

Ein Video zur Schneeballerde, was es zeigt, was es nicht zeigt und was es an Stoff zum Nachdenken anbietet

2023-07-26 Frank Siebert



Ein paar bekratzte Zettel und eine Stimme, die etwas dazu erklärt. Dieses Video ist mehr als nur ein bisschen Wissenschaft, es ist ein Stück Kunst. Und meine kurze Notiz zu dem Video wurde immer länger und länger, bis es plötzlich ein Artikel war, und deutlich länger als das Video selbst. Dennoch, im Kern ist dies eine Video-Empfehlung.

Korrektur: 2023-07-28: Beim Abschätzen war mir in einer früheren Version des Artikels eine Zehnerstelle verrutscht, so dass ich herausbekam, dass die Biomasse der Erde die eingestrahlte Sonnenenergie von 57.000 Jahren speichert. Auch wenn es sich nur um eine Schätzung handelte, will ich sie dennoch korrigieren. Nach der Korrektur sind es "nur noch" 5.700 Jahre gespeicherte Sonnenenergieeinstrahlung. Auch nach Korrektur bleibt es eine Schätzung beruhend auf Zahlenangaben, für die ich gerne bessere Quellen gehabt hätte. Hinweise sind sehr willkommen.

Das Video "How to Make A Snowball Earth" ¹ von Christopher Scotese zeigt nicht wirklich, wie es zu einer Schneeballerde kommt. Aber es zeigt sehr schön, ohne dass Scotese dies sagt, dass wir bei einer Durchschnittstemperatur von 18° noch immer permanentes Eis an Nord- und Südpol haben würden. In seinen Videos zur zukünftigen Plattentektonik ist auch zu sehen, dass wir wohl erst in 75 Millionen Jahren damit rechnen dürfen, das Eis am Südpol komplett zu verlieren, wenn sich Antarktika vom Pol entfernt hat, und einige Zeit später dann am Nordpol, wenn Grönland den Nordpol wieder verlässt, in den es zuvor hinein gewandert ist ². Aber um die Videos dieser Studie geht es hier Heute nicht, Heute geht es um die Schneeballerde.

18°C, das sind 3°C mehr als der heutige Durchschnitt. Niemand geht zur Zeit ernsthaft davon aus, dass wir genug CO₂ oder Methan freisetzen könnten, um damit 3°C Erwärmung zu erreichen. Eisfreie Pole gäbe es deswegen dennoch nicht.

Interessant ist auch der Hinweis, dass sich während der Schneeballerde gefrorenes CO₂ an den Polen absetzt, weil die Temperaturen dort unter -78°C sinken. Ich frage mich, ob es vorher flüssig wird? Ich meine, vereinzelt werden ja auch Heute bis zu -70°C erreicht, so habe ich mir jedenfalls aus irgend einer Quelle gemerkt. Ein Blick auf die Seite Windy ³ zeigt Temperaturen von -76°C (197,15 K) bis +44°C (317,15 K) auf der Erde.

Laut dem Phasendiagramm des Kohlendioxid wird dieses bei einem bar Druck nicht flüssig, sondern wird übergangslos fest ^{4 5}. Das Entfernen des Kohlendioxid würde allerdings auch dessen Partialdruck aus der Atmosphäre entfernen, und so die Temperatur weiter absenken und weiteres Gefrieren von CO₂ befördern. Obwohl, bei geringerem Druck gefriert CO₂ erst bei niedrigerer Temperatur. Naja, bei der geringen Menge von CO₂, welche in der Luft vorhanden ist, wird die Luftdruckänderung kaum zu merken sein. Eher zu bemerken sein sollte das Verschwinden von H₂O aus der Luft, das früher beginnt und einen wesentlich höheren Partialdruck an der Atmosphäre hat. Die eiskalte Luft war also vermutlich knochentrocken und könnte einen erheblich niedrigeren Luftdruck gehabt haben, so dass es vielleicht doch nicht zum Gefrieren des CO₂ gereicht hat.

