

Die Venus war schon immer eine Höllenwelt

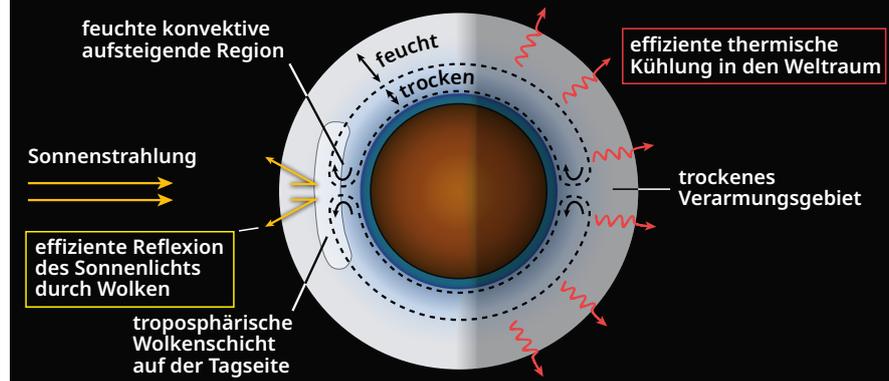
Immer wieder ist davon die Rede, dass die Venus kurze Zeit nach ihrer Entstehung ähnlich wie die Erde Wasserozeane besessen haben könnte. Dieser Vorstellung eines zweiten Blauen Planeten in der Frühzeit des Sonnensystems widerspricht jetzt eine Arbeitsgruppe von der Universität Genf.

Glühende Welt Die japanische Raumsonde Akatsuki lichtete unseren inneren Nachbarplaneten im Ultravioletten (schmale Sichel links) auf der von der Sonne beschienenen Seite und im Infraroten auf der Nachtseite ab. In eng begrenzten infraroten Frequenzbereichen ist die permanente Wolkendecke des Planeten durchlässig und erlaubt einen Blick in die extrem heißen tieferen Atmosphärenschichten.

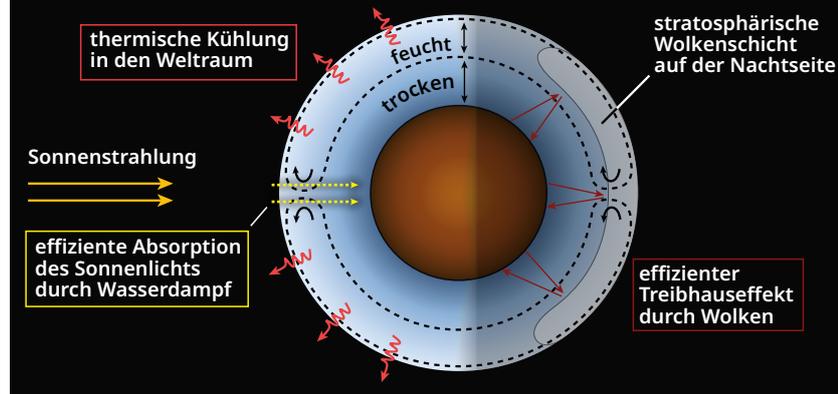
Wolkendecken bei Tag und Nacht Bei einem langsam rotierenden Planeten, der zu Anfang von einem Wasserozean bedeckt war, kann sich auf der Tagseite eine dichte Wolkendecke ausbilden, die einen großen Anteil an Sonnenlicht in den Weltraum zurückwirft (oben). Der Planet bleibt kühl genug, so dass sich die Ozeane halten können. Bei einem Planeten, dessen Wasser sich vollständig in Form von Dampf in der Atmosphäre befindet, entsteht die Wolkendecke auf der Nachtseite (unten). Sie hält den Planeten warm und verhindert auf Dauer, dass sich Wasserozeane bilden können.

