

Ist vielleicht etwas anderes als der Mensch die Ursache?



Behauptung: „Der CO₂-Anstieg ist nicht Ursache, sondern Folge des Klimawandels“

Behauptung: Ein in Science veröffentlichter Artikel hat deutlich gemacht, dass der Kohlendioxidanstieg in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) in Wirklichkeit nicht vor, sondern 200 bis 1000 Jahre nach der Erderwärmung stattfand. Wenn der Kohlendioxidanstieg erst nach der Erderwärmung erfolgte, kann er diese unmöglich verursacht haben.

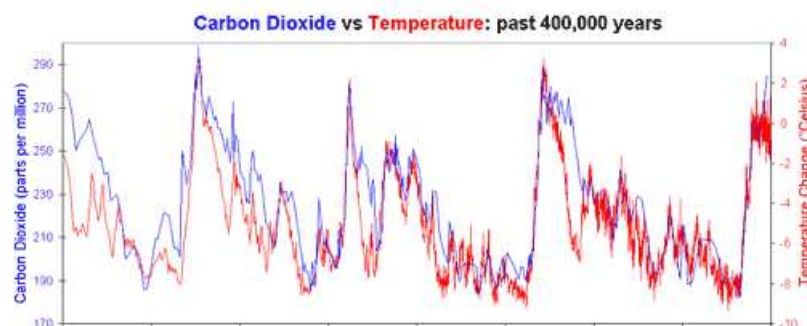


Fakt ist: CO₂ ist die Hauptursache des gegenwärtigen Klimawandels, auch wenn das bei anderen Klimawandeln in der Erdgeschichte anders gewesen sein mag

Antwort: Eiszeitalter sind durch einen Wechsel von Eis- und Warmzeiten geprägt. Wenn die Erde aus einer Eiszeit kommt, wird die Erwärmung tatsächlich nicht durch Kohlendioxid (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#kohlendioxid) verursacht, sondern durch Veränderungen der Erdumlaufbahn und der Erdachse. Infolge des Temperaturanstiegs geben dann die Meere CO₂ ab, das die Erwärmung verstärkt und über den gesamten Planeten verteilt. In Wahrheit stimmt also beides: Steigende Temperaturen führen zu einem CO₂-Anstieg in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre), und CO₂ führt zu einer Erwärmung.

In den letzten 500.000 Jahren erlebte die Erde lange Eiszeiten (Glaziale), die regelmäßig von kurzen Warmzeiten unterbrochen wurden, sogenannten Interglazialen. Veränderungen der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) stimmen ziemlich genau mit diesem Zyklus überein: Der CO₂-Gehalt nimmt um etwa 80 bis 100 Teilchen pro Million (ppm (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_p#ppm) = parts per million, also CO₂-Moleküle in einer Million Luftmolekülen) zu, während die arktischen Temperaturen um rund zehn Grad Celsius steigen (siehe *Abbildung 1*).

Bei genauer Betrachtung jedoch folgt der CO₂-Anstieg dem Temperaturanstieg um ungefähr 1000 Jahre. Obwohl dieses Phänomen schon vor mehr als zwanzig Jahren vorhergesagt wurde (Lorius 1990 (http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1990/1990_Lorius_etal.pdf)), führt es bei vielen Menschen noch immer zu Überraschung und Verwirrung. Ist nun der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) eine Folge der Erderwärmung, oder ist umgekehrt die Erderwärmung eine Folge des CO₂-Anstiegs? Die Antwort lautet: Beides ist richtig.



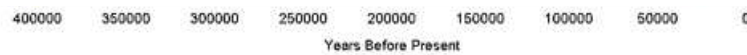


Abbildung 1: Daten zur CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre), die anhand eines Eisbohrkerns von der russischen Antarktis-Forschungsstation „Wostok“ gewonnen wurden (blaue Kurve) und zu Temperaturschwankungen über die vergangenen 400.000 Jahre (rote Kurve); Quellen: Petit 2000 (http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/vostok/jouz_tem.htm), Barnola 2003 (<http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/vostok.html>)

Warmzeiten treten ungefähr alle 100.000 Jahre auf. Man spricht in diesem Zusammenhang von den Milanković-Zyklen, die durch Veränderungen der Erdumlaufbahn und der Rotationsachse verursacht werden. Drei wichtige orbitale Veränderungen sind hierbei zu nennen: Die Form der Erdumlaufbahn um die Sonne (Exzentrizität) variiert zwischen elliptisch und kreisähnlich. Die Neigung der Erdachse (Obliquität) gegenüber der Erdbahnebene schwankt zwischen 22,5 Grad und 24,5 Grad. Drittens pendelt die Erdrotationsachse zwischen einer Ausrichtung auf den Polarstern und auf den Stern Wega (Präzession). -- Näheres dazu in unserem Glossar unter dem Stichwort Erdbahnparameter (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_e#erdbahnparameter).

