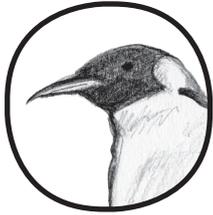


Chat



Stimmt. Auf Gletscher, auf blühende Landschaften und im schlimmsten Fall auf uns! Dann doch lieber Strom sparen und weniger Auto fahren. Menschenskinder, das kann doch nicht so schwer sein. Verzichten, kann's richten.

Gute Frage. Menschen waren vor 300.000 Jahren noch keine da. Wie erforscht man eigentlich das Klima der Vergangenheit?

Wir müssen uns wohl noch weiter bilden! 📖

🚫🚫🚫 Verzichten, verzichten, verzichten, das klingt schwierig. Wobei...wenn man jetzt nicht damit anfängt, muss man noch auf viel mehr verzichten. 🔔

Aber jetzt noch einmal zu meinem Opa. Der meinte doch, dass sich das Klima immer schon geändert hat. Weiß man denn überhaupt, wie das Klima früher war und wer es damals beeinflusst hat?

... und kann man was für die Zukunft daraus lernen?

05

Klimaforschung

Woher stammen bisherige Erkenntnisse?

Was sagen uns die Jahresringe von Bäumen über das Klima der Vergangenheit?

Wie hilft das „ewige Eis“ der Klimaforschung?

Welche Prozesse auf der Erde können das Klima beeinflussen?

Welche Prozesse aus dem Weltraum können das Klima beeinflussen?

Welche Erkenntnisse hat die Klimaforschung bisher gebracht?

Klimaforschung

Die Klimaforschung ist eine Wissenschaft, die auf Daten der Geschichte zurückgreifen muss. Da es erst seit Ende des 19. Jahrhunderts genügend Temperatur- und Regenbeobachtungen, und seit etwa 1950 Aufzeichnungen über den CO₂-Gehalt der Lufthülle gibt, bleibt den Forschern heute nichts anderes übrig, als auf „Archive“ aus der Natur zurückzugreifen.

Für die jüngere Vergangenheit werden die Jahresringe von alten Bäumen oder die Spuren, die Gletscher in der Landschaft hinterlassen haben, herangezogen.

Um weiter in die Vergangenheit gehen zu können, werden beispielsweise Eisbohrkerne, Tropfsteine oder Ablagerungen am Grund von Meeren und Seen untersucht.



Info

Jahresringe

Da Bäume mehrere hundert Jahre alt werden können, kann man aus ihren Jahresringen wärmere und kältere Zeiten herauslesen. In wärmeren und feuchteren Phasen sind die Ringe breiter. In kälteren und trockeneren Phasen sind sie schmaler, weil dann die Bäume weniger stark wachsen.

Klimaforschung

Die unterschiedlichen Archive in der Natur reichen unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurück. So werden für die jüngere Klimageschichte der letzten Jahrhunderte Jahresringe von Bäumen und Gletscherspuren in der Landschaft herangezogen.

Um jedoch weiter in die Temperatur- und CO₂-Geschichte zurückblicken zu können, braucht es andere Hilfsmittel: Die Verbreitung von verschiedenen Fossilien und Pollen, z.B. in Meeres- und Seesedimenten, sowie die Analyse von Eisbohrkernen.

Das „ewige Eis“ ist eines der wichtigsten Klimaarchive, weil es uns neben Informationen über das Klima lang vergangener Zeiten auch Informationen über den damaligen CO₂-Gehalt der Lufthülle liefert. Das in 3.270 m Tiefe liegende Eis der Antarktis, ist ca. 900.000 Jahre alt. Entnimmt man mit großen Bohrgeräten Eisbohrkerne aus dem Eispanzer, so sieht man aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen zwischen Sommer und Winter so etwas wie die Jahresringe der Bäume, die als Zeitskala dienen. Die Schneeflocken, die im jeweiligen Jahr gefallen sind, werden mit der Zeit vom Schnee nachfolgender Jahre zu Eis zusammengepresst. Die in den Hohlräumen enthaltene Luft wird dabei im Eis eingeschlossen. Aus ihr kann der CO₂-Gehalt der Atmosphäre vergangener Zeiten ermittelt werden.



Temperaturen der Vergangenheit

Die Ermittlung der Temperaturen der Erdgeschichte ist kompliziert. Die jeweilige Temperatur kann beispielsweise anhand von verschiedenen Sauerstoffisotopen ermittelt werden. Isotope sind unterschiedlich schwere Atome eines Elements, in diesem Fall Sauerstoff – nämlich ^{16}O und ^{18}O .