Vergleicht man unseren inneren Nachbarplaneten Venus im Hinblick auf Größe, chemische Zusammensetzung und Masse mit unserer Erde, so scheint er ein Zwilling unserer Heimatwelt zu sein (siehe »Glühende Welt«). Die genaue Gegenüberstellung lehrt uns schnell eines Besseren: Statt einer freundlichen, einladenden Welt sieht man sich mit einer glühend heißen Oberfläche mit Temperaturen um 470 Grad Celsius konfrontiert – hier würden Blei und Zinn bereits schmelzen. Zudem lastet auf der Oberfläche ein dem 90-Fachen der Erde entsprechender Atmosphärendruck, der durch die vor allem aus Kohlendioxid bestehende Gashülle erzeugt wird. Der Gehalt an Kohlendioxid in der Venusatmosphäre beträgt etwa 97 Prozent, der Rest sind Beimischungen von Stickstoff und Argon sowie einer Menge weiterer Spurengase, darunter auch geringe Mengen von Wasserdampf. Die äußerst großen Kohlendioxidmengen sorgen für einen extremen Treibhauseffekt, so dass die Temperaturen auf der Venus sogar höher liegen als auf dem sonnennächsten Planeten Merkur, der sich beträchtlich näher an der Sonne befindet. Aber war die Venus immer schon so abweisend?

Ozeane an der Oberfläche, temperierte wasserarme Atmosphäre



trockene Oberfläche, heiße wasserdominierte Atmosphäre



Kühle junge Sonne

Tatsächlich leuchtete unsere Sonne kurz nach der Entstehung der Planeten vor rund 4,5 Milliarden Jahren erheblich schwächer als heute; sie erreichte nur etwa 75 Prozent der heutigen Strahlungsleistung. Daher kam in der Frühzeit des Sonnensystems entsprechend weniger solare Strahlung als heute auf der Venus an. Seitdem hat die Sonne ihre Strahlungsproduktion jedoch immer weiter gesteigert und wird dies auch in Zukunft tun (siehe »Die Entwicklung der habitablen Zone um die Sonne«).

Die Uratmosphären von Venus und Erde dürften einander durchaus recht ähnlich gewesen sein, da sich beide Welten aus annähernd dem gleichen Material in der Akkretionsscheibe um die Sonne gebildet hatten. Die Gashüllen bestanden praktisch nur aus großen Mengen von Wasserdampf und Kohlendioxid – alle anderen Stoffe kamen lediglich in Spuren vor. Bei der kühleren Erde kam es nach der Bildung der ersten festen Kruste zum Abregnen des in der Atmosphäre gespeicherten Wasserdampfs. Das flüssige Wasser sammelte sich rasch in den Senken der frühen Erdoberfläche und bildete

vor mehr als vier Milliarden Jahren erste Ozeane. Über viele Millionen Jahre hinweg lautete die Wettervorhersage für die Erde durchgehend: anhaltender, sintflutartiger Regen.

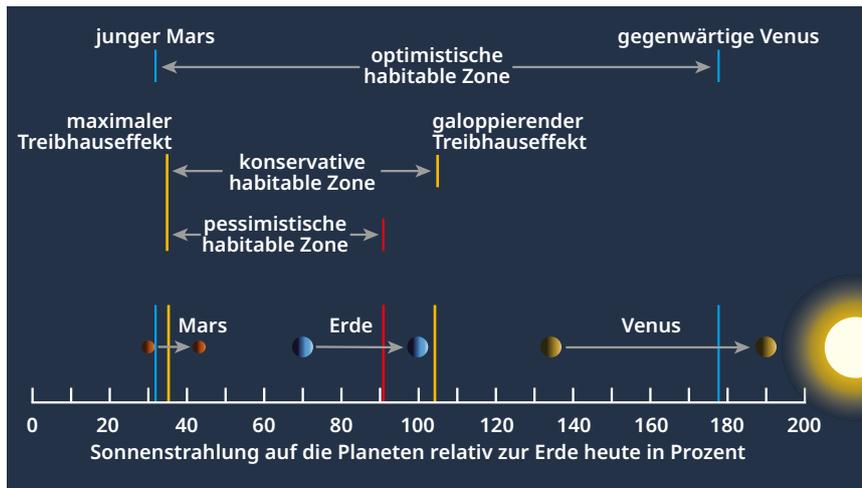
Die irdischen Ozeane wirkten in besonderer Weise auf die Atmosphäre ein: Zunächst wusch das Wasser Ionen von Kalzium, Magnesium, Natrium und Kalium in großer Menge aus den Gesteinen der Erdkruste aus, die sich daraufhin in den Urozeanen ansammelten. Das Wasser war mit Kohlendioxid übersättigt, bildete also Kohlensäure, und dürfte an schäumendes Sprudelwasser erinnert haben. Auf Grund der hohen Kohlensäuregehalte wurde vor allem Kalzium in Form von Kalziumkarbonat, also Kalkstein, in den Urozeanen ausgefällt und bildete mächtige Ablagerungen. Zudem sank dadurch der Kohlendioxidgehalt der Luft rapide, was auch für immer niedrigere Temperaturen auf der Erde sorgte.