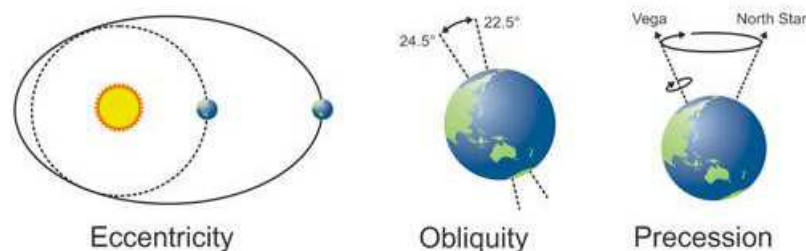


Abbildung 2: Die drei wichtigsten Veränderungsparameter der Erdumlaufbahn: Exzentrizität – Änderung der Form der Erdumlaufbahn, Obliquität – Änderung der Neigung der Erdrotationsachse, Präzession – Richtungsänderung der Erdachse

Die drei Effekte überlagern sich auf komplizierte Weise und führen zu langfristigen Veränderungen der Intensität, mit der die Sonne zu verschiedenen Jahreszeiten auf die Erde strahlt (in den nördlichen Breiten scheinen die Veränderungen besonders groß zu sein). Die Milanković-Zyklen führen also zu natürlichen Erderwärmungen – diese aber laufen in Zeitspannen von Jahrtausenden ab und damit viel langsamer als die Erderwärmung, die heute zu beobachten ist.

Für die Verzögerung des CO₂-Anstiegs bei diesen prähistorischen Klimawandeln hat die Wissenschaft überzeugende Erklärungen gefunden, sehr genau wurde beispielsweise eine Erwärmungsphase vor rund 19.000 Jahren untersucht, der letzte Übergang von einer Eiszeit zu einer Warmzeit (vgl. Shakun et al. 2012 (<http://www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/full/nature10915.html>)). Demnach lief damals folgende Kettenreaktion ab: Durch langsame orbitale Veränderungen erwärmte sich die Arktis. Große Mengen von Eis schmolzen. Das Schmelzwasser floss in die Ozeane der Nordhalbkugel. Dieser Wasserzufluss störte die Ozeanströmungen, mit denen großräumig Wärme zwischen der Nord- und der Südhalbkugel umverteilt wird. In der Folge, beginnend etwa vor 18.000 Jahren, erwärmten sich dann als erstes die Ozeane auf der Südhalbkugel.

Wenn sich Ozeangebiete erwärmen, verringert sich generell die CO₂-Löslichkeit des Wassers (Martin et al. 2005 (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003PA000914/full>)). In der Folge entweicht mehr Kohlendioxid (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#kohlendioxid) aus dem Ozean in die Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre). Der genaue Mechanismus, durch den die Tiefsee CO₂ abgibt, wird noch nicht ganz verstanden, doch man geht davon aus, dass er mit der vertikalen Vermischung des Wassers im Ozean zusammenhängt (Toggweiler 1999 (http://www.gfdl.gov/bibliography/related_files/jrt9901.pdf)). Dieser Vorgang dauert ungefähr 800 bis 1000 Jahre, so dass bei prähistorischen Klimawandeln erst ungefähr tausend Jahre nach der anfänglichen Erwärmung ein Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) zu beobachten war (Monnin 2001 (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/291/5501/112>)), Mudelsee 2001

(<http://www.manfredmudelsee.com/publ/pdf>

/The_phase_relations_among_atmospheric_CO₂_content_temperature_and_global_ice_volume_over_the_past.

Das Ausgasen von Kohlendioxid (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#kohlendioxid) aus dem Ozean hatte dann verschiedene Folgen:

Erstens verstärkte der erhöhte CO₂-Gehalt der

Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) die ursprüngliche Erwärmung. Der relativ schwache Erwärmungseffekt eines Milanković-Zyklus reicht nämlich nicht aus, um den extremen Temperaturwandel herbeizuführen, der erforderlich ist, um den Übergang von einer Eiszeit in eine Warmzeit zu bewirken (diese Periode wird Deglaziation genannt). Dagegen lässt sich durch den Verstärkungseffekt des CO₂ die tatsächlich aufgetretene Erwärmung erklären. (Diese Beobachtungen sind übrigens hilfreich, um die heute zu erwartenden Klimaänderungen infolge bestimmter CO₂-Freisetzungen – in der Fachsprache: die „Klimasensitivität“ – abschätzen zu können (die-anfaelligkeit-des-klimas-fuer-veraenderungen-wird-ueberschaetzt).)

Zweitens verteilte sich das Kohlendioxid (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#kohlendioxid) vom südlichen Ozean aus in der gesamten Erdatmosphäre, so dass sich mit zeitlicher Verzögerung auch nördlichere Gebiete erwärmten (Cuffey 2001 (<http://www.nature.com/nature/journal/v412/n6846/abs/412523a0.html>)). Tropische Meeressedimente deuten auf eine Erwärmung der Tropen ungefähr tausend Jahre nach der Erwärmung der Antarktis und somit ungefähr zur Zeit des CO₂-Anstiegs hin (Stott 2007 (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1143791>)). Auch Eiskerne aus Grönland zeigen, dass die Erwärmung im Norden erst nach dem CO₂-Anstieg in der Antarktis erfolgte (Caillon 2003 (<http://icebubbles.ucsd.edu/Publications/CaillonTermIII.pdf>)).

