Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 77 (2019)
Heft: 6

Artikel: Die Erde war einst viel wärmer als heute
Autor: Baer, Thomas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-960581

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CO_2-Atmosphären – natürliche Treibhauseffekte

Die Erde war einst viel wärmer als heute

Zwei Planeten in unserem Sonnensystem haben praktisch reine CO_2-Atmosphären. Es sind dies unsere direkten Nachbarn Venus und Mars. Ihre Gashüllen haben sich im Laufe der Zeit völlig anders entwickelt als unsere Atmosphäre. Dank der Lufthülle mit ihren Treibhausgasen ist es bei uns «angenehme» 15 °C warm. Auf Venus herrschen höllische Temperaturen, während Mars dank seiner dünnen Atmosphäre nicht gänzlich in Eiseskälte erstarrt.

Hans Joachim Schellnhuber

«Noch immer sind viele Details ungeklärt, wichtige Parameter nur grob bestimmt, ja, wesentliche Prozesse weitgehend unverstanden.»

Jeder kennt das gläserne Gewächshaus oder die Situation, wenn man im Sommer das Auto mit geschlossenen Fenstern an einem Sonnenplatz parkt. Die Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) wird durch die Oberflächen im Innenraum absorbiert. Diese erwärmen die Luft deutlich über das Niveau der Umgebungstemperatur. Durch das Glas kann kein Temperaturaustausch mehr stattfinden. Dieser Glashauseffekt wird in der Klimatologie gerne als Beispiel des atmosphärischen Treibhauseffekts herbeigezogen, wenngleich es hier einige Vorbehalte anzubringen gilt.

Eine Planetenatmosphäre funktioniert wesentlich komplexer, zumal sie einen fliessenden Übergang ins All bildet. Die Atmosphärenphysiker bedienen sich bei ihren Temperaturberechnungen dem *Stefan-Boltzmann*-Gesetz, das die Erde als «schwarzen Körper» sieht. Die Durchschnittstemperatur ist somit nichts anderes als die Energiebilanz aus der Solarkonstanten (1'367 W/m²) auf die Fläche des Erdquerschnitts (πR^2) und der Kugeloberfläche von $4\pi R^2$, welche in einem Verhältnis 1:4 zueinander stehen. Berücksichtigt wird dabei die Albedo, also das Rückstrahlvermögen, welches im Falle der Erde bei 30 % liegt.

Daraus ergibt sich folgendes Resultat: Hätte die Erde keine Atmosphäre, wäre sie –18 °C kalt. Die Gashülle mit ihren Treibhausgasen «wärmt» sie aber um rund 33 °C auf, so dass wir «angenehme» +15 °C Durchschnittstemperatur haben. In anderen Quellen liest man von +14 °C. Dies ist der Referenzwert über drei Jahrzehnte der Jahre 1960 – 1990.

MACHEN AUSSCHLIESSLICH TREIBHAUSGASE WIE DAS CO_2 DIE ATMOSPHÄREN WÄRMER?

Betrachten wir zuerst einmal die Planeten Mars und Venus etwas näher. Ihre Atmosphären bestehen praktisch ausschliesslich aus Kohlendioxid. Alle anderen Gase kommen in nur geringen Prozentanteilen vor oder sind gar nur Spurengase (siehe Abbildung 1). Ausschlaggebend, wie wärmend eine Atmosphäre wirkt, ist ihre Dichte und Mächtigkeit sowie der Anteil an Treibhausgasen und die Solarkonstante. Mars wird als dereinst mögliches Ziel menschlicher Zivilisation gerne als den «Bruder der Erde» bezeichnet. In der Tat ist er ein kalter Wüstenplanet. Seine dünne CO_2-Atmosphäre, die auf Nullniveau gerademal 6.36 hPa (0.0064 Bar) oder 0.64 % des mittleren Luftdrucks auf der Erde mit 1013 hPa (1.013 Bar) erreicht, «wärmt» den Planeten um nur etwa 7 °C auf. Dies ist insofern interessant, da wir hier den klima-

