



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Alle Artikel unserer Serie über den Klimawandel findet ihr unter diesem Link ...

Eines der häufigsten Argumente, das wir von Personen hören, die den Klimawandel nicht für vom Menschen gemacht halten, ist das, dass sich das Klima doch schon immer geändert hat, dass die globale Erwärmung doch Teil eines natürlichen Prozesses sei.

Natürlich ist das ein Argument, dass man nicht einfach vom Tisch wischen kann. Und ja, in diesem Punkt haben sie recht, die Leugner eines menschengemachten Klimawandels: Das Klima wandelt sich, seit es ein Klima auf unserem Planeten gibt. Auch stimmt es, dass die Temperaturen und der CO2-Gehalt der Atmosphäre vor Millionen von Jahren schon wesentlich höher waren als heute.

Aber all das ist für uns Menschen nicht ausschlaggebend. Wichtig ist lediglich die Frage: Können wir mit dem jetzigen Tempo des Klimawandels mithalten? Welchen Schaden wird er der Menschheit bringen? Wird sie ihn überhaupt überleben?

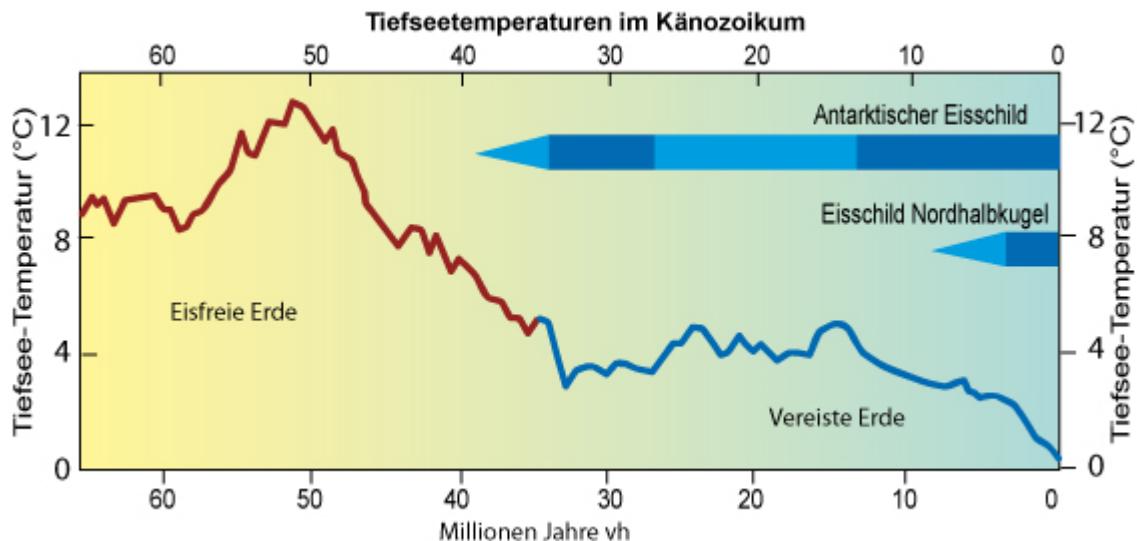
Im Folgenden wollen wir die Geschichte des Klimawandels auf der Erde etwas genauer betrachten: In geologischen Zeitspannen von Millionen von Jahren, in einer Zeitspanne von 800.000 Jahren und schliesslich in den vergangenen 1.000 Jahren.

Wie sahen die Veränderungen in der Urgeschichte unseres Planeten aus?

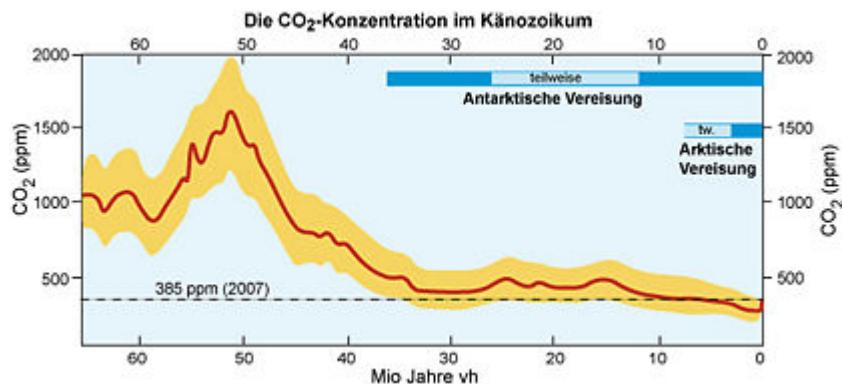
Betrachten wir das Känozoikum, das aktuelle geologische Zeitalter der Erde, das die letzten 66 Millionen Jahre der Erdgeschichte umfasst. Es ist gekennzeichnet durch die Dominanz von Säugetieren, Vögeln und Blütenpflanzen, ein abkühlendes und ausgeglichenes Klima und die heutige Konfiguration der Kontinente. Vor hundert Millionen Jahren, in der frühen Kreidezeit (das war die Zeit, als die Dinosaurier auf der Erde lebten) bis hin zur Mitte des Känozoikums war der CO2-Gehalt in der Atmosphäre tatsächlich um ein Vielfaches höher als heute. Es gab kein Eis auf der Erde und die globalen Temperaturen waren deutlich höher als wir es jetzt kennen.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



Und wenn du dich fragst warum das so war, dann hier ein interessanter Hinweis: In bemerkenswerter Parallelität zu der Temperaturkurve zeigt sich auch die Kurve des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre (vergleiche die beiden Grafiken).