Wenn ich den Angaben in der Springer Veröffentlichung ⁶ glauben schenken darf, dann würde sich das Fehlen von Wasser in der Atmosphäre in nur etwa 0,02 bar Druckunterschied niederschlagen. Laut Wikipedia soll der Wasseranteil an der Luft aber auch bis zu 4% erreichen können ⁷, was nach vorsichtiger Schätzung bis zu 0,04 bar Druckunterschied bedeuten könnte. Aber auch das reicht nicht aus, um den Gefrierpunkt des CO₂ wesentlich zu verschieben ⁸.

Trotzdem sollte der Luftdruck meiner Meinung nach fallen, wenn es so viel kälter wird. Windy zeigt einen Atmosphärendruck zwischen 1.036 hPa und 945 hPa, die Minima und Maxima des Drucks liegen aber nicht an den gleichen Orten wie die Minima und Maxima der Temperatur. Das wäre ja aber auch zu einfach gewesen. Die Minima sind natürlich in Tiefdrucksystemen über dem Meer zu finden. Jedenfalls sind auf der Erde offenbar zu einem beliebigen

Zeitpunkt Druckunterschiede von 91 hPa (~9%), und Temperaturunterschiede von 120 K (~38%) vorhanden. Und bei 2 K weniger schneit es Kohlendioxid an dem Pol, der gerade verdunkelt ist. Scotese geht davon aus, dass dies zu erhöhter Abstrahlung von Wärme führt, da das Treibhausgas dann keine Wärme mehr zurück halten kann. Da Messungen aber zeigen, dass während der Polarnacht im Frequenzbereich des CO₂ mehr Wärme über dem Pol abgestrahlt wird, als entsprechend der Bodentemperatur erwartbar wäre, ist klar, dass unter diesen Bedingungen CO₂ die Wärmeabstrahlung ins All nicht senkt, sondern erhöht.

Aus meiner Sicht bedeutet dies, dass durch das Ausfällen von Kohlendioxid aus der Atmosphäre am nächtlichen Pol der Energieverlust ins All dort reduziert wird, was einer weiteren Abkühlung zunächst entgegenwirkt. Aber ich muss ja nicht in allen Punkten der gleichen Meinung wie Scotese sein.

Doch wie stark sinkt der Luftdruck mit einer Abkühlung zu einer Schneeballerde?

Die Studie "Atmospheric Pressure and Snowball Earth Deglaciation" ⁹ berichtet von einer vorgenommenen Modellierung der Autoren, um ein Szenario zu testen, in dem eine Schneeballerde vielleicht wieder auftauen könnte.

In ihrem Szenario sammelt sich CO₂ in der Luft an und der Luftdruck erhöht sich und auch Wolken helfen entscheidend mit, die Erde wieder aufzutauen. Den Autoren sind keine Proxy-Werte zum Luftdruck während des Cryogenium bekannt, auch die Zusammensetzung der Atmosphäre ist nicht wirklich bekannt. Die große Oxidation, welcher wir den hohen Sauerstoffanteil verdanken, soll während dem Cryogenium eine Pause eingelegt haben, aber bei welchem Sauerstoffanteil ist nicht sicher.

Die Messungen zu durch CO₂ erhöhte Wärmeabstrahlung über sehr kaltem Eis werden in der Arbeit nicht erwähnt, vielleicht sind sie den Autoren nicht bekannt. Es ist für mich auch schwer nachvollziehbar, wie es bei der extremen Kälte eine erwähnenswerte Wolkenbildung gegeben haben soll.

Wie auch immer, es scheint keine halbwegs gesicherten Erkenntnisse zum Luftdruck während der großen Vereisung vor 720 bis 635 Millionen Jahren zu geben.