Ein Sauerstoffatom hat im Kern immer acht Protonen. Sie sind das charakteristische Merkmal der Atome dieses Elements. Die meisten Sauerstoffatome haben auch acht Neutronen im Kern, deshalb bezeichnet man sie als ^{16}O -Atome. Aber wie das eben so ist, gibt es auch bei den Sauerstoffen ein paar „dickere“ Vertreter, z.B. solche mit zehn Neutronen im Kern, die man dann als ^{18}O -Atome bezeichnet.

Bildet sich auf unserem Planeten in einer kalten Phase viel Eis, so werden in diesem die leichteren ^{16}O -Atome bevorzugt eingebaut. Man kann sich das so vorstellen, dass Regenwasser mit den leichteren ^{16}O -Atomen es einfacher hat, bis in die Polregionen vorzudringen und dort als Schnee auf das Eis zu fallen. Die schwereren ^{18}O -Atome bleiben im Gegensatz dazu häufiger im Meerwasser zurück, da Wasser mit ihnen, aufgrund ihrer Schwere, weniger leicht verdunstet und von Luft und Wind transportiert wird.

Meerestiere mit Kalkschalen bauen permanent Sauerstoffatome in ihre Schalen ein. Wenn der ^{18}O -Gehalt aufgrund tieferer Temperaturen auf der Erde im Meerwasser höher ist, dann ist auch mehr ^{18}O in diesen Schalen enthalten. Aus dem Vergleich des ^{18}O -Gehalts der Kalkschalen, die man im Meeresboden findet, können somit sehr genau die Temperaturen vergangener Zeiten unserem heutigen Klima gegenübergestellt werden.

Sobald sich in einer Region einmal eine kühlere Wetterphase einstellt, haben viele das Gefühl, das mit der Erderwärmung könne nicht so tragisch sein. Kühle Phasen kann es aber regional immer wieder geben. Man muss jedoch stets den ganzen Planeten im Blick haben – deshalb spricht man auch von einer globalen und nicht von einer regionalen Erwärmung. Daher muss man auch die gesamte Erdoberfläche mit Messungen durch Wetterstationen und Wettersatelliten überwachen. Wenn sich globale Windsysteme oder Meeresströmungen durch den Klimawandel verschieben, können bestimmte Regionen über längere Zeiträume abkühlen, und das, obwohl sich der Planet insgesamt erwärmt.



Klimamodelle

Globale Klimamodelle sind komplexe Computerprogramme und ein wichtiges Werkzeug, um das Klima der Zukunft abzuschätzen. Mit Hilfe der Klimamodelle wird unter Berücksichtigung bekannter physikalischer Gesetzmäßigkeiten die Funktionsweise des Klimasystems simuliert. Bevor ein Modell für Abschätzungen der Zukunft verwendet wird, muss es seine Qualität aber anhand erfolgreicher Simulationen des vergangenen und des gegenwärtigen Klimas beweisen.

Das Klima ist ein komplexes und nichtlineares System. Solche Systeme sind jedoch nie ohne Unsicherheiten prognostizierbar, daher ist es auch schwierig zu sagen, wie unsere Zukunft wirklich aussieht. Um das zukünftige Klima für Regionen mit sehr unterschiedlichen geographischen Gegebenheiten, von Meeresküsten bis zum Hochgebirge, möglichst genau zu berechnen, müssen die Gestalt der Erdoberfläche und die physikalischen und chemischen Vorgänge im Klima so genau wie möglich in den Klimamodellen repräsentiert sein. Da die räumliche Auflösung von Klimamodellen und die Anzahl der reproduzierbaren klimatischen Prozesse jedoch aufgrund der begrenzten Rechenleistung unserer Computer prinzipiell limitiert sind, können auch Prognosen für die Zukunft nur eine Annäherung darstellen. Erschwerend kommt hinzu, dass das menschliche Verhalten der Zukunft nur geschätzt werden kann. Letzteres stellt damit die größte Unsicherheit bei der Anfertigung von Klimamodellen dar.

Wir hören immer wieder gegenteilige Meinungen, wenn es um den Klimawandel geht. Grundsätzlich sind sich aber etwa 97 % der Klimaforscher, die Studien veröffentlichen, einig, dass der Mensch für die aktuelle Erwärmung verantwortlich ist. Unseren Kindern und Enkelkindern wäre von Herzen zu gönnen, wenn die übrigen 3 % richtig lägen, aber die Wahrscheinlichkeit dafür ist wohl minimal.