Der Vergleich der Werte beweist, dass auch auf geologische Zeitskalen über Millionen von Jahren bezogen, die CO₂-Schwankungen die Hauptursache für Veränderungen der globalen Temperatur zu sein scheinen.

Offensichtlich waren in der Erdgeschichte schon immer die Treibhausgase die Hauptursache für einen Klimawandel.

In den vergangenen etwa 100 Millionen Jahren haben dann natürliche Prozesse den größten Teil dieses CO₂ unter der Erdoberfläche begraben. Es wurde in Pflanzen gebunden, die nach und nach als Faulschlamm unter Erdschichten oder in den Tiefen des Meeres begraben und eingeschlossen wurden. Das bildete die Grundlage für die Kohle-, Erdöl- und



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Erdgasvorkommen.

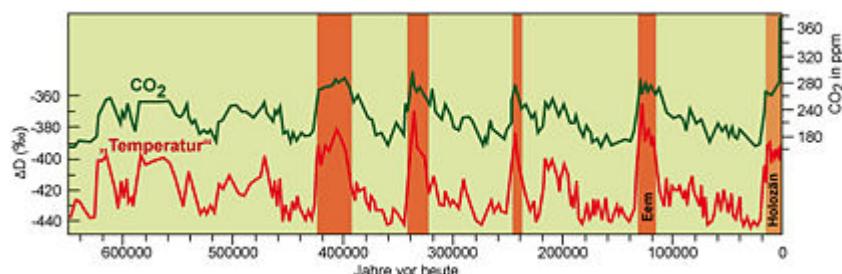
Und als die Menschen in den letzten 100 Jahren diese fossilen Brennstoffe entdeckten, zu Tage förderten und verbrannten, haben sie einen grossen Teil des Kohlenstoffs, den die Natur in hundert Millionen Jahren begraben hat, in einem sehr kurzen Zeitraum von gerade mal hundert Jahren wieder in die Atmosphäre geblasen, also eine Million Mal schneller.

Was hierbei wirklich relevant ist, ist aber nicht die Menge von CO₂ und die Größenordnung der Veränderungen, die dies verursacht. Sondern die Geschwindigkeit, in der das alles abläuft.

Veränderungen, die über viele Millionen Jahre hinweg stattfinden, erlauben es den Lebewesen, sich an sie anzupassen. Aber dieselben Veränderungen über hundert Jahre hinweg, eine Million Mal schneller, übersteigen mit hoher Sicherheit die Anpassungsfähigkeit der Lebewesen auf der Erde – die Menschheit eingeschlossen. Und das ist das eigentliche Problem bei dem beispiellosen Tempo, mit dem wir heute Kohlenstoff in die Atmosphäre blasen – die Klimaveränderungen könnten uns überfordern und überrennen.

Wie sieht es mit anderen Zeitskalen aus? Was ist mit kürzeren Zeitskalen? Wie kann das Kommen und Gehen der Eiszeiten in den letzten 700.000 Jahren erklärt werden?

Nachdem klar ist, dass über Millionen von Jahren hinweg die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre für Veränderungen des Wärmehaushalts der Erde verantwortlich sind, ist es logisch, dass auch in kürzeren Zeiträumen Kohlendioxid und Methan eine Schlüsselrolle bei der Steuerung der Eiszeitzyklen während der letzten 700.000 Jahre spielen.