Meiner Meinung nach muss der Luftdruck jedenfalls während dieser kalten Phase der Erde niedriger als Heute gewesen sein. Das ist aber nur eine Meinung, ich würde es gerne genauer wissen, entweder durch eine gut nachvollziehbare physikalische Berechnung oder durch verlässliche Proxy-Werte.

Ein niedrigerer Luftdruck macht das Auftauen der Schneeballerde nicht leichter, aber da sehe ich sowieso nur die Chance, dass der Schnee Dank Vulkanismus und fehlendem Schneefall irgendwann dunkel wird und die Sonne den Rest erledigt. Ich bin der Meinung, CO₂ kann eine Schneeballerde keinesfalls erwärmen, da dieses die Energie wärmerer Luft sehr effektiv ins All abstrahlt, wenn sich diese über sehr kaltes Eis schiebt. Dazu haben wir Messungen des Strahlungsspektrums und daher halte ich diese Meinung für gestützt durch Messungen.

Ich sehe nur einen Weg aus einem Schneeballerde-Szenario. Im Grunde braucht es einen weltweiten Ascheregen, der den Schnee und das Eis sehr schnell abdunkelt und das Eis von der Atmosphäre isoliert, damit die Erwärmung schneller stattfindet, als neu fallender Schnee die Albedo wieder auf Vereisung stellen kann. Die Datenlage zu massivem Vulkanismus am Ende des Cryogenium ist allerdings nicht gut, auch wenn eine neuere Studie aus dem Jahr 2022 glaubt, Hinweise darauf gefunden zu haben ¹⁰.

Scotese geht davon aus, dass es nach den drei großen Vereisungen keine weitere große Vereisung gegeben hat, läge an der Entwicklung komplexen tierischen Lebens. Er verwendet für das tierische Leben den Begriff Metazoan, den ich vorher gar nicht kannte. Eine Erklärung bietet er für diese Vermutung nicht an, aber bei einer Vermutung ist das auch nicht unbedingt erforderlich.

Müsste ich diese Vermutung begründen, würde ich auf erhöhte Wachstumsraten sowohl der Pflanzen und auch der Tierwelt hinweisen, die in Zeiten der Erwärmung zu beobachten sind, welche Energie zwischenspeichern. Wird es kälter, dann sinken diese Wachstumsraten, können sogar negativ werden und würden so zwangsweise die Energie wieder freisetzen und der Abkühlung entgegen wirken. Aber wäre dieser Effekt auch nur annähernd in der notwendigen Größenordnung? Ich habe da leichte Zweifel.

Ein Artikel von National Geographic ¹¹ gibt die gesamte Biomasse der Erde mit ungefähr 1,1 Billionen Tonnen an, also $1,1 \cdot 10^{18}$ g. Ob das stimmt, das weiß wohl niemand, aber es steht in dem Artikel wenig vorsichtig so formuliert, als sei dies eine feststehende Tatsache. Es wird auch die unvorsichtige Aussage gemacht, dass sich diese Masse in den letzten Jahren kaum geändert habe, obwohl Studien zum Blattflächenindex basierend auf Satellitendaten ein Anwachsen der Biomasse nahelegen.

Aber da ich keine bessere Quelle auf die Schnelle finde, nehme ich den Wert von National Geographic unter Vorbehalt und schätze basierend auf den Angaben einer anderen Webseite ¹² den Energiegehalt auf 5 Wh/g. Die Biomasse der Erde würde demnach etwa $5,5 \cdot 10^{18}$ Wh speichern. Zum Vergleich nehmen wir die Sonneneinstrahlung mit 1367 W/m^2 mal die Kreisfläche der Erde $\pi(12.730.000/2)^2 \text{ m}^2$ mal 1h Einscheindauer, und erhalten $27,33 \cdot 10^9$ Wh, in zwei Stunden sind das $5,466 \cdot 10^{10}$ Wh. Demnach speichert die Biomasse der Erde die Energie von etwa $0,5 \cdot 10^8$ Stunden Sonneneinstrahlung, oder $50 \cdot 10^6$ Stunden, oder auch die auf die Erde eingestrahlte Sonnenenergie von etwa 5.700 Jahren.