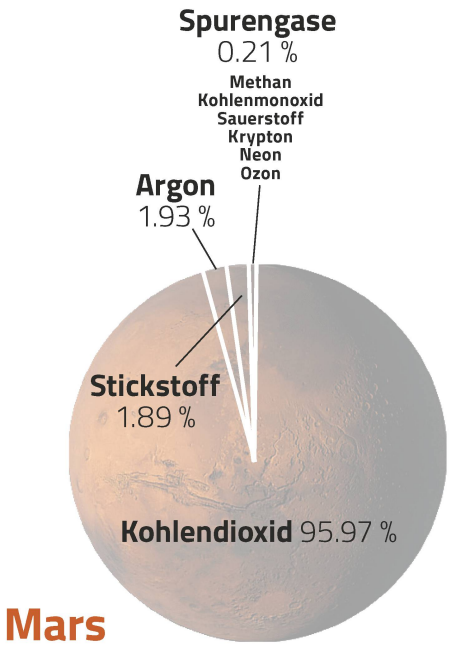


Abbildung 1: Die chemische Zusammensetzung der Atmosphären von Mars, Erde und Venus.

Grafik: Thomas Baer, ORIONmedien

tischen CO_2-Effekt einer fast reinen und kaum von Wasserdampf durchsetzten CO_2-Atmosphäre studieren können. Zur Erinnerung: Der atmosphärische CO_2-Gehalt der Erdatmosphäre beträgt aktuell (Stand Mai 2019) 0.04 % oder 415.26 parts per million (ppm). Die Sonneneinstrahlungsenergie auf Mars (Solarkonstante) ist mit 589 W/m² mehr als die Hälfte schwächer.

Ganz anders sieht die Situation bei Venus aus. Ihre zu 96.5 % aus CO_2 bestehende Atmosphäre ist fast 90 Mal massereicher als die Erdatmosphäre und übt einen Bodendruck von 92 bar aus. Ihre Dichte erreicht dabei das 50-fache unserer Atmosphäre. Die Solarkonstante auf Venus ist mit 2'615 W/m² fast doppelt so hoch. Wasser kommt in der Venusatmosphäre in nur verschwindendem Masse vor (20 ppm).

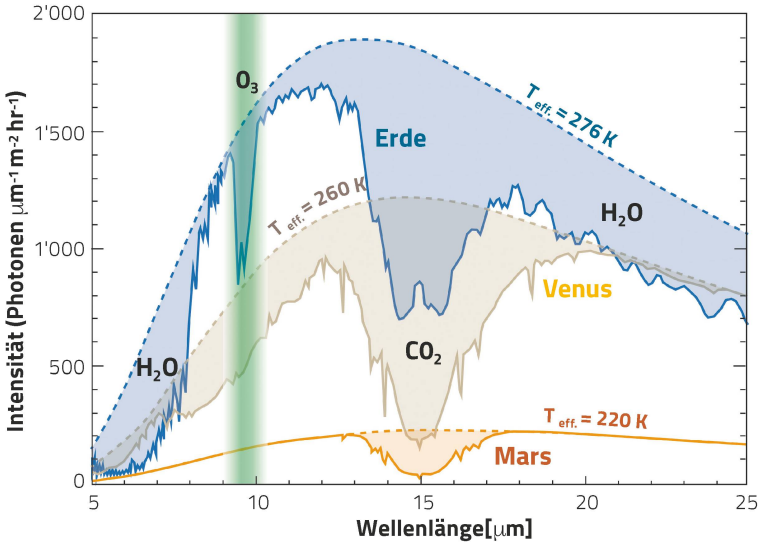


Abbildung 2: Die obige Darstellung zeigt den Treibhauseffekte der Planeten Erde, Venus und Mars. Wir sehen die Wärmeabstrahlung der Planeten ins Weltall, wie man sie mit Spektrometern aus von Satelliten messen kann, hier im Wellenlängenbereich von 5 bis 25 Mikrometern. Die Höhe der Messspektren zeigt die Intensität der Wärmeabstrahlung. Je höher, desto mehr Energie und Wärme wird ins All abgestrahlt. Die gestrichelten Kurven über den Messspektren stellen die Wärmeabstrahlung (Schwarzkörperstrahlung) dar, welche man ohne Treibhausgase hätte. Die transparenten Bereiche veranschaulichen, wo und in welcher Stärke die Treibhausgase die Wärmeabstrahlung behindern.