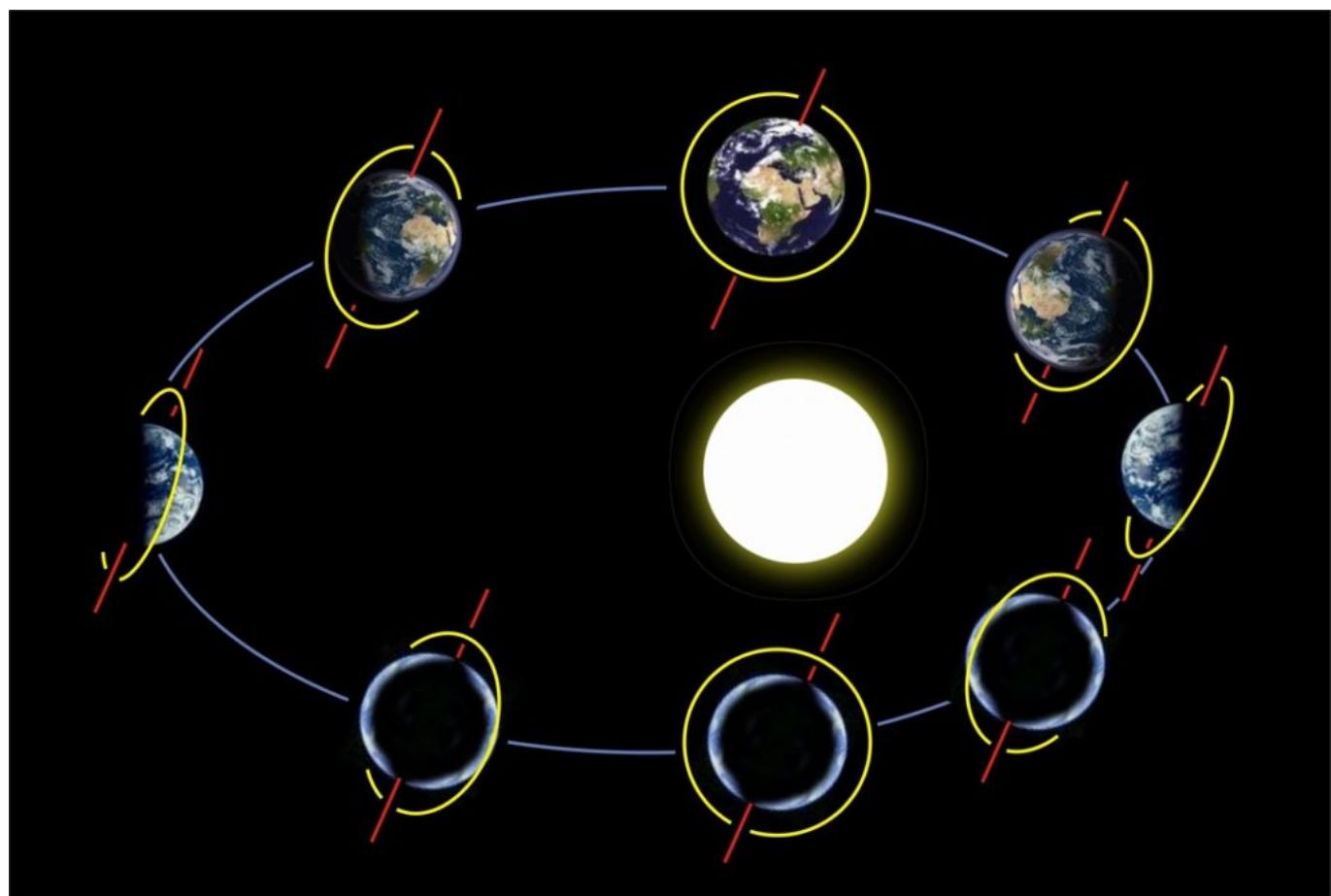


Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Und tatsächlich: Auch in vergangenen 700.000 Jahren bewegen sich die Kurven der Temperaturentwicklungen und der CO₂-Sättigung der Atmosphäre auffällig parallel.

Aber auch die Albedo-Rückkopplung des Eises, über die wir bereits gesprochen haben, spielt hierbei eine sehr wichtige Rolle. Während der Eiszeiten wird ein größerer Teil des einfallenden Sonnenlichts von den Eis- und Schneedecken auf der Erdoberfläche direkt reflektiert, was eine Abkühlung begünstigt. Schmilzt das Eis jedoch, wird mehr Sonnenlicht von der Erdoberfläche absorbiert, was zu einer Erwärmung führt. Dieser Rückkopplungsprozess ist sehr wichtig, um das Kommen und Gehen der Eiszeiten zu verstehen.

Um gründlich zu sein, müssen wir in diesem Zusammenhang aber auch betrachten, wie sich die Geometrie der Erdumlaufbahn relativ zur Sonne auf diesen Zeitskalen verändert. Und dabei stellt es sich heraus, dass es drei Hauptkomponenten gibt, wenn es darum geht, wie das absorbierte Sonnenlicht über die Erdoberfläche verteilt wird und wie dies das Klima auf Zeitskalen von Tausenden von Jahren beeinflusst.





Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Es gibt drei Hauptkomponenten dafür, wie sich die Geometrie der Erdumlaufbahn im Verhältnis zur Sonne auf Zeitskalen von zehn- bis hunderttausend Jahren verändert: Die **elliptische Umlaufbahn**, die **Neigungsachse** und die **Rotationsachse** der Erde.

Je **elliptischer die Umlaufbahn** ist, desto größer ist der Unterschied zwischen dem Punkt, an dem die Erde der Sonne am nächsten ist, und dem Punkt, an dem sie am weitesten von der Sonne entfernt ist, und je größer diese Unterschiede sind, desto ausgeprägter sind die Jahreszeiten, und je ausgeprägter die Jahreszeiten sind, desto größer ist das Potenzial für Veränderungen der Eisbedeckung in hohen Breiten, die das globale Klima beeinflussen können. Die elliptische Umlaufbahn ändert sich ungefähr alle 100.000 Jahre.

Die **Neigungsachse** der Erdrotation schwankt auf Zeitskalen von 40.000 Jahren. Heute beträgt sie etwa 22,5 Grad gegenüber der Senkrechten, und das bestimmt die Lage der Tropen und des Polarkreises. Aber es gibt Zeiten, in denen dieser Neigungswinkel größer ist und Zeiten, in denen er kleiner ist. Die Schwankungen dieses Neigungswinkels bestimmen, wie viel Sonnenlicht in hohen Breitengraden einfällt. Auch das wirkt sich auch auf die Eisbildung aus.

Und auf einer Zeitskala von etwa 20.000 Jahren bewegt sich die **Rotationsachse** der Erde wie ein Kreisel, der langsam wackelt und sich nach unten dreht.