Tatsächlich sind mehr als 99 Prozent der irdischen Vorräte an Kohlendioxid in den Kalkgesteinen der Erdkruste fest gebunden und aus dem atmosphärischen Kreislauf für immer entfernt. Aber wie sah das bei der Venus aus, die wegen ihres ge-

SuW-Grafik, nach Turbet, M. et al.: Day-night cloud asymmetry prevents early oceans on Venus but not on Earth (www.nature.com/articles/s41586-021-03873-w). Nature 596, 2021, fig. 1; Nutzung genehmigt von Springer Nature / CCC

Die Entwicklung der habitablen Zone um die Sonne

Die langsame Steigerung der Leuchtkraft der Sonne sorgt dafür, dass die habitable Zone – jene Region, in der flüssiges Wasser auf einer Planetenoberfläche existieren kann – allmählich nach außen wandert. Somit scheinen sich in dieser Darstellung, in der die habitable Zone im Hinblick auf den solaren Strahlungsfluss normiert ist, die Planeten nach innen bewegt zu haben. Die optimistische habitable Zone ist empirisch definiert und reicht vom jungen Mars bis hin zur heutigen Venus. Die konservative habitable Zone wird durch Klimamodelle definiert und schließt Planeten mit einem galoppierenden Treibhauseffekt bis hin zu einem maximalen Treibhauseffekt ein. Die pessimistische habitable Zone ergibt sich aus der neuen Arbeit von Martin Turbet und seinem Team: Sie schneidet den innersten Bereich der konservativen habitablen Zone ab, da ihr Modell zeigt, dass Planeten in diesem Bereich nie Ozeane aufwiesen. Allerdings kann ein Planet wie die Erde später in diesen Bereich hineinwandern und nach wie vor bewohnbar bleiben, nachdem sich dort Ozeane gebildet haben.



SuW-Grafik, nach Nature: Kasting, J. F., Harman, C. E.: Venus might never have been habitable (www.nature.com/articles/d41586-021-02720-2), Nature 598, 2021, fig. 1

ringeren Sonnenabstands immer wesentlich wärmer war als die Erde? Hatte sie eine freundliche Zeit mit Ozeanen auf der Oberfläche?

Schwitzen unter nächtlicher Wolkendecke

Offenbar nicht, wie die Arbeitsgruppe um Martin Turbet von der Universität Genf feststellte. Sie modellierte das dreidimensionale Verhalten der Venusatmosphäre unter den Bedingungen der schwächeren Sonneneinstrahlung und fand dabei heraus, dass unser innerer Nachbarplanet niemals so weit abkühlen konnte, dass der Wasserdampf als Regen auf seine Oberfläche fiel.

