

Wie entstehen Jahreszeiten?

In Bezug zum Beitrag „Ein Heißer Jupiter mit Jahreszeiten“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 9/2022, Rubrik „Blick in die Forschung: Nachrichten“, S.11, Zielgruppe: Mittelstufe, WIS-ID: 1571162

Monika Maintz

Leider trifft man nach wie vor auf falsche Vorstellungen, wenn es um die Frage geht, wie die Jahreszeiten auf der Erde entstehen. Andererseits kennt man mittlerweile Himmelskörper, bei denen genau solche in Bezug auf die Erde völlig falschen Konzepte tatsächlich Jahreszeiten hervorbringen. Im WIS-Beitrag wird dargestellt, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Jahreszeiten auf Planeten entstehen können. Desweiteren werden Objekte im und außerhalb des Sonnensystems vorgestellt, die Jahreszeiten aufweisen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Positionsastronomie, Planeten	Jahreszeiten, Erdumlaufbahn , Neigung der Rotationsachse , Perihel , Aphel , Erde , Mars , Saturn , Uranus , Neptun , extrasolare Planeten
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo	Jahreszeiten , Neigung der Rotationsachse der Erde
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis)	Ideen kritisch hinterfragen, Aussagen überprüfen und beurteilen Fehlvorstellungen kennen



Abbildung 1: Wandel der Jahreszeiten am Beispiel einer Eiche im Felderbachtal bei Velbert-Nierenhof; oben links: Winter, oben rechts Frühling, unten links: Sommer, unten rechts: Herbst. ©: J.hagelüken - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=107122179>.

Jahreszeiten auf der Erde

[Zurück zum Anfang](#)

Nach wie vor hält sich die **Fehlvorstellung**, dass die Jahreszeiten auf der Erde dadurch entstehen, dass die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne mal näher und mal weiter von unserem Zentralgestirn entfernt ist. Tatsächlich ändert sich der Abstand der Erde von der Sonne im Laufe eines Jahres, da die Umlaufbahn unseres Heimatplaneten leicht elliptisch ist. Aber können die dabei auftretenden Entfernungsdifferenzen wirklich für die Entstehung der irdischen Jahreszeiten verantwortlich sein?

Plausibilitätsüberlegung

Beginn von Herbst und Winter auf der Nordhemisphäre der Erde im Jahr 2021¹:

- Herbstbeginn (*Herbsttagundnachtgleiche*): 22. September, 20:21 Uhr MEZ (= 21:21 Uhr MESZ)
- Winterbeginn (*Wintersonnenwende*): 21. Dezember, 16:59 Uhr MEZ

Beginn der Jahreszeiten auf der Nordhemisphäre der Erde im Jahr 2022²:

- Frühlingsbeginn (*Frühlingstagundnachtgleiche*): 20. März, 16:33 Uhr MEZ
- Sommerbeginn (*Sommersonnenwende*): 21. Juni, 10:14 Uhr MEZ (= 11:14 Uhr MESZ)
- Herbstbeginn (*Herbsttagundnachtgleiche*): 23. September, 2:04 Uhr MEZ (= 3:04 Uhr MESZ)
- Winterbeginn (*Wintersonnenwende*): 21. Dezember, 22:48 Uhr MEZ

Das Winterhalbjahr 2021/2022 beginnt auf der Nordhalbkugel demnach am 22. September 2021 und endet am 20. März 2022. Das Sommerhalbjahr 2022 fällt in den Zeitraum 20. März bis 23. September. Wenn man längere Zeiträume von einigen hundert Jahren betrachtet, stellt man fest, dass der Beginn der Jahreszeiten leicht variiert. So kann der Frühlingsbeginn auf den 19., 20. oder 21. März fallen, der Sommeranfang auf den 20. oder 21. Juni, der Herbst kann am 22. oder 23. September beginnen und der Winter am 20., 21., 22. oder 23. Dezember.

