

# Was Sie schon immer über CO<sub>2</sub> wissen wollten: Teil 2 – CO<sub>2</sub>-Anstieg menschengemacht oder nicht?



Die Erdtemperaturen und den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre über die letzten 500 Millionen Jahre zeigt Bild 1

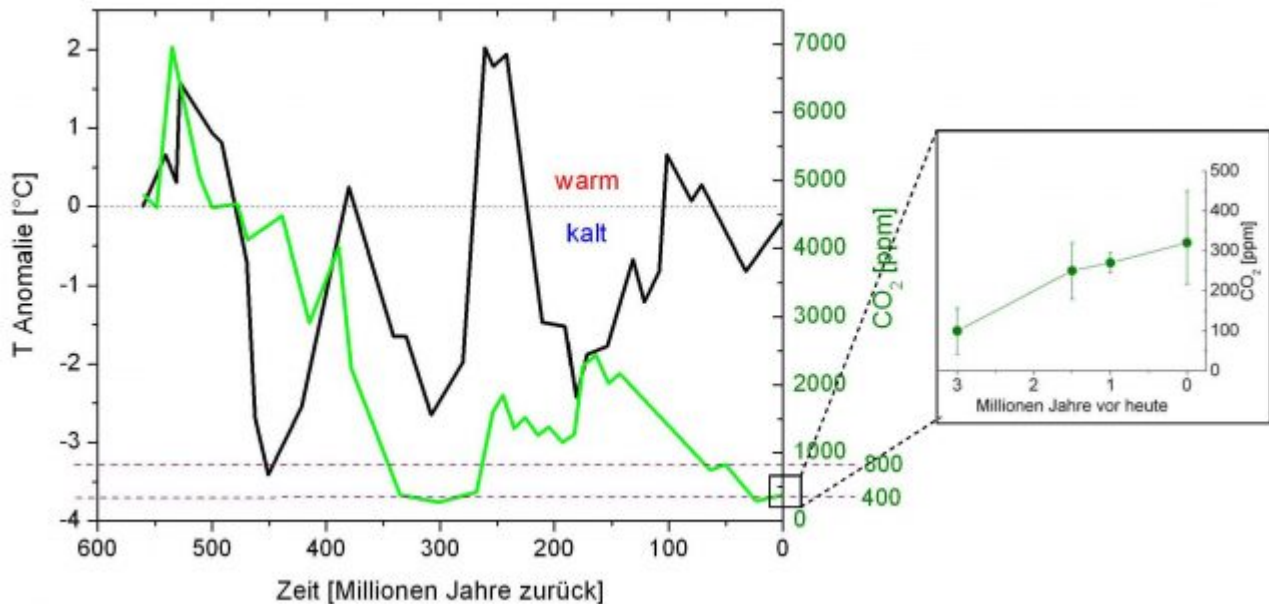


Bild 1: Globaltemperaturen und atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Gehalt in ppm über die vergangenen 550 Millionen Jahre; schwarz – Temperaturanomalie, grün – CO<sub>2</sub>-Konzentration, gestrichelte Linien – CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 800 ppm bzw. 400 ppm, letztere ist die aktuelle Konzentration, erstere ihre Verdoppelung. Rechtes Teilbild: atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Anteil der letzten 3 Millionen Jahre. Bild erstellt aus den Daten von [1], [2].

Bild 1 zeigt, dass die aktuelle Konzentration von CO<sub>2</sub> in unserer Atmosphäre, verglichen mit den letzten 500 Millionen Jahren, noch nie so niedrig war (300 Mio. Jahre vor uns ausgenommen). Ferner zeigt es

- Die Grenze zwischen warm und kalt ist die zwischen Warm- und Eiszeitalter. Wir leben heute immer noch in einem Eiszeitalter, von der Wissenschaft definiert als Zustand gleichzeitiger Vereisung beider Erdpole.
- Temperaturverlauf und CO<sub>2</sub>-Konzentration zeigen keinen Gleichlauf, oder

fachlicher, sie sind sehr schlecht korreliert.

- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration war in der Erdgeschichte schon bis über 15-mal höher als heute, ohne dass es zu einem Wärmekollaps der Erde kam.

Die in Bild 1 eingetragenen Kurven sind methodischer Probleme wegen mit großen Unsicherheiten behaftet. Dennoch steht fest: Warmzeitalter und Eiszeitalter waren gleichermaßen die Erdnormalität. Ferner waren die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Erdvergangenheit fast immer sehr viel höher als heute. In allen Zeiten gab es überreiches Leben auf unserer Erde – in den Warmzeiten besonders üppig – und natürlich auch in den Ozeanen, die keineswegs infolge höherer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen an Versauerung krankten. Sämtliche CO<sub>2</sub>-verbrauchenden Vorgänge, wie die Bildung der fossilen Kohle-, Erdöl- und Gas-Vorkommen, haben der Erdatmosphäre zunehmend das für die Existenz von Pflanzen und Tieren unabdingbare CO<sub>2</sub> entzogen. Wenn wir heute fossile Brennstoffe verfeuern, geben wir der Atmosphäre damit nur einen Teil dieses Kohlenstoffs wieder zurück.