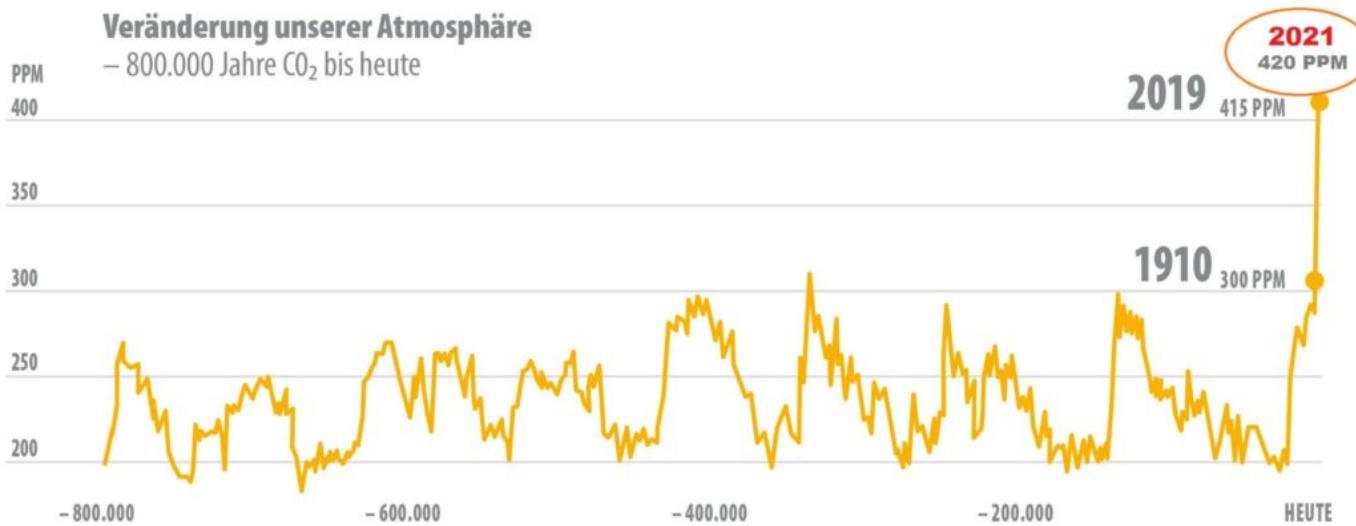
All diese Veränderungen auf Zeitskalen von 20.000 Jahren, 40.000 Jahren und 100.000 Jahren beeinflussen die jahreszeitliche Verteilung des Sonnenlichts auf der Erdoberfläche, was wiederum die Ansammlung und den Verlust von Eis in hohen Breitengraden beeinflussen kann.

Wie wir durch den Eis-Albedo-Effekt wissen, kann sich dies auf die Gesamttemperatur des Planeten auswirken.

All diese Faktoren sind also wichtig, aber selbst auf diesen Zeitskalen können wir sehen, dass die Schwankungen der Konzentrationen des Treibhausgases CO₂ eine wichtige Rolle beim Kommen und Gehen der Eiszeiten spielt, und zwar genau die gleiche Rolle, wie auch auf den langen geologischen Zeitskalen.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



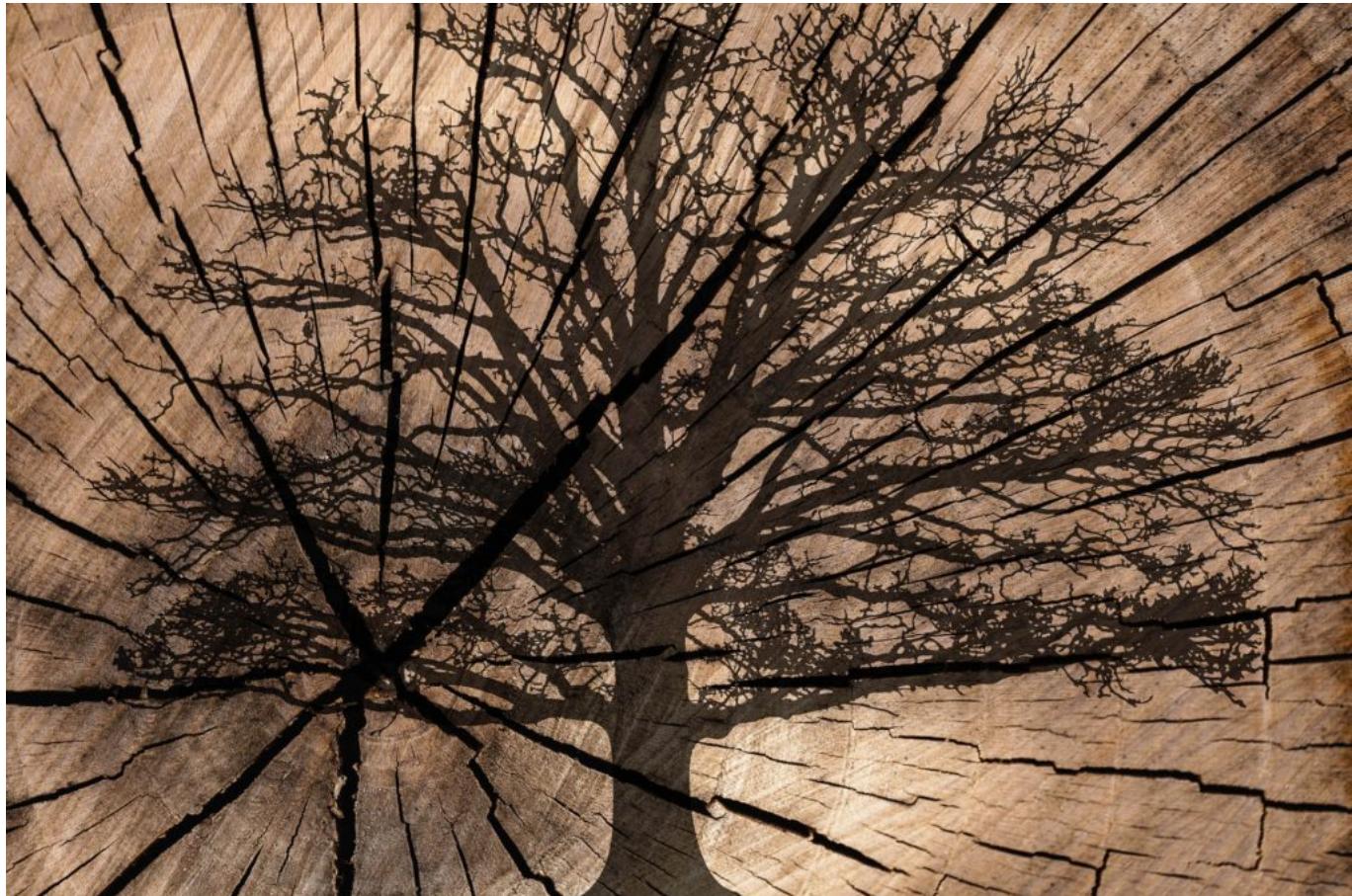
Zusammenfassend müssen wir feststellen, dass zu allen Zeiten ein enger Zusammenhang zwischen CO₂-Sättigung der Atmosphäre und den Temperaturverläufen der Erdoberfläche und der Meere besteht. Es gibt zwar verschiedene Einflüsse, die das Klima in den letzten 100 Millionen Jahren beeinflusst haben, aber nur **ein Einfluss begleitet die Temperaturunterschiede mit absolut verblüffender Übereinstimmung. Und richtig, das ist der CO₂-Gehalt der Atmosphäre.**