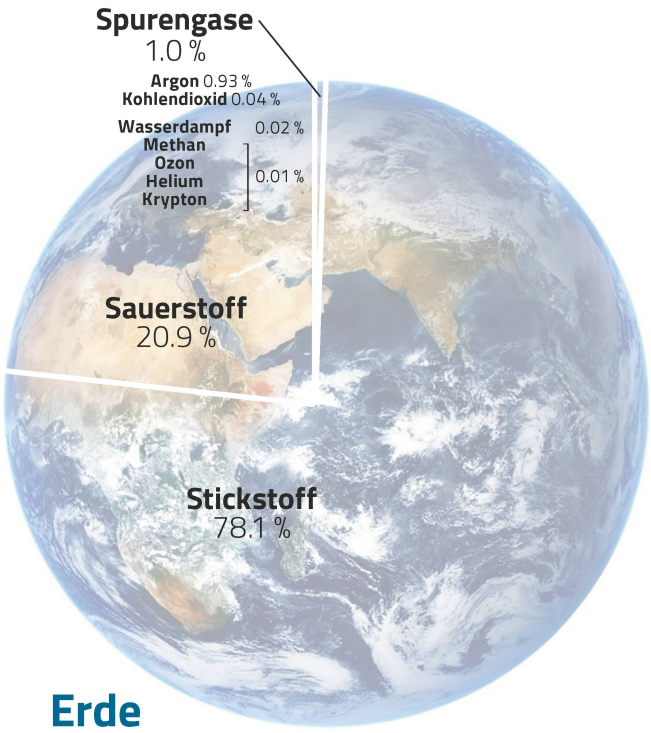
Grafik: Wikimedia Commons

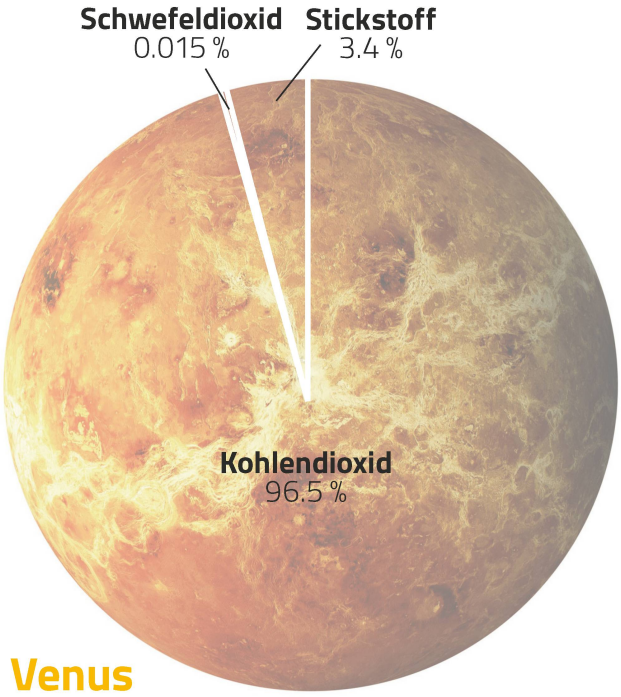
EIN INTERESSANTER VERGLEICH

Betrachten wir einmal die Wärmeabstrahlung der Planeten Erde, Venus und Mars ins Weltall im Wellenlängenbereich von 5 bis 25 µm, so fällt auf, dass die Erde am meisten Energie abstrahlt (Abbildung 2). Über den gesamten Spektralbereich betrachtet, liegt sie bei etwa 240 W/m², was der Strahlungstemperatur eines schwarzen Körpers von –18 °C entspricht.

