

Wüste oder Wasserwelt – wie habitabel ist Proxima b?

Unser Wissen über den neu entdeckten Nachbarplaneten Proxima b ist begrenzt. Rechenmodelle zeigen jedoch, dass er durchaus lebensfreundliche Verhältnisse bieten kann. Flüssiges Wasser ist möglich – sofern einige Vorbedingungen erfüllt sind.

Der in diesem Jahr entdeckte Planet Proxima b ist die nächstgelegene potenziell lebensfreundliche Welt außerhalb unseres Sonnensystems. Sicher wissen wir bislang allerdings nur zwei Dinge über ihn: Er ist mindestens 1,3 Erdmassen schwer und kreist in der habitablen Zone seines Sterns Proxima Centauri, 4,24 Lichtjahre von der Erde entfernt.

An Ideen zu seiner Erforschung, mit Raumsonden gar, mangelt es seit der Bekanntgabe seiner Entdeckung nicht, und viele davon gehören eher in das Reich der Sciencefiction. Wie es auf dem Planeten heute aussehen könnte, und ob er tatsächlich für Leben zumindest primitiver Art bewohnbar ist, darüber machen sich Wissenschaftler dennoch ernsthafte Gedanken. Ein europäisches Team, zu dem auch die Entdecker selbst zählen, hat die Ergebnisse ihrer Untersuchungen in zwei Arbeiten zusammengefasst und in der Zeitschrift »Astronomy and Astrophysics« veröffentlicht. Im ersten der beiden Aufsätze beschäftigen sich die Autoren um Ignasi Ribas vom Institut de Ciències de l'Espai in Bellaterra, Spanien, mit der für eine mögliche Bewohnbarkeit des Planeten entscheidenden Frage: Besitzt Proxima b Wasser? Das ist die Grundvoraussetzung für biologisches Leben wie auf der Erde.

Ob Wasser auf Proxima b vorhanden ist, hängt vor allem davon ab, wo und wie der Planet entstanden ist. Die Strahlung eines jeden Sterns teilt bereits kurz nach seiner Entstehung seine protoplanetare Scheibe in zwei Bereiche ein: in eine innere, warme Zone, in der sich kein Wasser halten kann, sowie in eine äußere, kalte Zone, in der sich Wasserdampf als dünne Eisschicht auf den Staubkörnern der Scheibe ablagert. Die Grenze dazwischen bildet die so genannte Schneelinie, die im Sonnensystem bei etwa 2,7 Astronomischen Einheiten (AE) liegt. Obwohl Proxima b nur 0,002 Prozent der Leuchtkraft der Sonne besitzt, dürfte sich seine Schnee-

linie bei einer ähnlichen Entfernung befinden: Der Wärmetransport in der protoplanetaren Scheibe wird durch viskose Heizung des Materials bestimmt und nur indirekt von der Strahlung des Zentralgestirns. Viskose Heizung entsteht durch die Reibung in der Scheibe, verursacht durch die Zähigkeit der turbulenten Strömung.

Hat sich Proxima b bei 0,05 AE gebildet, also dort, wo er sich heute befindet, dann ist er wahrscheinlich staubtrocken. Wasser hätte er in diesem Falle erst nachträglich durch Kometenimpakte erhalten können, so wie es auch im Fall der Erde vermutet wird. Allerdings sind protoplanetare Scheiben höchst dynamische Gebilde: Es ist möglich, dass sich die Schneelinie zum Ende der protoplanetaren Phase weiter innen befunden hat und so doch Wasser auf