So, genug zu Erdgeschichtlichem, wie sieht es nun aber mit den letzten tausend Jahren aus, die uns wirklich interessieren? Das ist ein Zeitraum, der vor der industriellen Revolution beginnt und jung genug ist, dass wir auf bestimmte Arten von „Beweisen“ und „Aufzeichnungen“ zurückgreifen können, die die Wissenschaft als „Proxy Records“ bezeichnet.

Bei diesen Beweisen handelt es sich um Baumringe, Eisbohrungen, Korallen und Seesedimente. Das sind natürliche Archive, die es uns ermöglichen zu dokumentieren, wie sich das Klima auf Zeitskalen von Jahren, Jahrzehnten oder Jahrhunderten verändert hat.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



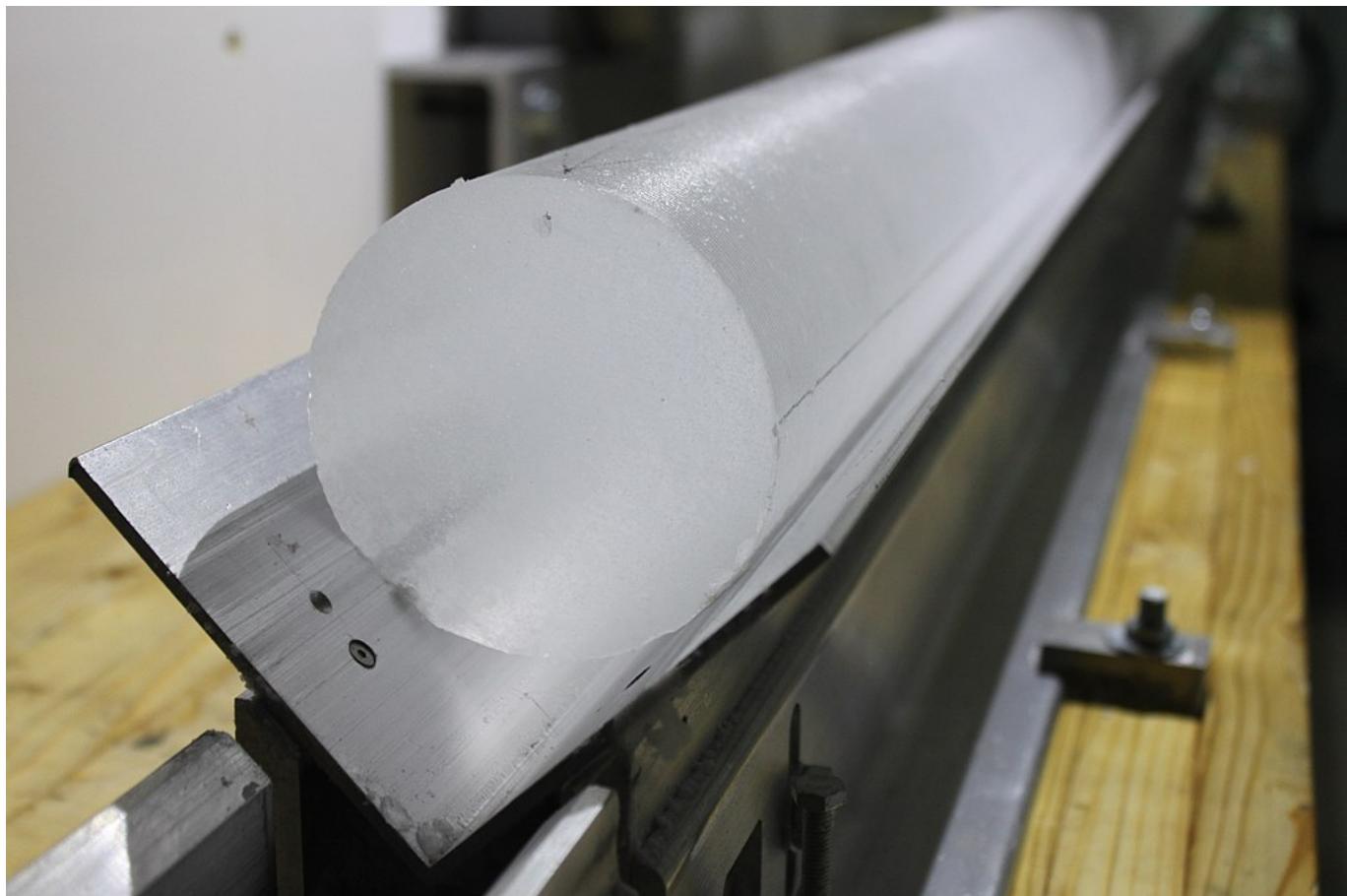
Baumringe sind wichtige sogenannte Paläo-Archive der Klimaveränderungen der letzten 1.000 Jahre.