In *Abbildung 3* sind die Daten für den Übergang von der letzten Eiszeit zur Warmzeit quasi in Nahaufnahme zu sehen: Die Erwärmung der Antarktis (rote Kurve) ging in der Tat dem Anstieg der CO₂-Werte (gelbe Punkte) leicht voraus, doch die globale Erwärmung (blaue Kurve) folgte erst auf diese CO₂-Zunahme. Mehr als 90 Prozent der weltweiten Erwärmung ereignete sich jedenfalls *nach* dem CO₂-Anstieg (blaue Kurve).

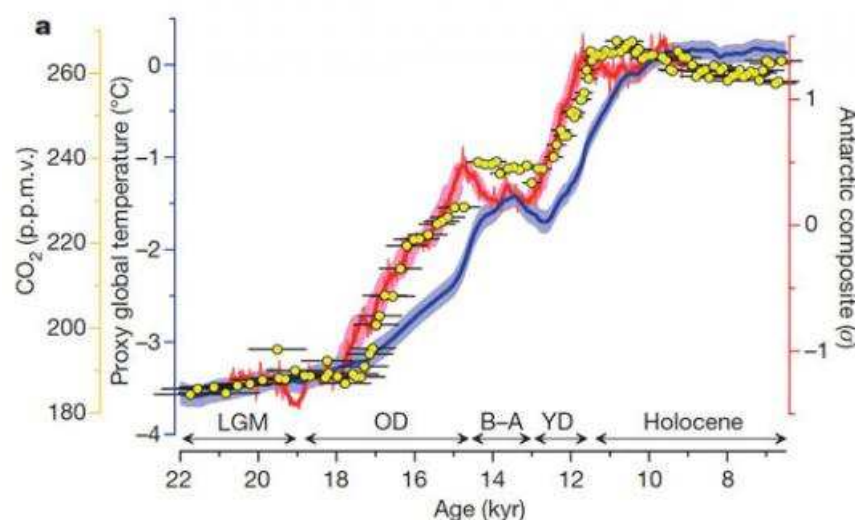


Abbildung 3: Die aus einer Vielzahl von Proxy-Daten ermittelte globale Durchschnittstemperatur (blau), dargestellt als Abweichung vom Mittelwert des frühen Holozän (vor rund 11.500 bis 6.500 Jahren); ein aus Eisbohrkern-Daten rekonstruierter Temperaturverlauf in der Antarktis (rot); Konzentration von Kohlendioxid (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#kohlendioxid) in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) (gelbe Punkte). An der horizontalen Achse sind prominente Zeitintervalle verzeichnet (LGM – Letztes Glaziales Maximum, OD – Älteste Dryaszeit, B-A – Bölling-Interstadial, YD – Jüngere Dryaszeit sowie Holozän); Quelle: Shakun et al. 2012 (<http://www.nature.com/nature/journal/v484/n7392/full/nature10915.html>)

Die Behauptung, die Verzögerung beim CO₂-Anstiegs während prähistorischer Klimawandel widerlege den Einfluss von CO₂ auf die Erderwärmung, zeugt also von einem mangelnden Verständnis der Prozesse, die von Milanković-Zyklen angetrieben werden. Eine Analyse der Forschungsergebnisse zu den vergangenen

Deglaziationsphasen ergibt jedenfalls:

- Die Deglaziation wird nicht durch CO₂, sondern durch Orbitalzyklen angestoßen.
- CO₂ verstärkt jedoch das Ausmaß der Erderwärmung, das nicht durch Orbitalzyklen allein erklärt werden kann und sorgt zudem für eine Verteilung der Erwärmung über den gesamten Globus.

Für den aktuellen Klimawandel lässt sich aus alldem Zweierlei lernen: Die gegenwärtige Erderwärmung vollzieht sich viel zu schnell und zu heftig, als dass sie mit orbitalen Faktoren erklärt werden könnte, zumal die gegenwärtigen Veränderungen der Erdbahnparameter (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_e#erdbahnparameter) zu einer sehr langsamen Abkühlung führen müssten. Momentan geht also etwas grundsätzlich anderes vor als in Deglaziationsphasen, bei denen der CO₂-Anstieg tatsächlich erst durch die Erderwärmung angestoßen wurde. Was dann aber auf diese höhere Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_a#atmosphre) folgte, lässt wertvolle Rückschlüsse darauf zu, wie das Klimasystem (https://www.klimafakten.de/glossar/letter_k#klimasystem) der Erde heute bzw. in den kommenden Jahrzehnten und Jahrhunderten auf die menschengemachten CO₂-Emissionen reagieren dürfte.

*John Cook/klimafakten.de, Juni 2010,
zuletzt aktualisiert: Juli 2014*