Wie wir bereits wissen, ist die Entfernung der Erde von der Sonne wegen der elliptischen Erdumlaufbahn nicht konstant. Stattdessen kommt die Erde der Sonne im Laufe eines Jahres einmal näher und entfernt sich dann wieder von ihr. Dabei durchläuft unser Heimatplanet zwei Bahnpunkte, an denen der Abstand zur Sonne einmal minimal und einmal maximal wird. Den sonnennächsten Punkt der Erdumlaufbahn bezeichnet man als **Perihel**, der sonnenfernste Punkt heißt **Aphel**. Die Verbindungslinie dieser beiden Punkte (Apsidenlinie) definiert die Hauptachse der Ellipsenbahn der Erde. Im Jahr 2022 erreicht sie diese beiden Punkte an folgenden Tagen²:

- Erde in Sonnennähe (im Perihel): 4. Januar, 8 Uhr MEZ
Entfernung zur Sonne: 147.105.000 km
- Erde in Sonnenferne (im Aphel): 4. Juli, 8 Uhr MEZ (= 9 Uhr MESZ)
Entfernung zur Sonne: 152.098.000 km

Über längere Zeiträume betrachtet variieren die Tage, an denen die Erde das Perihel und das Aphel durchläuft, ähnlich wie die Anfänge der Jahreszeiten, d. h. die Perihel- bzw. Apheldurchgänge können auch ein paar Tage vor oder nach dem 4. Januar bzw. 4. Juli liegen. Vergleicht man nun die zeitliche Lage der Winter- und Sommerhalbjahre für die nördliche Hemisphäre mit den Zeitpunkten, an denen die Erde ihren sonnennächsten bzw. sonnenfernsten Bahnpunkt passiert, stellt man folgendes fest:

¹ Angaben entnommen aus: Keller, Hans-Ulrich: Kosmos Himmels-Jahr 2021, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart, 2020
² Angaben entnommen aus: Keller, Hans-Ulrich: Kosmos Himmels-Jahr 2022, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart, 2021

- Wenn die Erde ihr Perihel (sonnennächster Bahnpunkt) durchläuft, ist auf der Nordhalbkugel Winter!
- Wenn die Erde ihr Aphel (sonnenfernster Bahnpunkt) durchläuft, ist auf der Nordhalbkugel Sommer!

Dieses Ergebnis steht in völligem Widerspruch zu der Idee, dass die Jahreszeiten auf der Erde durch die periodische Schwankung des Abstands zwischen Erde und Sonne im Jahreslauf und damit durch die Elliptizität der Erdbahn hervorgerufen werden könnten.

Nun ließe sich noch einwenden, dass der Periheldurchgang der Erde bezüglich der Südhalbkugel tatsächlich im südlichen Sommerhalbjahr und der Apheldurchgang im südlichen Winterhalbjahr erfolgt. Allerdings müsste man dann auch die Frage schlüssig beantworten, wie es sein kann, dass auf den beiden Hemisphären ein und desselben Planeten zeitgleich unterschiedliche Jahreszeiten vorkommen.

FAZIT: Die Plausibilitätsüberlegung zeigt, dass die elliptische Umlaufbahn der Erde um die Sonne nicht die Ursache für die Entstehung der irdischen Jahreszeiten sein kann.

1. Schrägstellung der Erdachse

[Zurück zum Anfang](#)

Für die Entstehung der Jahreszeiten auf der Erde ist ein anderer Effekt verantwortlich: die Schrägstellung der Erdachse (Abb. 2). Diese ist gegen die Senkrechte auf der Erdbahnebene um $23^\circ 26'$ geneigt. Damit ist auch die Äquatorebene der Erde geneigt und zwar gegen die Erdbahnebene selbst und ebenfalls um $23^\circ 26'$. Dieser Zusammenhang lässt sich aus Abb. 2 leicht herleiten (vergleiche die zueinander gedrehten rechten Winkel).

Da die Äquatorebene beim Umlauf um die Sonne ihre Lage im Raum beibehält (Abb. 3), werden verschiedene Bereiche der Erdoberfläche im Laufe eines Jahres unterschiedlich stark und unterschiedlich lang von der Sonne beleuchtet (Abb. 3 und 4). Ein halbes Jahr lang erhält die Nordhalbkugel im Vergleich zur Südhalbkugel mehr Energie von der Sonne. Dann kehren sich die Verhältnisse um und die Südhalbkugel wird für ein halbes Jahr stärker von der Sonne bestrahlt als die Nordhalbkugel. So bekommen beide Erdhemisphären abwechselnd mal mehr und mal weniger Energie durch das Sonnenlicht. Dadurch können sich problemlos unterschiedliche Jahreszeiten auf der Nord- und Südhalbkugel der Erde ausbilden.