Lassen Sie uns also ein wenig über diese sogenannten Paläo-Klimaarchive sprechen.

Als erstes gibt es da die Eisbohrkerne aus dem Eis, das sich jedes Jahr in den Polarregionen oder sogar in den Hochlagen der Tropen, in den Anden, den Alpen oder im Himalaya bildet. Durch die jährlichen Staubschichten im Eis können wir meist auf ein Jahr genau dokumentieren, wie sich die Zusammensetzung des Eises verändert hat.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



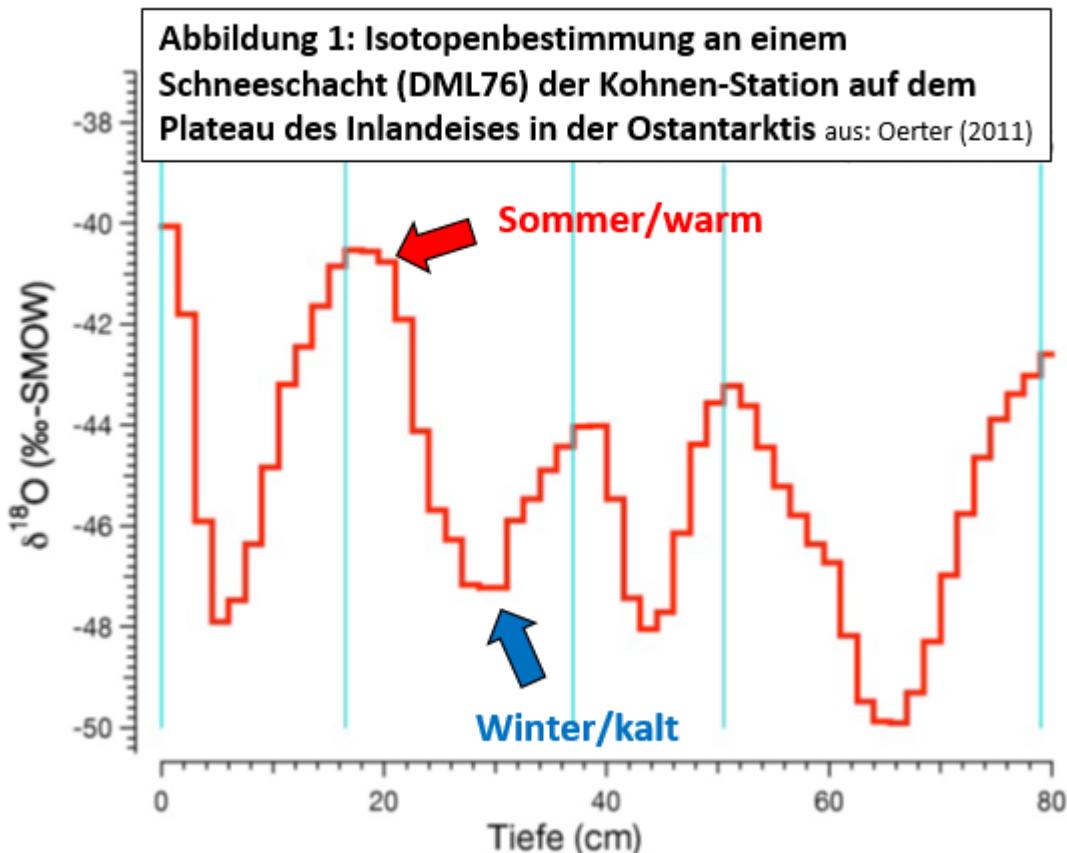
Das Eis in Eisbohrkernen ist oft mehrere Millionen Jahre alt.

Und dann wird es spannend: Wissenschaftler konnten den Sauerstoff, aus dem das H₂O-Molekül in diesen Eisschichten besteht und die Isotope dieses Sauerstoffs untersuchen. Dabei stellte es sich heraus, dass die beiden stabilen Isotope des Sauerstoffs, das schwerere Isotop Sauerstoff 18, und das leichtere Isotop Sauerstoff 16 direkt auf die atmosphärischen Temperaturen zum Zeitpunkt der Ablagerung des Eises hinweisen.

Es gibt also Isotopensignaturen in den Eisschichten, die es uns ermöglichen, Klimaveränderungen in der Vergangenheit zu dokumentieren.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



Ein höheres Vorkommen des schweren Isotops Sauerstoff-18 weist auf eine höhere Temperatur zur Zeit der Ablagerung hin.

Auch mit dem fossilen Skelett einer Koralle kann eine solche Chronologie erstellt werden, die viele Jahrhunderte zurückreicht. Die Jahresringe dieser Korallen bestehen aus Kalziumkarbonat, CaCO_3 , das auch ein Sauerstoffatom enthält. Und wieder sagt uns die relative Häufigkeit der beiden Sauerstoffisotope, des schweren Isotops Sauerstoff 18 und des leichteren Isotops Sauerstoff 16, und das Verhältnis dieser Isotope im Korallenskelett tatsächlich etwas über das Meerwasser aus, in dem die Koralle lebte: sowohl über die Temperatur als auch über den Salzgehalt des Meerwassers.

Last but not the least gibt es die Baumringe in terrestrischen Regionen, die sich die Wissenschaftler ansehen. Das jährliche Wachstum von Bäumen spiegelt sehr gut die Klimaschwankungen von Jahr zu Jahr wider, und die Dicke und die Dichte der jährlichen Wachstumsringe können etwas über die Veränderungen der Temperaturen in der Vergangenheit sagen.