Berechnen wir nun via das *Stefan-Boltzmann*-Gesetz für alle drei Planeten deren natürlichen Treibhauseffekt, so bekommen wir für Venus 510 °C, für die Erde die bereits erwähnten 33 °C und für Mars 7 °C. In der Erdatmosphäre sind es vor allem die Treibhausgase Wasserdampf (H_2O), CO_2 und Ozon (O_3), welche die thermische Abstrahlung behindern, bei Venus hauptsächlich das CO_2 und Schwefeldioxid (SO_2). Der CO_2-Absorptionstrichter bei 15 Mikrometer Wellenlänge ist bei Venus besonders breit und tief, was zeigt,

Ulrich H. Rose
«Jedweder Glaube hat nur solange Bestand, bis er durch Wissen ersetzt wird.»





dass kaum Wärmestrahlung zurück ins All gelangt, die Wärme also in der Venusatmosphäre zurückgehalten wird. Bei Mars ist es ausschliesslich das CO_2, das den natürlichen Treibhauseffekt erklärt, der, wie gesehen, eher klein ist.

WIE GROSS IST DER ANTHROPOGENE EINFLUSS WIRKLICH?

Wie effektiv ein Treibhausgas wirkt, hängt von seiner molekularen Struktur ab. Methan (CH_4) etwa hat eine bis zu hundertfach stärkere Wirkung als CO_2, und selbst Wasserdampf (H_2O) ist weit effektiver. Er trägt überdies bis zu 60 % zum natürlichen Treibhauseffekt bei. Die Ozeane, die Lithosphäre, die Biosphäre (Fauna und Flora) und die Pedosphäre sind natürliche Kohlendioxidspeicher, auch Kohlendioxidsenken genannt. Sie können CO_2 aufnehmen, aber auch wieder abgeben; wir haben einen natürlichen CO_2-Kreislauf, ein geschlossenes System. Durch chemische Verwitterung, aber auch vulkanische Tätigkeit wird CO_2 an die Atmosphäre abgegeben. Die grösste Wirkung haben allerdings die Ozeane, welche CO_2 in grossen Zyklen rund alle 100'000 Jahre (Eiszeitzyklen) speichern und wieder freisetzen. Seit etwa 800'000 Jahren pendelte die CO_2-Konzentration in der Erdatmosphäre zwischen 190 und 300 ppm hin und her. Aktuell messen wir knapp über 400 ppm, ein Wert, den wir so seit mindestens 5 Millionen Jahren nie mehr hatten.

Der gesamte «natürliche» CO_2-Kreislauf setzt etwa 750 Gt CO_2 pro Jahr um. Gemessen an ihm (Aufnahme und Abgabe von CO_2 durch die Lebewesen, Vulkane, Böden und Meere), liegt der anthropogene CO_2-Eintrag im Bereich von etwa 5 %. Dieser hat bewirkt, dass innerhalb weniger Jahrzehnte die CO_2-Schwankungsbreite der letzten 800'000 Jahre von ca. 180 – 280 ppm um über 130 ppm auf aktuell 415 ppm überschritten worden ist; eine Steigerung von mehr als 50 %!

DIE ERDE WAR EINST VIEL WÄRMER

Erdgeschichtlich betrachtet, machte der Kohlendioxidgehalt unserer Atmosphäre eine regelrechte Achterbahnfahrt. Die Uratmosphäre enthielt anfänglich noch überhaupt keinen Sauerstoff, dafür rund 80 % Wasserdampf, etwa 10 % CO_2, 5 bis 7 % Schwefelwasserstoff sowie geringe Spuren von Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenstoffmonoxid, Helium, Methan und Ammoniak.

Interessant ist die Beobachtung, wie sich die rekonstruierten historischen CO_2-Werte zu den Temperaturen verhielten oder umgekehrt. Starten wir unsere Zeitreise im Cambrium vor rund 550 Mio. Jahren. Damals lag die CO_2-Konzentration zeitweilig bei 4'500 ppm [1] und sank im Karbon bis auf den doppelten Wert von heute. Die Temperatur lag zu jener Zeit gemäss Abbildung 3 jedoch bis zu 3 °C (!) unter dem aktuellen Referenzwert, ähnlich also wie zur Kleinen Eiszeit in Europa! Im Trias- und Jurazeitalter (Hochblüte der Dinosaurier) bis zum Ende des Kreidezeitalters gehen die Wissenschaftler von einem CO_2-Gehalt zwischen 1'700 und 2'000 ppm aus. Die Temperaturen stiegen je nach Quelle bis knapp 11 °C über den Normwert. Im anschliessenden frühen und mittleren Paläozän lag die CO_2-Konzentration überwiegend im Bereich von 300 bis 400 ppm (ähnlich wie heute), die

IPPC-Bericht von 2001, Seite 774

«Wir haben es mit einem gekoppelten, nicht-linearen System zu tun, deswegen ist die langfristige Vorhersage zukünftiger Klimazustände unmöglich.»