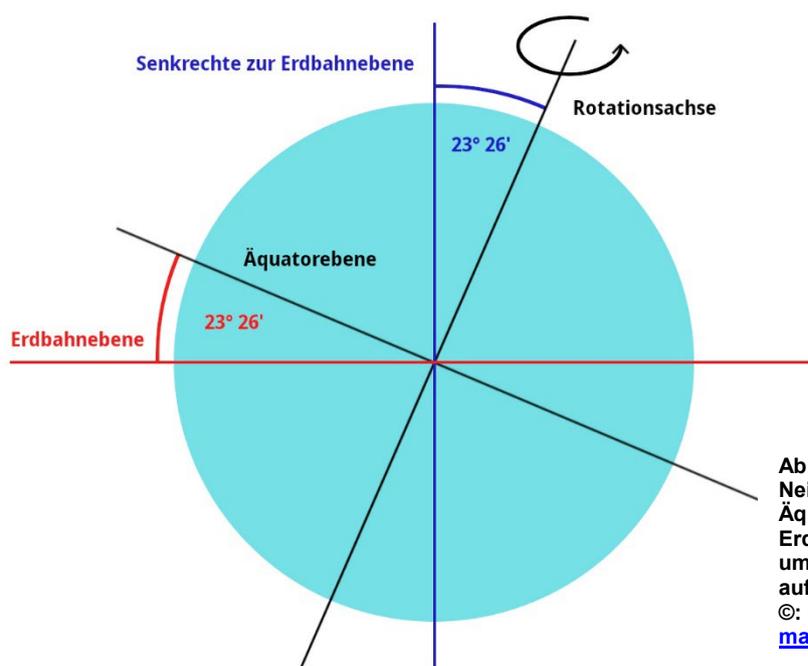


Abbildung 2:
Neigung der Rotationsachse und der Äquatorebene der Erde in Bezug zur Erdbahnebene (Umlaufebene der Erde um die Sonne) sowie zur Senkrechten auf der Erdbahnebene.
©: Monika Maintz, www.astronomie-maintz.de, CC BY-SA 3.0.

2. Einfluss der elliptischen Form der Erdbahn auf die Jahreszeiten

[Zurück zum Anfang](#)

Bleibt nur noch die Frage, ob sich die Elliptizität der Erdbahn und die damit verbundene variable Entfernung der Erde zur Sonne nicht doch auf irgendeine Weise auf die Jahreszeiten auswirkt. Und in der Tat kann man einen Einfluss feststellen. Die Schrägstellung der Erdachse ist zwar bei weitem der dominierende Effekt und für die Entstehung der irdischen Jahreszeiten verantwortlich. Die unterschiedlichen Abstände zwischen Erde und Sonne im Jahreslauf machen sich aber dennoch bemerkbar: Die Winter auf der Nordhalbkugel werden etwas abmildert (Periheldurchgang und damit maximale Nähe der Erde zur Sonne im Januar), während die Winter auf der Südhalbkugel etwas strenger verlaufen (Apheldurchgang und damit maximale Sonnenferne im Juli).

Dass die Form der **Erdumlaufbahn** die Jahreszeiten nur so wenig beeinflusst, liegt daran, dass die Erde die Sonne fast kreisförmig umläuft. Die Elliptizität ist so gering, dass die im Laufe eines Jahres auftretenden Entfernungsunterschiede vergleichsweise moderat ausfallen.