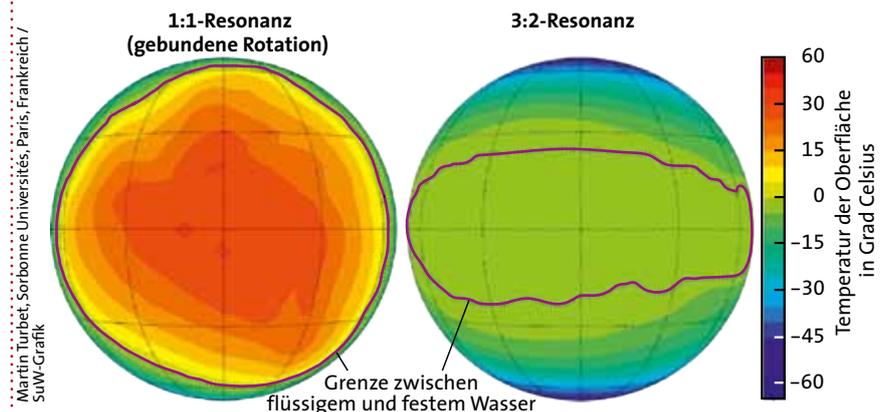
den Planeten gelangt ist, schreiben Ribas und seine Kollegen. Auch könnte sich der Planet außerhalb der Schneelinie gebildet haben und durch Wechselwirkungen mit der Scheibe nach innen gewandert sein. In diesem Modell wäre Proxima b womöglich wasserreich – sofern seine Bildung vor dem Überschreiten der Schneelinie weitgehend abgeschlossen war. Es existieren also unterschiedliche, gleichermaßen realistische Szenarien, die sämtliche Endzustände möglich machen: von trocken bis nass.

Energiereiche Strahlung

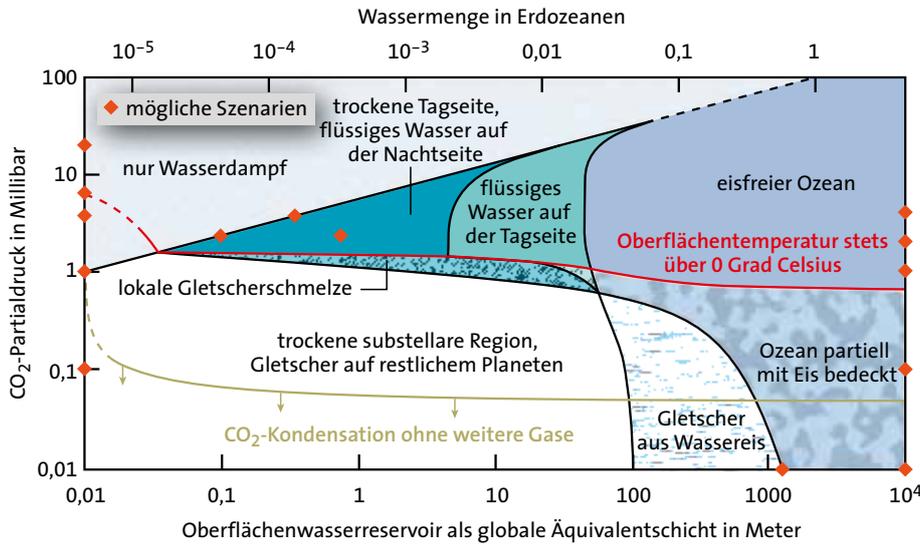
Seit der Entstehung von Proxima b sind rund 4,8 Milliarden Jahre vergangen – eine lange Zeit, in der ein wasserreicher Planet viel von seinen flüchtigen Substanzen verlieren kann. Proxima Centauri liefert