Thomas Stocker

«In keinem dieser Berichte (IPCC) steht, das 2-Grad werde (der Politik) empfohlen.» Zitat aus einem Vortrag, 2013

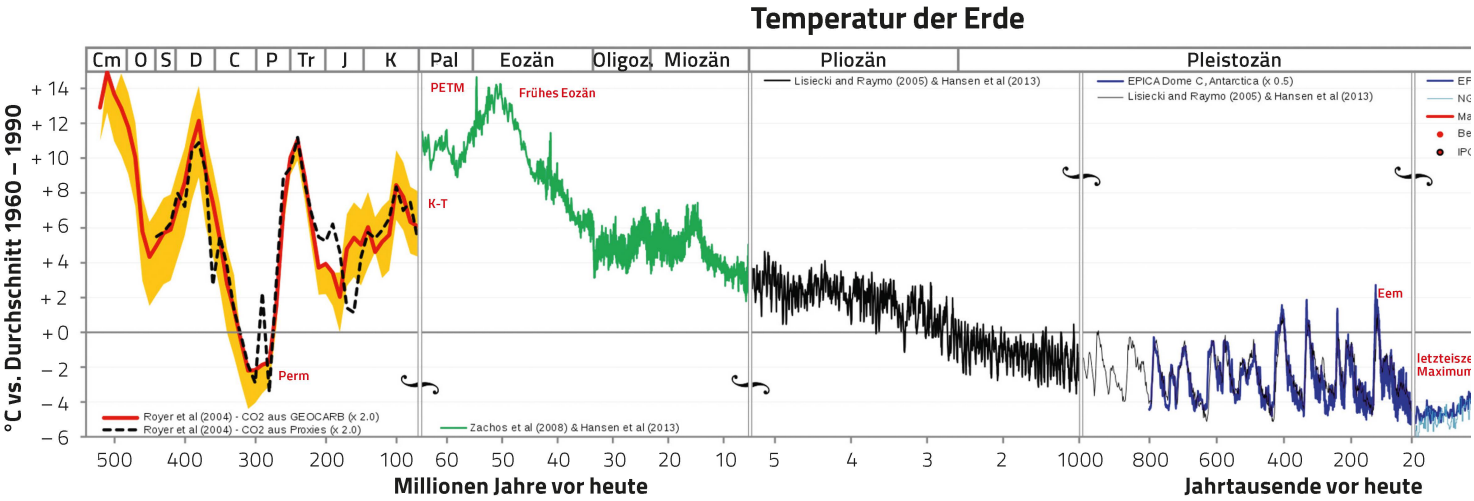


Abbildung 3: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur im Verlauf der Erdgeschichte. Ganz rechts sind die gegen Ende des 21. Jahrhunderts bei weitgehend ungebremsten Emissionen zu erwartenden Temperaturen aufgetragen. – Der Graph veranschaulicht, wie stark die globale Temperatur im Verlauf der Erdgeschichte schwankte, während sie zugleich in den letzten 2.5 Millionen Jahren fast durchweg niedriger lag als heute.

Grafik: Wikimedia Commons

Temperaturen allerdings bewegten sich zwischen 8.5 °C und 12 °C über dem heutigen Referenzwert (Abbildung 3). Dies ist insofern bemerkenswert, da wir aktuell längst nie so hohe Globaltemperaturen haben bei identischem CO_2-Anteil! Über das gesamte Paläogen betrachtet, lag die Globaltemperatur rund 4 °C über der heutigen Norm bei etwa 500 ppm atmosphärischem CO_2-Anteil [2].