Info

Nichtlineare Systeme

wie das Klima zeichnen sich dadurch aus, dass bei einer kleinen Änderung von System-Parametern eine große Änderung der Eigenschaften des Systems auftreten kann. Ein Beispiel sind die Eisschilde an den Polen der Erde: Die Klimawissenschaft ist der Ansicht, dass bei kleinen Änderungen der globalen Temperatur über einen kritischen Wert ganze Eisschilde plötzlich instabil werden können und dann unwiederbringlich abschmelzen.



Auf wen wollen wir hören – auf skeptische Politiker? Oder hören wir auf jene Menschen, die sich Tag für Tag intensiv mit dieser Thematik beschäftigen? Wenn wir uns ein Bein brechen, fragen wir auch nicht den Konditor oder den Installateur um Rat. Vielleicht sollten wir auch beim Klima auf jene hören, die sich permanent damit auseinandersetzen...

Irdisches – Klimafaktoren auf der Erde

Aktivität von Lebewesen

Wir machen uns in der Erdgeschichte durch das massive Freisetzen von Treibhausgasen gerade einen – nicht sehr ruhmreichen – Namen. Wir sind allerdings nicht die erste Spezies, welche die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert. Vor uns machten das beispielsweise schon Cyanobakterien und Foraminiferen. Bei ersteren handelt es sich um jene Lebewesen, die vor ca. 2,5 Mrd. Jahren die Fotosynthese „erfunden“ haben. Dadurch senkte sich der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre massiv ab. Foraminiferen, das sind Einzeller, die CO_2 in ihre Kalkschalen einbauen, haben aus dem Überangebot an CO_2 eine Tugend gemacht und mit dem im Meerwasser gelösten Gas begonnen, ihre Kalkschalen zu bauen. Dies führte zu einem starken Rückgang des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre und dadurch zu einer Abkühlung.

Vulkanausbrüche

Heftige Vulkanausbrüche sind in der Lage, so viel Asche in die Atmosphäre zu schleudern, dass die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche abnimmt und sich die Gashülle abkühlt. Der letzte nennenswerte Vorfall ereignete sich im Jahre 1815, als auf Indonesien der Vulkan Tambora ausbrach. Er schleuderte so viel Asche in hohe Schichten der Atmosphäre, dass das Jahr 1816 auf der Nordhalbkugel als das „Jahr ohne Sommer“ in die Geschichtsbücher einging. In den Alpen wurde in Höhen über 1.000 m das ganze Jahr über eine permanente Schneedecke verzeichnet. Ernteauffälle führten zu Hungersnöten und, als der Effekt ein Jahr später nachließ, wurde das Schmelzwasser von zwei Wintern mit einem Mal geliefert.

Veränderte Meeresströmungen

Meeresströmungen und Windsysteme sorgen für einen Wärmeaustausch zwischen den warmen Bereichen rund um den Äquator und den kalten Zonen um die Pole. Durch tektonische Prozesse oder durch Änderungen des Salzgehalts kann es dabei zu Verschiebungen kommen, die für das Klima der betroffenen Regionen Auswirkungen haben. In unseren Breiten würde z.B. ein lädiertes Golfstrom Einfluss auf das Klima Nordwesteuropas nehmen und, zumindest in nördlichen Breiten, für eine Abkühlung sorgen.

Oceanic Anoxic Events (OAEs)

Durch hohe Wassertemperaturen kommt es zur Bildung riesiger Algenteppiche. Algenteppiche im großen Stil führen zu einer erhöhten Fotosyntheserate. Für die Fotosynthese benötigen die Algen viel CO_2 , wobei sie den Kohlenstoff in ihren Körper einbauen. Algenteppiche an der Meeresoberfläche beziehen ihr CO_2 vorwiegend aus der Luft, was ein Sinken des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre nach sich zieht und zu einer Abkühlung führt. Die Algen sterben massenweise ab und den Bakterien am Gewässergrund geht mit der Zeit der Sauerstoff, den sie für die Zersetzung der toten Algen benötigen würden, aus. Solche Phasen bezeichnet man auch als Oceanic Anoxic Events (OAEs). Diese OAEs führen zu einer Faulschlamm-Bildung am Meeresgrund und somit zu einer Speicherung des Kohlenstoffs in der Tiefe. In weiterer Folge kann aus diesem Faulschlamm nach unzähligen weiteren Schritten Erdöl entstehen.

Außerirdisches – Klimafaktoren aus dem All

Verschiedene „außerirdische“ Faktoren haben Einfluss auf unser Klima. Die Zusammenhänge erstmals zusammengefasst und beschrieben hat der serbische Mathematiker Milutin Milankovic. Er konnte zeigen, dass die Sonneneinstrahlung auf die Erde langperiodischen Schwankungen unterliegt, die die Klimaschwankungen mit Eis- und Warmzeiten zumindest teilweise erklären können. Allerdings kommen zu diesen Faktoren dann eben noch jene Prozesse auf der Erde hinzu – wie etwa die Aktivität des Menschen...