Diese Schätzung stützt die Vermutung von Scotese, dass das Leben, wenn auch nicht unbedingt nur das tierische, eine komplette Vereisung der Erde irgendwie verhindern kann. Es ist natürlich eine Schätzung auf der Basis von Zahlen, die ich als nicht sehr gut gesichert betrachte. Der Biomasse steht laut dieser Schätzung die Sonnenenergie von 5.700 Jahren zur Verfügung, um ein vollständiges Einfrieren der Erde zu verhindern. Ich bin darüber etwas überrascht und bleibe auch weiterhin vorsichtig, es ist schließlich nur eine Schätzung.

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass das Leben auf diesem Planeten ein stabilisierender Klimafaktor sein kann, der nicht unterschätzt werden darf. Da CO₂, wie die Satellitendaten ja zeigen, der Begrünung der Erde sehr zuträglich ist, und so auch mehr tierisches Leben ernährt werden kann, können wir über das Freisetzen von CO₂ die Biomasse der Erde systematisch erhöhen, um die klimastabilisierende Wirkung des Lebens auf der Erde zu maximieren. Der gemessene starke Anstieg des Blattflächenindex ist ein negatives Feedback auf die stattgefundene Erwärmung, welches wohl noch in keinem einzigen Klimamodell berücksichtigt wird. Dies wirft völlig neue Fragestellungen auf, die furchtbar spannend sind, aber hier jetzt nicht herein passen.

Andere Forscher berichten von Eisberg-Spuren am Meeresgrund in der Nähe Grönlands aus der Zeit, in der eine Schneeballerde vermutet wird, und vertreten den Standpunkt, dies spreche gegen eine vollständige Vereisung.

Dennoch, bei allem hin und her, die Erläuterungen von Scotese zur Schneeballerde zeigen, natürlich stark vereinfacht und nur die Durchschnittstemperaturen betrachtend, den Temperaturgradienten zwischen Äquator und den Polen, und wie sich Änderungen der Durchschnittstemperatur auf dem Weg in eine Schneeballerde auf den Verlauf dieses Temperaturgradienten auswirken. Die Höhe der Temperaturänderung steigt mit der Entfernung vom Äquator. Das ist sehr schön und anschaulich in dem Video erläutert und das ist ein wichtiges Detail zu dem Themenkomplex des irdischen Klimas.

Ergänzend ist es aber auch wichtig, um diese Darstellung richtig einordnen zu können, dass die modernen Höchst- und Tiefsttemperaturen nicht in dem geringen Umfang variieren, wie es die verwendeten Durchschnittswerte zeigen. In dem Video wird für die moderne Zeit ein Temperaturbereich von 26 °C bis -34 °C gezeigt, also nur ein Bereich von 60 °C, während Messungen Heute (26. Juli 2023) laut Windy einen Temperaturbereich zeigen, der doppelt so breit, nämlich 120 °C, ist.

Wir dürfen diese hohe Varianz nicht vergessen, wenn wir auf Durchschnittswerte schauen, denn der Temperaturbereich sagt mehr über das Klima des Planeten aus, als die Durchschnittstemperatur.

Ein galaktischer Reiseführer würde potentielle außerirdische Besucher unter der Überschrift Klima jedenfalls davon informieren, dass auf der Erde je nach Aufenthaltsort mit Temperaturen zwischen -76°C und +44°C zu rechnen ist, und dass Kleidung für diesen Temperaturbereich eingepackt werden muss, da passende Kleidung für nicht irdische Besucher vor Ort nicht eingekauft werden kann.