Oberflächentemperatur und Wasservorkommen

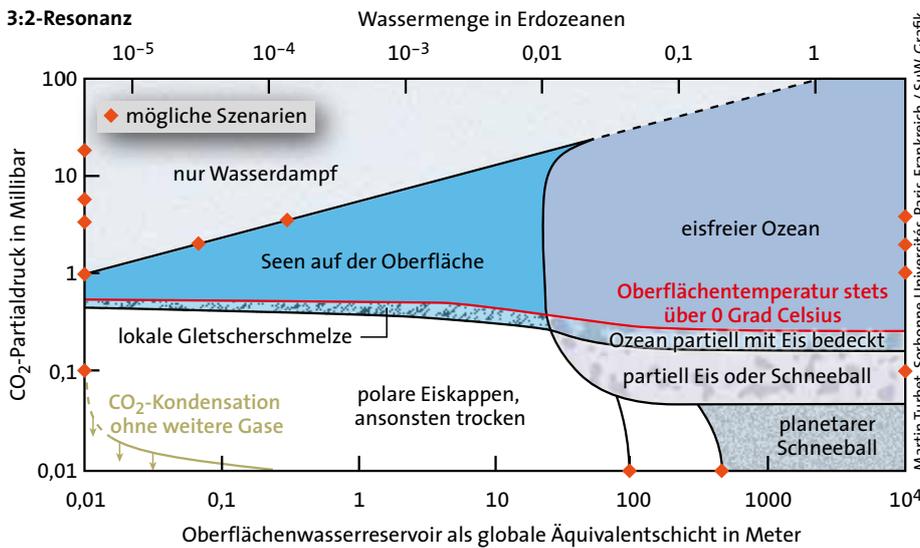
Die Oberflächentemperatur auf Proxima b hängt von verschiedenen Umständen ab. Zur Berechnung der linken Grafik nahmen die Forscher eine erdähnliche Atmosphäre und gebundene Rotation an, also eine 1:1-Resonanz zwischen Rotationsdauer und Umlaufzeit. Dargestellt ist die dem Stern zugewandte Seite des Planeten. In dieser numerischen Simulation ist Proxima b von einem Wasserozean bedeckt, wobei die violettfarbene Linie die Grenze zwischen festem und flüssigem Wasser markiert: Nur auf der dem Stern zugewandten Seite sind die Temperaturen hoch genug für flüssiges Wasser. Rechts: Im Fall einer 3:2-Resonanz (drei Rotationen innerhalb von zwei Umläufen) ist flüssiges Wasser allenfalls in einem tropischen Band entlang des Äquators möglich.



1:1-Resonanz (gebundene Rotation)



3:2-Resonanz



In welcher Form Wasser auf dem Planeten Proxima b vorkommen kann, lässt sich für verschiedene Klimamodelle anhand eines Phasendiagramms beschreiben. Unterschieden werden zwei Fälle: gebundene Rotation des Planeten (oben) und eine 3:2-Resonanz, also drei Rotationen pro zwei Umläufe um den Roten Zwergstern (unten). Je nachdem, wieviel Wasser es auf Proxima b gibt, und wie hoch der Partialdruck des Kohlendioxids (CO₂) in der Atmosphäre ist, gibt es zum Beispiel Seen oder Ozeane oder auch nur Wasserdampf. In diesen Phasendiagrammen ist die Menge an Wasser als äquivalente Wassertiefe eines hypothetischen globalen Ozeans und in Einheiten des Erdozeans angegeben. Auf der linken Seite der Diagramme finden sich die Fälle eines völlig trockenen Planeten, auf der rechten Seite die Fälle eines globalen Ozeans. Die roten Rauten markieren Szenarien, die im Rahmen der Forschungsarbeit mit Hilfe numerischer Klimamodelle untersucht wurden.

nach, wie ein heutiges Klima eines mehr oder weniger wasserreichen Proxima b aussehen würde. Dazu nutzen sie ein auf die Verhältnisse des Planeten angepasstes so genanntes dreidimensionales Arakawa-C-Gittermodell, dass auch zur Klima- und Wettermodellierung auf der Erde verwendet wird. Wesentliche Randbedingungen lieferten die zwei wahrscheinlichsten Rotationszustände des Planeten, die 1:1- und die 3:2-Resonanz. Bei einer 1:1-Resonanz wendet der Planet seinem Stern immer die gleiche Seite zu, wie der Mond der Erde. Bei einer 3:2-Resonanz, die ab einer Bahnexzentrizität von 0,06 wahrscheinlich ist, vollführt der Planet 1,5 Rotationen pro Umlauf, so wie der Planet Merkur. Dass Proxima b schneller rotiert, ist durch seinen engen Orbit unwahrscheinlich. Beide Szenarien haben sehr unterschiedliche Klimaverhältnisse zur Folge, die mit denjenigen auf der Erde nur wenig gemein haben – zumal die Rotationsachse des Planeten auf Grund von Gezeitenwirkungen senkrecht zur Bahnebene stehen sollte, Proxima b also keinerlei Jahreszeiten kennt (siehe Grafik S. 21).