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Letztendlich können unsere Wissenschaftler also all diese Daten von Eisbohrkernen von den Polen, Eisbohrkernen von Gebirgsgletschern, Baumringen von den Kontinenten der mittleren Breiten, Korallen aus den tropischen Meeren nehmen und so all diese Beweise zusammenfügen und uns damit ein ziemlich genaues globales Bild davon zeichnen, wie sich das Klima in der näheren Vergangenheit verändert hat.

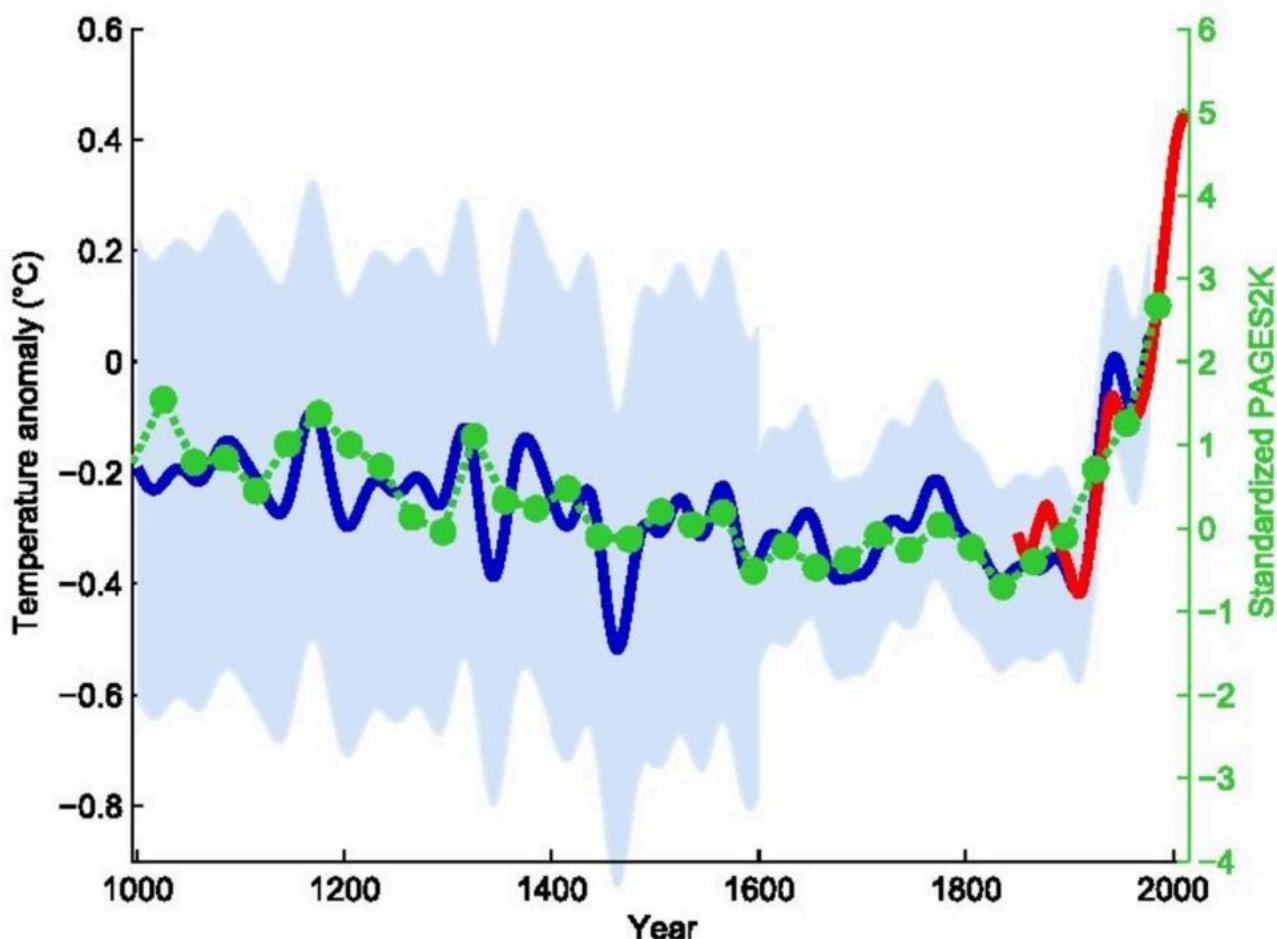
So können wir das Klima der Vergangenheit rekonstruieren und mit den Aufzeichnungen über die treibenden Kräfte des Klimas vergleichen, um Einblicke in die Funktionsweise des Klimasystems auf längeren Zeitskalen zu erhalten, was wiederum unser Verständnis des heutigen Klimawandels verbessert.

Und wenn wir uns diese Klimarekonstruktionen ansehen und die Frage stellen: Wie warm war die Erde denn nun?

Dann führt uns das zu der sogenannten Hockeyschläger-Kurve, die wir in dieser Grafik sehen können, wobei das Ende der Kurve die jüngste Vergangenheit zeigt. Wir sehen eine abrupte Erwärmung während der letzten 100 bis 150 Jahre, und **wir sehen, dass diese Erwärmung alles übertrifft, was wir in den letzten tausend Jahren und darüber hinaus auf globaler Ebene dokumentieren können.**



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!