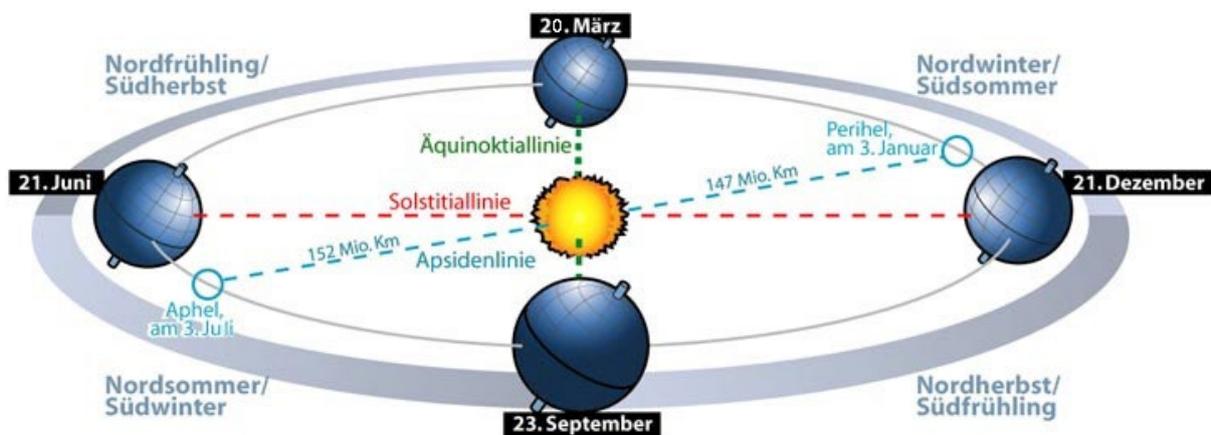


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Erdbahn (grau) mit den Positionen der Erde:

- zur Frühlingstagundnachtgleiche (Frühlingsäquinoktikum) am 20. März und zur Herbsttagundnachtgleiche (Herbstäquinoktikum) am 23. September mit Äquinoktiallinie (grüne gestrichelte Linie, verbindet die beiden Äquinoktialpunkte),
- zur Sommersonnenwende (Sommersolstitium) am 21. Juni und zur Wintersonnenwende (Wintersolstitium) am 21. Dezember mit Solsticiallinie (rote gestrichelte Linie, verbindet die beiden Solsticialpunkte)
- sowie Lage des Aphels (3. Juli) und des Perihels (3. Januar) mit Apsidenlinie (Ellipsenhauptachse, gestrichelte türkise Linie, die die beiden Apsiden der Bahnellipse - Aphel und Perihel - verbindet). Die Datumsangaben beziehen sich auf das Jahr 1999.

©: Horst Frank, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=363424>.

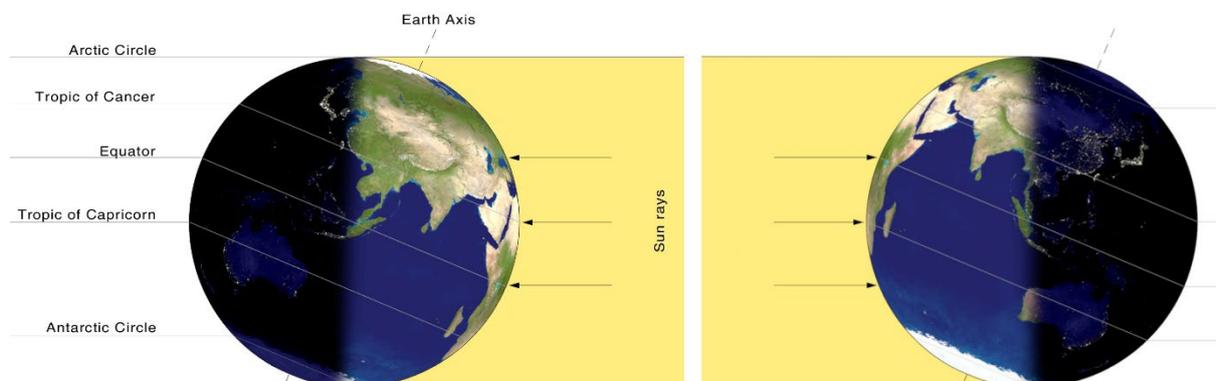


Abbildung 4: Beleuchtung der Erde durch die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende (links) und Wintersonnenwende (rechts) auf der nördlichen Erdhalbkugel. Während der Sommersonnenwende liegt das Nordpolargebiet vollständig im Sonnenlicht, während der Wintersonnenwende dagegen in völliger Dunkelheit. - Im linken Bild ist die Erdoberfläche seitenverkehrt abgebildet, da das Bild auf eine Darstellung zurückgeht, bei der die Erdachse ursprünglich nach links gekippt war. ©: Bild links: Przemyslaw "Blueshade" Idzkiewicz - This file was derived from: Earth-lighting-summer-solstice EN.png, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55054746>; Bild rechts: Commons sibi - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30276905>.