Für eine Vielzahl durchgerechneter atmosphärischer Zusammensetzungen ist flüssiges Wasser auf der Oberfläche möglich. Die Forscher um Turbet variierten sowohl den Gesamtdruck als auch die Partialdrücke verschiedener Atmosphären-gase, vor allem Kohlendioxid, CO₂, und

neben infrarotem und sichtbarem Licht, die zur Erwärmung des Planeten dienen, auch energiereiche Ultraviolett- und Röntgenstrahlung – und davon sogar deutlich mehr als die Erde von der Sonne erhält. Der heute von Proxima b empfangene Röntgenfluss übertrifft den auf der Erde um einen Faktor 250, der Fluss der UV-Strahlung liegt je nach Wellenlänge beim 30- bis 60-Fachen. Seit seiner Entstehung dürfte Proxima b wohl 7- bis 16-mal soviel energiereiche Strahlung abbekommen haben wie die Erde. Röntgen- und UV-Licht sind in der Lage, Moleküle in der Hochatmosphäre aufzubrechen. Die leichteren Bruchstücke können dann ins All entweichen. Vor allem in den ersten Millionen Jahren war der Verlust an volatilen Substanzen besonders hoch: Proxima Centauri war in seinen Jugendjahren heißer als heute, und die habitable Zone befand sich in größerem Abstand. Auf Proxima b dürfte Wasser, egal in welcher Menge, in dieser Epoche nur als Gas in einer dichten At-

mosphäre vorhanden gewesen sein – mit entsprechend hohem Verlust ins All. Insgesamt könnte der Planet dabei rund einen Erdozean an Wasser verloren haben, meinen Ribas und seine Koautoren. Wie es danach weiterging, hängt von vielen unbekannten Faktoren ab: der Evolution des Sterns, der Zusammensetzung der Planetenatmosphäre sowie des Vorhandenseins und der Stärke eines eventuellen Magnetfelds um Proxima b. Auch hier führen mehrere Szenarien zu unterschiedlichsten Endzuständen. Keines davon erscheint aus heutiger Sicht wahrscheinlicher als die anderen. Proxima b könnte also heute entweder trocken oder wasserreich sein – und daher ist Lebensfreundlichkeit, auch Habitabilität genannt, zumindest nicht ausgeschlossen.

In ihrer zweiten Arbeit, für die Martin Turbet vom Laboratoire de Météorologie Dynamique der Sorbonne-Universität in Paris als Erstautor verantwortlich zeichnet, gehen die Wissenschaftler der Frage

Martin Turbet, Sorbonne Universités, Paris, Frankreich / SuW-Graphik

Stickstoff, N₂, sowie deren Mischungsverhältnis. Im Fall eines wasserreichen Planeten mit einer reinen CO₂-Atmosphäre bei einem Gesamtdruck von 1,0 Bar liegt die Oberflächentemperatur dank des Treibhauseffekts global oberhalb von 275 Kelvin (+3 Grad Celsius) – flüssiges Wasser wäre damit überall möglich. Bei einer erdähnlichen Atmosphäre (hauptsächlich Stickstoff mit Beimischungen von CO₂) kann flüssiges Wasser immerhin in den sonnigsten Bereichen des Planeten existieren. Im Fall der synchronen Rotation (1:1-Resonanz) ist das die dem Stern zugewandte Seite, im Fall der 3:2-Resonanz ein tropischer Gürtel entlang des Planetenäquators (siehe Grafik S. 21). Selbst ein trockener Proxima b, der höchstens ein Tausendstel der in irdischen Ozeanen enthaltenen Wassermenge besitzt, könnte flüssige Reservoirs auf seiner Oberfläche haben – entsprechend hohe CO₂-Konzentrationen vorausgesetzt. So sind Möglichkeiten für eine Habitabilität durchaus gegeben. Bleibt die Frage, ob und wie sich biologisches Leben auf der fernen Welt von der Erde aus nachweisen ließe.

Wie ließe sich Leben nachweisen?

Drei Arten von Beobachtungen lassen sich dazu nutzen.

■ Bereits mit heutigen Instrumenten könnten Astronomen das Transmissionspektrum einer möglichen Planetenatmosphäre messen, also das durch die Atmosphäre hindurch tretende Sternlicht – wenn, ja wenn Proxima b von der Erde aus gesehen direkt vor der Scheibe seines Zen-

tralsterns vorbeizöge. Leider gibt es dafür bislang keine Hinweise.

