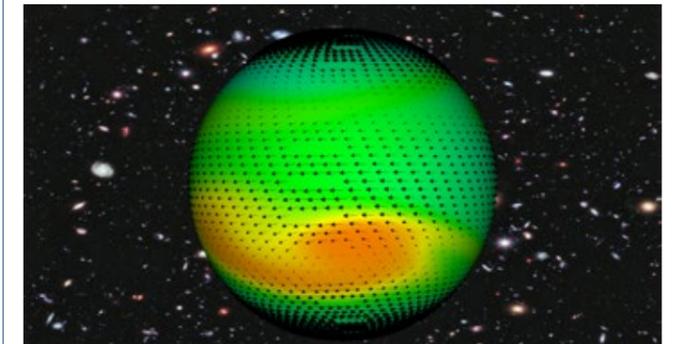


Abb. 3: Modell der Temperatur- und Windverteilung auf dem habitablen Exoplaneten Trappist-1d. Die Farben stehen für die Temperatur von 200 (blau) bis 400 (rot) Kelvin; Die Pfeillängen und -orientierungen geben die Windgeschwindigkeit (zwischen 0 und 160 km/h) und -richtung. Modellrechnungen: © J. Lirawi & W.J. Duschl (CAU); Hintergrundbild: © NASA, ESA

Ob es dort Leben gibt, wissen wir noch nicht. Aber der vorhin diskutierte Ansatz der Spektroskopie von Atmosphären wird da Untersuchungen erlauben, so schwierig das auch sein mag. Um unseren Kolleginnen und Kollegen, die an den Teleskopen eines Tages diese Beobachtungen erstmals machen werden, zu helfen, ist es wichtig, in Modellrechnungen Vorhersagen zu machen, wo in den Spektren charakteristische Signaturen zu finden sein können. Und dazu bedarf es einer engen Zusammenarbeit, die weit über die Astrophysik hinausgeht. Es werden Beiträge aus der Extraterrestrischen Physik, der Biologie, den Meeres- und Geowissenschaften, der Chemie und weiteren Fächern notwendig sein, um in unserem Verständnis hier weiter zu kommen. Und auch ethische Fragen dürfen hier nicht vergessen werden, denn wenn einmal tatsächlich Leben außerhalb der Erde gefunden sein wird, so wird das auch gewaltige Einflüsse auf unser Selbstverständnis als Menschen haben.

Aber die CAU versteht sich nicht umsonst als eine Universität dynamisch interagierender Wissenschaftskulturen – zum hier besprochenen Themenbereich sind diese fach- und teilweise auch fakultätsübergreifenden Kollaborationen gerade im Entstehen. Stay tuned – we'll keep you updated.

Wolfgang J. Duschl, Astrophysik Kiel im Institut für Theoretische Physik und Astrophysik der CAU

1) Genau genommen erhalten wir schon etwas Strahlung von seiner unbeleuchteten Seite, denn deren Temperatur hat ja einen bestimmten Wert und sendet damit thermische Strahlung aus; aber deren Effekt ist beim Durchgang und unmittelbar vorher und nachher praktisch identisch

2) Die spektrale Zusammensetzung sagt uns, welchen Anteil jede Wellenlänge zur Gesamtstrahlung hat, die bei uns ankommt. Sie hängt direkt von der chemischen und biologischen Zusammensetzung des strahlenden und des durchstrahlten Gases ab.

3) Wenn es genauer interessiert: Es handelt sich um Trappist-1d und die Wetterkarte findet sich in Abb.3.