Jahreszeiten bei Planeten im Sonnensystem

[Zurück zum Anfang](#)

Prinzipiell können Jahreszeiten bei Himmelskörpern auf zwei Arten entstehen:

- Schrägstellung der Drehachse des Himmelskörpers
- Elliptizität der Umlaufbahn des Himmelskörpers um seinen Stern

Welche Ursache dominiert oder ob eine Kombination beider Effekte zur Entstehung von Jahreszeiten führt, hängt davon ab, wie stark die Rotationsachse geneigt ist und wie sehr die Umlaufbahn von einer Kreisbahn abweicht. Im Falle der Erde entstehen die Jahreszeiten aufgrund der Schrägstellung der Erdachse.

1. Jahreszeiten auf Mars

[Zurück zum Anfang](#)

Mars hat vier unterschiedliche Jahreszeiten ähnlich wie die Erde. Hervorgerufen werden sie ebenfalls durch die Schrägstellung seiner Rotationsachse. Diese ist mit $25^{\circ} 12'$ sogar etwas stärker geneigt als die Erdachse. Im Vergleich zu den Jahreszeiten auf der Erde dauern die Jahreszeiten auf dem Mars etwa doppelt so lange, da das Marsjahr und damit seine Umlaufdauer um die Sonne etwa zwei Erdjahren entsprechen. Da die Neigung der Marsachse für die Entstehung der Jahreszeiten verantwortlich ist, gibt es auf der Nord- und Südhemisphäre des Mars jeweils gegensätzliche Jahreszeiten wie auf der Erde. Diese sind jedoch deutlich stärker ausgeprägt, da die Umlaufbahn des Mars um die Sonne elliptischer ist als die Erdumlaufbahn. Die Marsnähe und -ferne zur Sonne wirkt sich daher stärker aus. So ist der Sommer auf der Südhemisphäre deutlich wärmer als der Sommer auf der Nordhemisphäre.

2. Jahreszeiten auf Saturn

[Zurück zum Anfang](#)

Da die Rotationsachse des Saturn eine Neigung von $26^{\circ} 42'$ aufweist, lassen sich auch bei ihm vier Jahreszeiten beobachten. Wegen seiner viel längeren Umlaufzeit um die Sonne von knapp 30 Jahren dauern sie im Vergleich zur Erde mit jeweils etwa sieben Jahre deutlich länger an. Sichtbar werden sie unter anderem dadurch, dass sich beim Wechsel der Jahreszeiten die Farbe der Atmosphäre des Ringplaneten verändert. Die Hemisphäre, auf der allmählich der Winter anbricht, nimmt eine bläuliche Färbung an. Naht dagegen der Sommer, verliert sie diese Färbung wieder. Hervorgerufen wird dieses Phänomen durch die jahreszeitlich bedingte unterschiedliche Einstrahlung von ultraviolettem Sonnenlicht. Wird die Menge an Ultraviolettstrahlung geringer, verringert sich auch der Dunstschleier in den betroffenen Regionen der Saturnatmosphäre. Die Moleküle in der Atmosphäre können mehr Sonnenlicht direkt streuen und färben die jeweiligen Gebiete blau.

3. Jahreszeiten auf Uranus

[Zurück zum Anfang](#)

Mit einer Achsneigung von $97^{\circ} 48'$ stellt Uranus eine Besonderheit im Sonnensystem dar. Man geht davon aus, dass der Eisriese in seiner Frühzeit durch einen Zusammenstoß mit einem Himmelskörper, der etwa die Größe der Erde hatte, umgekippt wurde. Diese extreme Schrägstellung seiner Rotationsachse führt zu der Entstehung ebenso extremer Jahreszeiten. Diese machen sich z.B. durch eine stärkere oder schwächere Ausbildung von Wolkenstrukturen in den beiden Hemisphären oder durch die Veränderung von Sturmsystemen bemerkbar. Jede der vier Jahreszeiten dauert etwa 20 Jahre. Da ein Uranusjahr rund 84 Erdjahren entspricht, liegen seine Pole abwechselnd für jeweils 42 Jahre im Sonnenlicht und danach für einen ebenso langen Zeitraum im Dunkeln. Dadurch erhalten die Regionen, die sich in der Nähe der Pole befinden, im Laufe eines Uranusjahrs durchschnittlich mehr Strahlung von der Sonne als die Gebiete in der Nähe des Äquators. Dennoch sind die Äquatorregionen wärmer als die Pole. Der Grund dafür ist nicht bekannt.