Dabei wird davon ausgegangen, dass sich alles venusianische Wasser als Dampf in der Atmosphäre befand und in große Höhen über der Oberfläche aufstieg. Dort sorgte der Wasserdampf dafür, dass sich die Gashülle insgesamt stark aufheizte. Sie brachte dabei Windsysteme hervor, die große Mengen gasförmigen Wassers auf die Nachtseite transportierten, das dort zu dichten Wolken kondensierte. Aber sie

regneten nicht ab, sondern absorbierten die von der Oberfläche abgestrahlte Wärme und warfen sie wieder zum Planeten zurück (siehe »Wolkendecken bei Tag und Nacht«). Diese »Kuscheldecke« verhinderte, dass die Venus auf erträgliche Temperaturen abkühlen konnte und somit immer eine Höllenwelt blieb. Dies steht im Gegensatz zu anderen Modellen der Entwicklung der Venusatmosphäre, die aber immer von der Voraussetzung ausgingen, dass es zu Anfang auf der Venus Ozeane gab (siehe SuW 3/2020, S. 40).

Wasserdampf ist ein starkes Treibhausgas. Auf der Erde sorgt der atmosphärische Wasserdampf dafür, dass die mittlere Temperatur auf unserem Planeten um rund 30 Grad Celsius höher ist, als es das Strahlungsgleichgewicht erwarten ließe. Ohne atmosphärischen Wasserdampf würde die Durchschnittstemperatur auf der Erde bei -15 Grad Celsius liegen – unser Blauer Planet wäre also ein weißer, kalter Eisball.

Was der Erde zum Vorteil gerät, führte bei der Venus zum Gegenteil: Sie erhält etwa die zweifache Sonneneinstrahlung ge-

genüber der Erde und ist dementsprechend heißer. Der Wasserdampf verblieb in der Gashülle und wurde durch die solare Ultraviolettstrahlung in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Wasserstoff konnte ins All entweichen, weil die Schwerkraft der Venus bei der herrschenden Temperatur nicht ausreicht, die extrem leichten Wasserstoffmoleküle auf Dauer festzuhalten. Die leichteren Moleküle haben bei gleicher Temperatur eine höhere Geschwindigkeit und erreichen in deutlich höherer Zahl die Fluchtgeschwindigkeit. Der schwerere Sauerstoff dagegen blieb auf dem Planeten und reagierte chemisch mit den Gesteinen der Venusoberfläche, wodurch er der Atmosphäre entzogen wurde.

Diese Vorstellung wird gestützt durch das Isotopenverhältnis von schwerem Wasserstoff (Deuterium) zu gewöhnlichem Wasserstoff, das auf der Venus rund 100-mal so hoch wie auf der Erde ist. Somit muss die Venus in den letzten 4,5 Milliarden Jahren eine erhebliche Wassermenge verloren haben. Weitere Aufschlüsse über die Entwicklungsgeschichte der Venus dürften die drei derzeit geplanten neuen Venussonden DaVinci+ und VERITAS der NASA sowie EnVision der ESA erbringen, deren Starts gegen Ende des Jahrzehnts erfolgen sollen (siehe SuW 8/2021, S. 13).

Bei ihren Modellierungen fand die Gruppe um Turbet heraus, dass es auch für die Erde in der Vergangenheit heikel war. Hätte die Sonne zu Anfang schon etwa 92 Prozent ihrer heutigen Leuchtkraft erreicht, so wäre auch unsere Welt zu einer Gluthölle geworden. Weil die gleichen Effekte wirksam geworden wären, stünde eine solche Welt der Venus kaum nach. Dies sollte man auch im Hinterkopf behalten beim Versuch, auf die mögliche Lebensfreundlichkeit von Exoplaneten zurückzuschließen, die sich heute in der habitablen Zone um ihren Stern befinden.

Tilmann Althaus ist promovierter Geowissenschaftler und seit 2002 Redakteur bei »Sterne und Weltraum«.

Literaturhinweise

Dyar, M. D. et al.: Venus – Der Exoplanet nebenan. *Sterne und Weltraum* 3/2020, S. 40–46

Kasting, J. F., Harman, C. E.: Venus might never have been habitable. *Nature* 598, 2021

Turbet, M. et al.: Day–night cloud asymmetry prevents early oceans on Venus but not on Earth. *Nature* 598, 2021