Und während einige Stellen der Erde 2°C davon entfernt sind, Kohlendioxid zu gefrieren, wird uns Angst davor eingetrichtert, es könne vielleicht im Durchschnitt 1,5 Grad wärmer werden. Scotese zeigt, am Äquator wird es 1°C wärmer, wenn es im Durchschnitt 3°C wärmer wird. Die Eiskappen an den Polen bleiben erhalten, aber der Temperaturbereich schrumpft auf durchschnittlich 27°C am Äquator und durchschnittlich -20 °C an den Polen, einen durchschnittlichen Temperaturbereich von 47°C abdeckend, statt Heute 60°C.

Der kleinere Temperaturbereich reduziert Extremwetterereignisse, welche vor allem durch Temperaturdifferenzen angetrieben werden. Was auch immer die Nachrichten dazu sagen, die Physik lässt daran keinen Zweifel. In minimalen und maximalen Messwerten zu einem beliebigen Zeitpunkt ist weiterhin damit zu rechnen, dass eine höhere Temperaturdifferenz gefunden wird, als die Durchschnittswerte erwarten lassen. In linearer Annäherung sollten diese Messwerte ein Minimum von etwa -46°C und ein Maximum von etwa +48°C zeigen, einen Temperaturbereich von etwa 94°C abdeckend, statt den heutigen 120°C.

Das, um dies noch einmal klar zu machen, ist eine lineare Extrapolation von Heute auf eine 3°C höhere Durchschnittstemperatur basierend auf den von Scotese gezeigten Temperaturgradienten und basierend auf heutigen Minimum und Maximum Werten. Es ist nicht ausgeschlossen, dass zum Beispiel Morgen auf irgendeinem Flughafen über dem Asphalt höhere Temperaturen gemessen werden, obwohl dort gar nicht gemessen werden sollte.

Wir könnten also durchaus mit 3°C durchschnittlicher Erwärmung umgehen, ohne dass dies eine Katastrophe wäre, zumindest ist diese meine Meinung. Und noch weniger Angst kann ich daher vor den fürchterlichen 1,5°C haben, vor denen das IPCC uns angstvoll zittern sehen möchte (Min -61°C bis Max +46°C (linear approximiert)).

Am ehesten hätte ich Angst vor den vorindustriellen Temperaturen der kleinen Eiszeit, mit deren Missernten und Hungersnöten, welche Heute zum Maßstab des angeblich CO₂ getriebenen Klimawandels gemacht werden. Aber Dank moderner Technik und hinreichender Energiereserven sollten wir Heute in der Lage sein, auch in einer erneuten kleinen Eiszeit Hunger zu vermeiden.

Die traurige Wahrheit ist natürlich, dass sogar jetzt, bei ertrag-förderndem CO₂ Gehalt und Dank temperaturbedingt ausgedehnter Vegetationsperiode, dennoch weiterhin Hunger auf der Erde existiert. Das ist ein Skandal, denn es ist Hunger im Überfluss.

Wie stark hat wohl die Verringerung von Biomasse während der kleinen Eiszeit die Abkühlung verringert? Wie stark war das Heizen mit Holz dafür mit verantwortlich? Der Brennwert des Holzes alleine ist nach dem neuen Ansatz ja nur ein kleiner Teil der Energie, die in diese Überlegung einfließt. Das Wurzelwerk, die Pilze, die Armeen und die Käfer, die Hirsche und die Eber, die indirekt mit der Axt zum Opfer fielen, müssen ja mit betrachtet werden, auch wenn deren Energie kaum vollständig freigesetzt wurde.

So viele Fragen und so wenige Antworten. Auch die Frage, ob das pflanzliche und tierische Leben eine erneute Schneeballerde verhindert hat, ist natürlich noch weiterhin offen. Ja sogar, wie wir gesehen haben, ob es die vollständige Vereisung überhaupt gegeben hat, ist nicht abschließend geklärt.

Es gibt noch so vieles, was wir nicht wissen. Besonders wenn es ums Klima geht.