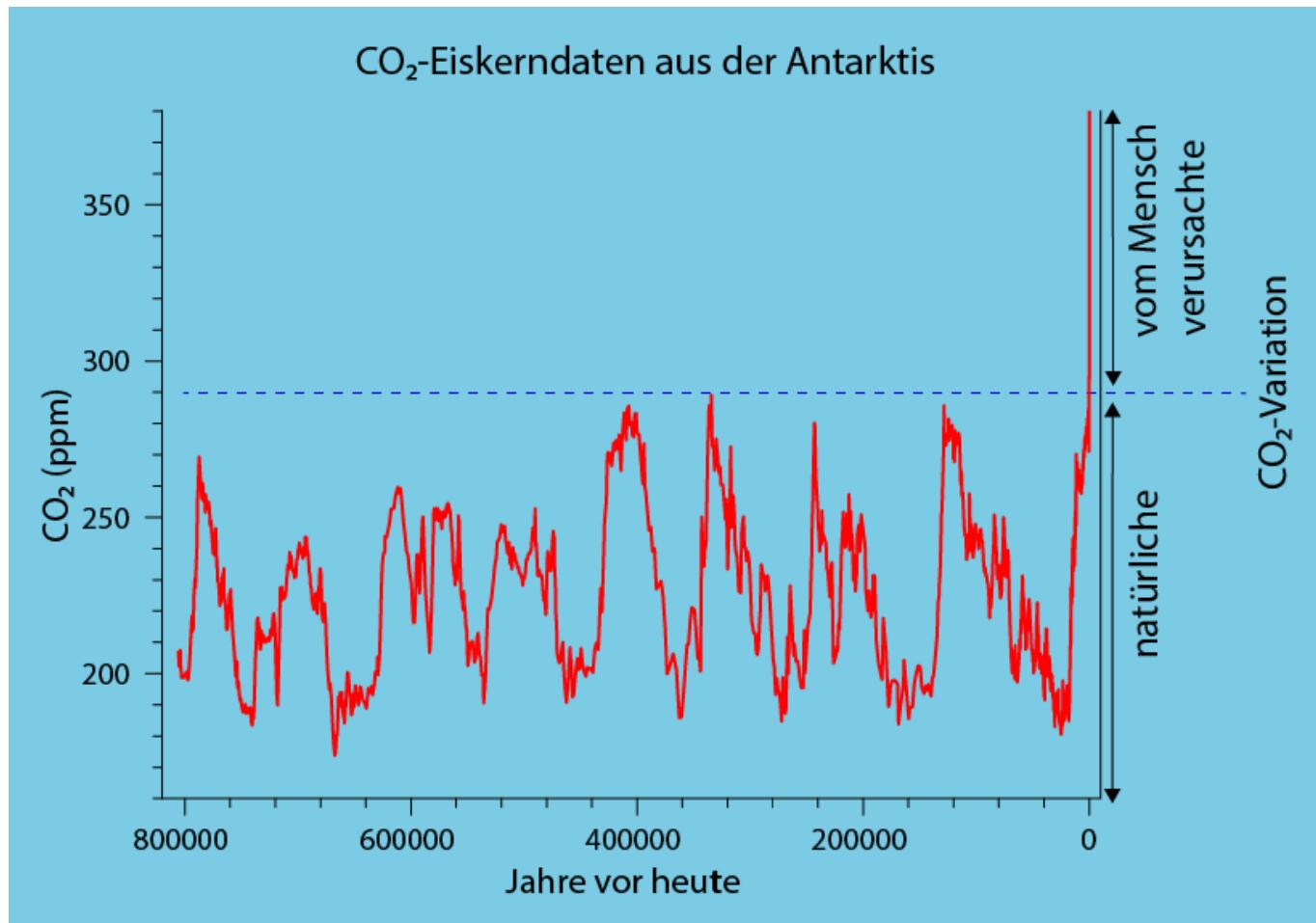
Es gibt keine vergleichbare Erwärmungsrate in all den Millionen von Jahren, die wir uns heute angesehen haben. Soweit die „Proxy Rekords“ zurückreichen findet sich nichts auch nur annähernd Ähnliches. Und das zeigt den beispiellosen Charakter des jüngsten Erwärmungstrends, der sich in der Grafik als die Klinge des Hockeyschlägers darstellt.

Abschliessend lässt sich also sagen, dass die paläoklimatischen Beweise auf historischen Zeitskalen, auf Jahrtausendzeitskalen, die das Kommen und Gehen von Eiszeiten zeigen, und auf den längsten geologischen Zeitskalen, die uns bis ins Zeitalter der Dinosaurier zurückführen, zeigen, dass die heute stattfindende Erwärmung einmalig ist. **Dass die Erwärmungsrate, die wir aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels beobachten, jede Erwärmungsrate übersteigt, die wir für irgendeinen Zeitpunkt in**



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

der Vergangenheit dokumentieren konnten.



Die Untersuchung des Klimas in der Vergangenheit unterstreicht die Rolle, die der vom Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgase heute für die globale Erwärmung und den Klimawandel spielt.

Wie alle unsere bisherigen Artikel über den Klimawandel soll auch dieser dazu beitragen, das Basiswissen zu erlangen, das notwendig ist, um ein Verständnis für die komplexen Zusammenhänge des Klimas zu erlangen. Außerdem hoffen wir auch, Argumente und Informationen zu liefern, die mithelfen könnten, Leugner des vom Menschen verursachten Klimawandels davon zu überzeugen, dass sie sich die Sache nochmals überlegen sollten...

Bleibt neugierig und zu Veränderungen bereit!

Andreas M. Brucker, Redaktionsleitung Nachrichten.fr



Klar, das Klima wandelte sich schon immer – aber noch nie so schnell wie heute!

Unser nächster Artikel wird eine Zusammenfassung der 2. Artikelreihe sein. Auch werden wir euch wieder eine kleine Liste interessanter wissenschaftlicher Veröffentlichungen geben:
Klimawandel: Resumé der zweiten Artikelreihe – am Tag des Hurrikans Ida

Alle Artikel unserer Serie über den Klimawandel findet ihr unter diesem Link ...