Vor 50 Millionen Jahren, zu Beginn des Eozän, betrug die CO_2-Menge noch über 1'500 ppm und die Temperaturen lagen bis zu 14 °C über dem heutigen Durchschnitts-Referenzwert (Abbildung 3). Ab etwa 35 Millionen Jahren vor heute pendelte sich der atmosphärische CO_2-Wert bei rund 500 ppm ein, sank erst vor rund 5 Millionen Jahren erstmals unter die 400 ppm-Marke und bewegte sich sowohl während des gesamten Pleistozän als auch des Holozän zwischen 260 und 380 ppm. Namentlich das Pleistozän war von einem stetigen Wechsel von grossen Kalt- und Warmzeiten geprägt, wobei die Temperaturen zeitweilig bis zu 8 °C fielen, in den Warmphasen 4 bis 5 °C über den heutigen Normwert anstiegen, wiederum bei einer geringen Schwankungsbreite der CO_2-Konzentration. Hier scheinen jedoch astronomische Faktoren, etwa ändernde Bahnparameter (*Milanković*-Zyklen) den CO_2-Effekt überwogen zu haben. Was die derzeitige Zunahme des CO_2 um über 50 % in kurzer Zeit verursacht, werden wir erst in einigen Jahrzehnten wissen.

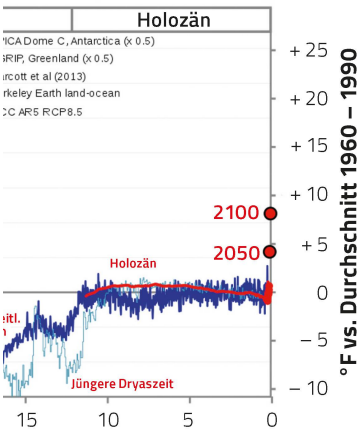
DIE ATMOSPHÄREN VON MARS UND VENUS

Mars ist im wörtlichen Sinne ein staubtrockener Planet. Das war nicht immer so: Heute sind sich die Planetenforscher sicher, dass es in der Frühzeit auf dem Roten Planeten fliessendes Wasser und riesige Ozeane gegeben haben muss. Man geht auch davon aus, dass Mars einst von einer viel dichteren CO_2-Atmosphäre umgeben war, die er allerdings aufgrund seiner geringeren Schwerkraft nicht halten konnte. Der damals deutlich grössere Treibhauseffekt vermochte das im Boden gefrorene Wassereis auftauen [3]. Auch die grossen, noch aktiven Tharsis-Vulkane trugen CO_2 in die Uratmosphäre des Planeten ein. In seiner wärmsten Phase nahm die CO_2-Atmosphäre verdunstetes Oberflächenwasser auf, das kondensierte und als Niederschlag (Regen oder Schnee) wieder ausfiel. Mit dem «Verlust» seiner Atmosphäre kühlte Mars stark ab, und mit dem Versiegen des Vulkanismus gab es keine zusätzliche CO_2-Quelle mehr.

Venus wird indessen von einer bis zu 90 km mächtigen Wolkenhülle umgeben, die uns jegliche Blicke auf ihre Oberfläche verwehrt. In den untersten knapp 30 km konzentrieren sich 90 % der Atmosphärenmasse. Der Supertreibhauseffekt, den wir auf Venus haben, ist ausschliesslich auf den hohen CO_2-Gehalt zurückzuführen. Gespeist wird die Atmosphäre womöglich durch aktiven Vulkanismus, wie man ihn mit der Raumsonde Venus Express 2015 nachweisen konnte. NASA-Forscher vermuten, dass Venus bis vor 715 Millionen Jahren durchaus lebensfreundlich gewesen sein könnte. Sie haben wie bei Mars Anzeichen gefunden, die auf riesige Ozeane schliessen lassen. In ihrer Rekonstruktion gingen sie davon aus, dass Venus schon früher viel langsamer um ihre Achse rotiert haben muss. Nur so konnte das Ozeanwasser während des zwei Monate dauernden Tages verdunsten, und es bildete sich eine mächtige Wolkenhülle. Erst viel später wurde es auf Venus richtig heiss, so dass das Wasser gänzlich verdampfte, CO_2 aus dem Gestein ausgasen konnte und den Treibhauseffekt zusätzlich antrieb.