Es gibt noch einen wichtigen Punkt, der in der CO<sub>2</sub>-Diskussion so gut wie nie zur Sprache kommt: Die minimale CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft, bei der noch die für alles Leben auf der Erde unabdingbare Photosynthese funktioniert, wird in der Fachliteratur zwischen 50 und 100 ppm geschätzt [3]. Mit heute 400 ppm sind wir von dieser Todeszone nicht mehr so weit entfernt. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, die der Atmosphäre wieder das unabdingbare CO<sub>2</sub> hinzufügt, optimistisch zu bewerten.

Seit ungefähr 2 Millionen Jahren sind die Erdtemperaturen Zyklen von grob 100.000 Jahren Länge unterworfen, den Eiszeiten oder Glazialen (nicht mit den Eiszeitaltern in Bild 1 zu verwechseln) und den Warmzeiten oder Interglazialen. Sie sind unter „Milankovich-Zyklen“ bekannt geworden. Zwei Millionen Jahre sind in Bild 1 natürlich viel zu kurz, um diese Einzelheiten hervortreten zu lassen. Wir dehnen daher die Zeitskala kräftig und kommen dann zu Bild 2, welches die letzten 400.000 Jahre zeigt.

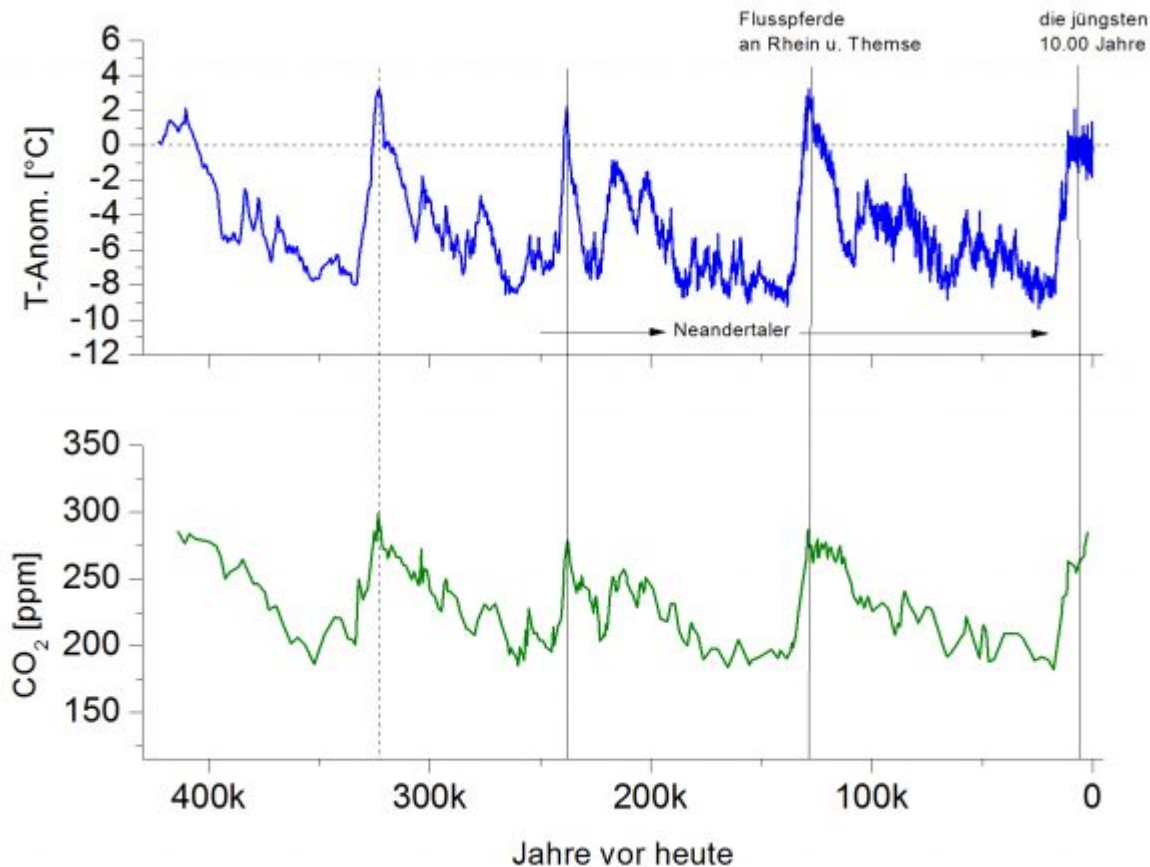


Bild 2: Antarktische Temperaturen (blau) und  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen der Luft (grün), gewonnen aus Eisbohrkernanalysen der russischen Vostok-Station über die vergangenen 400.000 Jahre [8]. Der Wert 0 der Temperaturkurve entspricht etwa unserer heutigen globalen Durchschnittstemperatur. Bild erstellt aus den numerischen Daten der Originalveröffentlichung.