4. Jahreszeiten auf Neptun

[Zurück zum Anfang](#)

Die Rotationsachse von Neptun ist um $28^{\circ} 18'$ geneigt. Daher lassen sich auch bei diesem Eisriesen ausgeprägte Jahreszeiten wie auf der Erde beobachten. Da ein Jahr auf Neptun ungefähr 165 Erdjahre dauert, sind die vier Jahreszeiten mit jeweils rund 41 Jahren sehr lang. Der Wechsel der Jahreszeiten macht sich wie bei Uranus durch die Veränderung von Wolkenstrukturen in der Atmosphäre Neptuns bemerkbar.

Jahreszeiten auf extrasolaren Planeten

[Zurück zum Anfang](#)

Wir haben gesehen, dass für die Entstehung der Jahreszeiten bei den Planeten im Sonnensystem die Neigung der Rotationsachse die entscheidende Rolle spielt. Das liegt daran, dass die Umlaufbahnen der Planeten nur leicht elliptisch sind und eher einer Kreisbahn ähneln. Die Elliptizität der Planetenbahnen kann die Ausprägung der Jahreszeiten zwar verstärken, reicht aber als alleinige Ursache für deren Zustandekommen nicht aus. Das muss so aber nicht generell und nicht für alle Sternsysteme gelten. Wenn Sterne Planeten haben, die sie auf stark elliptischen Bahnen umlaufen, kann die periodische zeitliche Änderung der Entfernung von Planet und Stern ausreichen, um Jahreszeiten hervorzurufen. Mit XO-3b wurde ein extrasolarer Planet entdeckt, bei dem genau durch diesen Effekt Jahreszeiten entstehen.