■ Alternativ ließen sich mit Hilfe der so genannten Phasenkurve, also der Veränderung der Strahlung des Planeten durch den sich während eines Umlaufs verändernden Blickwinkel von der Erde, Rückschlüsse auf eine Atmosphäre schließen. Die dazu notwendige hochgenaue Fotometrie ließe sich zum Beispiel mit dem zukünftigen James-Webb-Weltraumteleskop durchführen, wobei die stellare Variabilität die größte Herausforderung stellen wird.

■ Der Königsweg wäre die Untersuchung eines Spektrums des vom Planeten reflektierten Sternlichts. Dazu müsste zunächst ein direktes Bild des Planeten gelingen. Die Chancen dafür seien insbesondere mit den derzeit geplanten und in Bau befindlichen Riesenteleskopen wie dem European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO gut, meinen Turbet und seine Kollegen: Der Winkelabstand des Planeten von etwa 37 Millibogensekunden könnte mit neuen Instrumenten erreicht werden, seine Helligkeit sollte hochaufgelöste Spektren und damit die Suche nach molekularen Signaturen wie O₂, H₂O, CO₂ und CH₄ erlauben.

Pech hätten die Astronomen allerdings dann, wenn sich eine Biosphäre unter einem dicken Eispanzer verbergen würde. In diesem Fall ließen sich keine Lebensspuren in einer eventuellen Planetenatmosphäre nachweisen.

Zu praktisch identischen Ergebnissen kommt auch eine zweite Forschergruppe um Victoria Meadows von der Univer-

sity of Washington in Seattle, USA, deren Arbeiten in der Fachzeitschrift »Astrobiology« eingereicht wurden. Flüssiges Wasser und damit eine nach unseren Vorstellungen lebensfreundliche Umwelt auf der Oberfläche von Proxima b liegen im Bereich des Möglichen, und kein anderer potenziell bewohnbarer Planet bietet solch günstige Voraussetzungen für eine zukünftige Untersuchung. Eine zweite Erde ist der Exoplanet jedoch nicht – dafür unterscheiden sich seine bereits jetzt bekannten Eigenschaften zu sehr von denen unseres Heimatplaneten.

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

Literaturhinweise

Barnes, R. et al.: The Habitability of Proxima Centauri b. I: Evolutionary Scenarios. arXiv: 1608.06919v1

Meadows, V. S. et al.: The Habitability of Proxima Centauri b: II: Environmental States and Observational Discriminants. arXiv: 1608.08620

Ribas, I. et al.: The Habitability of Proxima Centauri b. I. Irradiation, Rotation and Volatile Inventory from Formation to the Present. arXiv: 1608.06813

Turbet, M. et al.: The Habitability of Proxima Centauri b. II. Possible Climates and Observability. arXiv: 1608.06827

Die große Ausnahme – Weißer Zwerg mit Atmosphäre aus Sauerstoff

W I S wissenschaft in die schulen!

Forscher haben einen Weißen Zwerg entdeckt, dessen Atmosphäre fast vollständig aus Sauerstoff besteht. Damit ist er bislang nicht nur einzigartig, er könnte auch wichtige Hinweise zur Sternentwicklung liefern.

Weiße Zwerge sind eigentlich nicht dafür bekannt, Forscherherzen höher schlagen zu lassen. Für Sterne bis zu rund elf Sonnenmassen stellen sie das letzte Entwicklungsstadium dar: Nachdem aller Brennstoffvorrat aufgebraucht ist, findet in ihrem Innern keine Kernfu-

sion mehr statt. Sie sind als extrem dichte Objekte – von einer sonnenähnlichen Masse, aber der Größe der Erde – Jahrmilliarden mit nichts anderem beschäftigt, als langsam abzukühlen, um schlussendlich völlig zu erlöschen (siehe Grafik S. 24). Massereichere Sterne erwartet da

ein wesentlich spannenderes Schicksal: Sie explodieren erst als Supernova, bevor sie – je nach Masse – als Neutronensterne oder Schwarze Löcher enden.

Und dennoch sind Weiße Zwerge immer wieder für Überraschungen gut – und eine solche beschrieb vor Kurzem ein