In der Zeitspanne der Eiszeiten, die bis etwa zwei Millionen Jahre zurück reicht, finden wir  $\text{CO}_2$ -Konzentrationsänderungen in der Luft, die sich mit der temperaturabhängigen Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  in Meerwasser erklären lassen. Bei wärmerem Wasser wird  $\text{CO}_2$  ausgegast, bei kälterem Wasser wird es gebunden. Jeder kennt diesen Effekt von einem Glas mit  $\text{CO}_2$ -haltigem Mineralwasser. Die Zusammenhänge in der realen Natur sind komplex [4]. Über die Eiszeiten der letzten 400.000 Jahre beträgt die maximale Schwankungsbreite der  $\text{CO}_2$ -Konzentration etwa 100 ppm (Bild 2). Am Ende der letzten Eiszeit, 10.000 Jahre vor uns, betrug die  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Luft etwa 260 ppm. Danach ging es nur noch um ca. 20 ppm aufwärts und blieb dann im Wesentlichen konstant. Seit 2000 Jahren bis zu Beginn der Industrialisierung schwankte die  $\text{CO}_2$ -Konzentration um etwa 280 ppm herum nur sehr geringfügig [5]. Insbesondere die relativ konstanten Werte der letzten 2000 Jahre stehen in guter Übereinstimmung mit den ebenfalls nur relativ wenig variierenden Ozeantemperaturen. Mit „relativ“ sind die sehr viel größeren Temperaturschwankungen von Meerwasser über die Eiszeiten und Zwischeneiszeiten angesprochen.

Bleibt jetzt noch die Frage nach der Zuverlässigkeit der  $\text{CO}_2$ -Eisbohrkerndaten. In den mikroskopisch kleinen Luftbläschen sind schließlich eine ganze Reihe von chemischen und physikalischen Reaktionen denkbar, welche

die Konzentrationswerte verfälschen könnten. Zu dieser Fehlerproblematik gibt die Fachpublikation von Stauffer et al. Auskunft. In ihr wird die Zuverlässigkeit der Ergebniswerte aus Eisbohrkernen für die Gase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O ermittelt [6]. Für CO<sub>2</sub> werden dabei max. 20 ppm Abweichung angegeben. Die ungenauere Methode, aus Blatt-Stomata in Sedimenten historische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu ermitteln, weist dementsprechend größere Schwankungen auf als die Eisbohrkernmethode [7]. Von einem maßgebenden Widerspruch zwischen den CO<sub>2</sub>-Werten aus Eisbohrkernen und Blatt-Stomata kann aber keine Rede sein. Seit etwa 150 Jahren ist dann die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration auffällig angestiegen – von etwa 280 ppm um das Jahr 1800 bis auf etwa 405 ppm im Jahre 2019. Auch ohne ein näheres Eingehen auf den globalen CO<sub>2</sub>-Zyklus, der in Teil 3 besprochen wird, sind bereits die Indizien für die anthropogene Ursache des rezenten CO<sub>2</sub>-Anstiegs zwingend. Andere Ursachen als der Mensch sind praktisch auszuschließen.

Quellen:

- [1] T. Came et al., Coupling of surface temperatures and atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations during the Palaeozoic era, Nature 449, 2007
- [2] R. A. Berner, The long-term carbon cycle, fossilfuels and atmospheric composition, Nature, 426, 2003
- [3] D. N. Moss, The limiting carbon dioxide concentration for photosynthesis, Nature 192, 1962
- [4] M. Gloor et al., Estimating net air-sea fluxes from ocean bulk data: Methodology and application to the heat cycle, Global Biogeochemical cycles, Vol. 15, No. 4, 767-782, 2001
- [5] Epica-Dome, Eisbohrkernwerte sowie Vostok-Daten
- [6] B. Stauffer et al., Discussion of the reliability of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O records from polar ice cores, Mem. Natl Inst. Polar Res., 57, 139-152, 2003
- [7] F. Wagner et al., Reproducibility of Holocene atmospheric CO<sub>2</sub> records based on stomatal frequency, Quaternary Science Review 23, 1947-1954, 2004
- [8] J. R. Petit et al., Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, Nature, 399, 1999