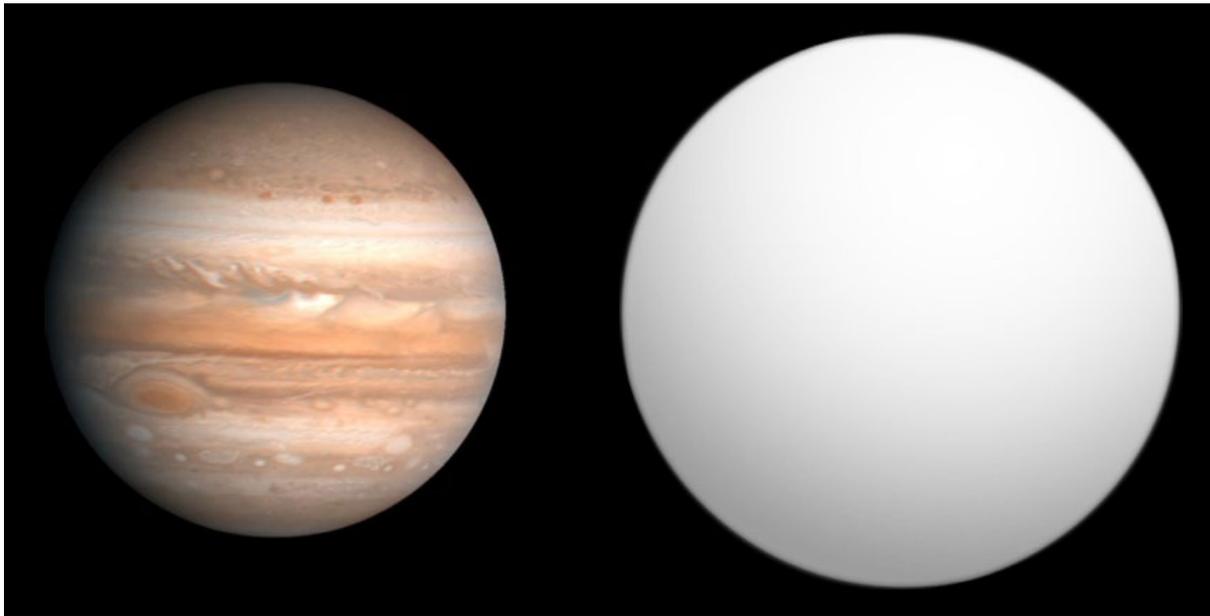


Abbildung 5: Größe des Exoplaneten XO-3b (rechts) im Vergleich zu Jupiter (links). ©: Aldaron, a.k.a. Aldaron - Eigenes Werk, incorporating public domain images for reference planets (see below), inspired by Thingg's size comparison, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8903988>.

Jahreszeiten auf XO-3b

Der extrasolare Planet XO-3b (Abb. 5) gehört zur Klasse der "Heißen Jupiter". In diese Kategorie fallen Exoplaneten, deren Masse in etwa so groß ist wie die Masse von Jupiter. Sie können aber auch eine deutlich größere Masse haben. Außerdem muss ihre Oberflächentemperatur die des Jupiters deutlich übersteigen.

XO-3b zeigt ausgeprägte Jahreszeiten. Diese entstehen dadurch, dass der Planet seinen Stern XO-3 auf einer elliptischen Bahn umläuft, die merklich von einer Kreisbahn abweicht. Dadurch kommt er seinem Stern zeitweise extrem nahe, um sich dann wieder vergleichsweise weit von ihm zu entfernen. In diesem Falle sind also die variierenden Abstände zwischen Planet und Stern tatsächlich die treibende Kraft für die Entstehung der beobachteten Jahreszeiten (siehe "Sterne und Weltraum" 9/2022, S. 11).

Die Ausprägung der Jahreszeiten auf XO-3b unterscheidet sich aber völlig von den Jahreszeiten auf der Erde und den anderen Planeten in unserem Sonnensystem. Bei diesen weisen die beiden Planetenhemisphären jeweils gegensätzliche Jahreszeiten auf. Bei XO-3b dagegen gibt es auf dem gesamten Planeten jeweils nur eine einzige Jahreszeit: Sommer ist dann, wenn der Planet seinem Stern am nächsten kommt. Der Winter tritt ein, wenn der Planet am weitesten von seinem Stern entfernt ist. Während des Sommers erhält der Planet etwa dreimal mehr Strahlung von seinem Stern als im Winter! XO-3b ist bis jetzt der dritte extrasolare Planet, bei dem ein jahreszeitlicher Wechsel entdeckt wurde. Weitere werden mit Sicherheit folgen.

Literaturangaben und Links

[Zurück zum Anfang](#)

Erde und allgemein

- Zimmermann, Helmut und Gürtler, Joachim: ABC Astronomie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2008, 9. Auflage
- <https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/jahreszeiten/207>
- <https://www.astronomie.de/astronomie-fuer-kinder/interessantes-fuer-lehrer-eltern/in-der-schule/die-jahreszeiten>
- <https://earthobservatory.nasa.gov/images/52248/seeing-equinoxes-and-solstices-from-space>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Jahreszeit>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Season>
- <https://www.timeanddate.de/astronomie/perihel-aphel-sonne>

Planeten im Sonnensystem allgemein

- https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Seasons_on_other_planets
- <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/interplanetaryseasons>

Mars

- <https://sci.esa.int/web/home/-/30214-the-seasons-on-mars>
- <https://mars.nasa.gov/all-about-mars/facts/mars-year>
- <https://solarsystem.nasa.gov/planets/mars/by-the-numbers>

Saturn

- <https://www.spektrum.de/news/saturn-im-wandel-der-jahreszeiten/1160937>
- <https://solarsystem.nasa.gov/planets/saturn/by-the-numbers>

Uranus

- <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/nachrichten/2008/jahreszeiten-auf-uranus>
- <https://solarsystem.nasa.gov/planets/uranus/by-the-numbers>

Neptun

- <https://www.spektrum.de/news/sonnensystem-jahreszeiten-auf-dem-neptun/2008564>
- <https://solarsystem.nasa.gov/planets/neptune/by-the-numbers>