Erkenntnisse haben meistens vorläufigen Charakter und sind immer individueller Natur . Sie selbst entscheiden, ob Sie Erkenntnisse anderer als Meinung übernehmen oder ob Sie sich Erkenntnisse selbst erarbeiten. Meine Quellenangaben sollen Ihnen bei letzterem eine Hilfestellung geben, Sie sollten aber immer auch weitere Quellen verwenden.

Glauben Sie nicht, auch nicht mir, sondern prüfen Sie und schlussfolgern Sie selbst.

Fußnoten

1. **How to Make A Snowball Earth** ; Christopher R. Scotese; YouTube; 2022-09-02 ↑
<https://www.youtube.com/watch?v=VaaSoEsrtkk>
2. Movie S10 in **Deconstructing Tectonics: Ten Animated Explorations** ; Christopher R. Scotese, Ben A. van der Pluijm; Earth and Space Science, volume 7; AGU Journals; DOI: <https://doi.org/10.1029/2019EA000989> ; **Video on YouTube** ; 2020-11-01 ↑
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019EA000989>
<https://doi.org/10.1029/2019EA000989>
<https://www.youtube.com/watch?v=HRVkB2daFjM>
3. **Windy as forecasted** ; SE Windy; Windy.com/ ↑
<https://www.windy.com/-Temperature-temp?temp,-47.398,40.254,3,m:ybaiHL>
4. **Phasendiagram Kohlenstoffdioxid** ; de.wikipedia.org ↑
[https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberkritisches_Kohlenstoffdioxid#/media/Datei:Colored_phase_diagram_of_carbon_dioxide_\(multi_language\).svg](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberkritisches_Kohlenstoffdioxid#/media/Datei:Colored_phase_diagram_of_carbon_dioxide_(multi_language).svg)
5. **diagram of water.svg - Wikipedia File:Phase** ; en.wikipedia.org ↑
https://en.wikipedia.org/w/index.php?lang=de&title=File%3APhase_diagram_of_water.svg
6. **Teildruck des Wasserdampfes in der Luft und Feuchtigkeitsgehalt der Luft** ; Adolf Hinz; SpringerLink; DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-99383-1_5 ; 1927-07-23 ↑
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-99383-1_5
https://doi.org/10.1007/978-3-642-99383-1_5
7. **Erdatmosphäre – Wikipedia** ; de.wikipedia.org ↑
<https://de.wikipedia.org/wiki/Erdatmosph%C3%A4re>
8. **carbon dioxide water phase diagrams.svg - Wikipedia File:Comparison** ; en.wikipedia.org ↑
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_carbon_dioxide_water_phase_diagrams.svg

9. **Atmospheric Pressure and Snowball Earth Deglaciation** ; Nicholas J. Edkins, Roger Davies; Journal of Geophysical Research: Atmospheres, volume 126; John Wiley & Sons, Ltd; DOI: <https://doi.org/10.1029/2021JD035423> ; 2021-12-27 ↑
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JD035423>
<https://doi.org/10.1029/2021JD035423>
10. **Massive Volcanism May Have Foreshortened the Marinoan Snowball Earth** ; Zhongwu Lan, Magdalena H. Huyskens, Guillaume Le Hir, Ross N. Mitchell, Qing-Zhu Yin, Gangyang Zhang, Xian-Hua Li; Geophysical Research Letters, volume 49; John Wiley & Sons, Ltd; DOI: <https://doi.org/10.1029/2021GL097156> ; 2022-03-28 ↑
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021GL097156>
<https://doi.org/10.1029/2021GL097156>
11. **Menschengemachte Masse auf der Erde bald schwerer als Biomasse** ; @NatGeoDeutschland; National Geographic; 2020-12-10 ↑
<https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2020/12/menschengemachte-masse-auf-der-erde-bald-schwerer-als-biomasse>
12. **Brennstoff Biomasse** ; www.etapart.com ↑
<https://www.etapart.com/de/wissen/energietraeger/brennstoff-biomasse>