SAUERSTOFF DANK PHOTOSYNTHESE

Der entscheidenende Effekt, den die Erdatmosphäre von den beiden anderen unterscheidet, ist die oxygene Photosynthese durch die aufkommende Flora. Sie ist für die Bildung von Sauerstoff und auch für die Abkühlung der Atmosphäre verantwortlich. Wie der Stickstoff in unsere Atmosphäre kam; darüber wird auch weiterhin gerätselt. Es könnte gut sein, dass dieses farb- und geruchlose Gas durch Meteoriten auf die Erde kam. Jedenfalls haben Mineralogen der *Friedrich-Schiller*-Universität Jena mögliche Hinweise gefunden [4]. <



Hans von Storch

«Der Begriff ‹Klimarealist› ist nicht definiert, aber vielleicht ist damit gemeint, dass ich in der Regel sage, wenn irgendein Phänomen da ist; lass uns das erstmal angucken. Ist das wirklich deutlich häufiger als früher, ist das wirklich unnormal oder ist es eben einfach eines dieser Ereignisse, die charakteristisch sind für unser Wetter? Und unser Wetter ist eben etwas, was verrückt spielt. Wenn es nicht mehr verrückt spielen würde, dann hätten wir wirklich Grund zur Sorge. Aber wenn es verrückt spielt, dann tut es nur das, was es schon seit ewigen Zeiten tut.»

Werner Kirstein

«Das globale Klima ist ein virtuelles Datenmodell, das man auch deswegen, da es ein Datenmodell ist, nicht schützen kann. Für eine Aussage zum Klima braucht man einen Untersuchungsraum und einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren. Klimaschutz ist ein infantiler Aberglaube und widerspricht der Physik.»

QUELLEN:

[1] https://de.wikipedia.org/wiki/Kambrium
[2] https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Phanerozoic_Carbon_Dioxide.png
[3] *Jeffrey S. Kargel* und *Robert G. Strom* – Spektrum der Wissanschaft
[4] https://www4.uni-jena.de/Mitteilungen/Archiv/Archiv+1_2015/PM150119_Stickstoff.html

www.teleskop-express.de
Teleskop-Service – Kompetenz & TOP Preise

Der große Onlineshop für **Astronomie**, **Fotografie** und **Naturbeobachtung**
mit über **7000 Angeboten!**

Neue Astrographen von TS Optics!

TS-Optics 61EDPH - 61 mm f/4,5 Apo, 5-elementig mit Feldebnung

Dieser kompakte Astrograph mit 276 mm Brennweite ist von Teleskop-Service speziell für die Astrofotografie entwickelt worden. Durch sein geebnetes Bildfeld mit 44 mm Ø ist er auch für Vollformat-Kameras geeignet.
- 2,5” CNC Fokussierer, rotierbar
- Rohrschelle inkl. Prismenschiene und Tragegriff
- 5 Element System mit FPL53 Element

Einführungspreis TS61EDPH: 713,45 €*

TS-Optics 71SDQ - 71 mm f/6,3 Quadruplet Apo mit Feldebnung

Der neueste Refraktor aus der TS Quadruplet Reihe ist ein idealer Reiseapochromat für Astrofotografen und visuelle Beobachter.
- 2,5” CNC Fokussierer
- Kamera kann verschraubt werden
- 115 mm Arbeitsabstand

Einführungspreis TS71SDQ: 668,07 €*

TS-Optics 150 mm f/2,8 hyperbolischer Astrograph mit Korrektor und Carbontubus

Hyperbolischer Flat-Field Astrograph, speziell für Deep Sky Fotografie mit DSLR- und Astro-Kameras
- 2,5” CNC Fokussierer
- Verschraubte Kameraadaption
- 45 mm Bildkreisdurchmesser

Einführungspreis Hypergraph6: 1.847,90 €*

* alle Preise excl. UST

Teleskop-Service, Von-Myra-Straße 8, DE-85599 Parsdorf bei München
Telefon: +49 89-9922875-0 • info@teleskop-service.de