Sonnenaktivität

Die Aktivität der Sonne ist nicht immer gleich hoch, sie schwankt in einem 11-Jahres-Zyklus. Ein Maß für die Sonnenaktivität ist die Anzahl auftretender Sonnenflecken. Je höher die Zahl der Sonnenflecken, desto höher die Aktivität der Sonne. Ist die Sonnenaktivität niedrig, sind kühle Jahre angesagt – in Phasen hoher Aktivität sind leichte Erwärmungen zu beobachten. Jedoch ist dieser 11-Jahres-Zyklus von Variationen auf noch längeren Zeitskalen überlagert. Diese Erkenntnis kann man aus der Analyse der Häufigkeit eines radioaktiven Isotops des Kohlenstoff (^{14}C) und eines Beryllium-Isotops (^{10}Be) in Klimaarchiven gewinnen – im Fall von ^{14}C anhand von Baumringen, im Fall von ^{10}Be anhand von Eiskernen. Phasen, in denen die Sonnenflecken über mehrere Jahrzehnte ausblieben, in denen die Aktivität der Sonne geringer war, und in denen das Klima etwas abkühlte, werden mit so genannten „kleinen Eiszeiten“ in Verbindung gebracht. Dazu zählt z.B. das nach dem britischen Astronomen Edward Maunder benannte Maunder-Minimum, eine kalte Phase zwischen 1645 und 1715.

Meteoriteneinschläge

Wir sind gegen Meteoriteneinschläge genauso machtlos wie die Dinosaurier. Entscheidend sind die Größe des Meteoriten sowie der Einfallswinkel, in dem er unseren Planeten besucht. Größere Kaliber können durch den Einschlag zu großflächigen Bränden und Unmengen an Staub und Rußpartikeln in der Atmosphäre führen. Der klimatische Effekt von Meteoriteneinschlägen ist komplex. Zuerst verringern Staub und Ruß in der Atmosphäre die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche. Dies zieht eine Abkühlung der Atmosphäre nach sich. Die schwereren Partikel in der unteren Atmosphäre werden innerhalb von Tagen bis Wochen durch Regen aus der Luft ausgewaschen, und haben dann

keinen Einfluss mehr auf die Sonneneinstrahlung. Der Anteil leichter Partikel, die in die Stratosphäre (15-50 km Höhe) geschleudert wurden, hat jedoch einen sehr viel länger anhaltenden kühlenden Effekt – denn bis die Partikel aus der Stratosphäre entfernt sind, können Jahre vergehen. In den Jahrzehnten bis Jahrhunderten nach einem Meteoriteneinschlag, wenn die kühlende Wirkung auf das Klima nachgelassen hat, tritt dann noch ein gegenläufiger klimatischer Effekt auf: Es kann zu einer deutlichen Erwärmung kommen. Grund hierfür sind erhöhte Konzentrationen von CO_2 in der Atmosphäre, hervorgerufen durch die Verbrennung großer Mengen von Biomasse beim Einschlag.

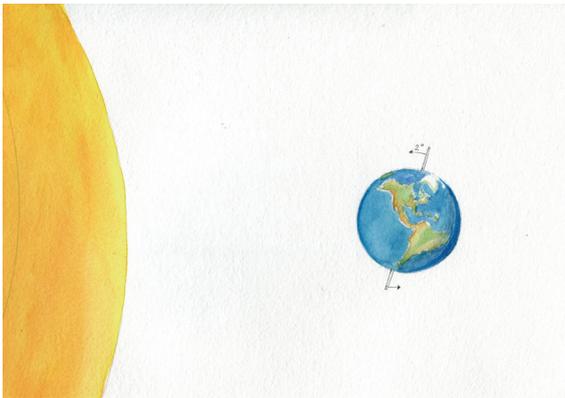


Klima und Erdumlaufbahn

Neigung der Erdachse

Das mit dem Begriff „Schwankung der Schiefe der Ekliptik“ beschriebene Phänomen bezieht sich auf die zyklische Variation der Neigung der Erdachse zur Sonne. Diese schwankt zwischen $22,1^\circ$ und $24,5^\circ$ in einem Rhythmus von etwa 41.000 Jahren. Wenn der Wert gegen $22,1^\circ$ sinkt, sind die großen Landflächen auf der Nordhalbkugel der Erde im Sommer der Sonne weniger zugeneigt, was die Bildung von großen Eisflächen begünstigt. Wenn sich größere Eisflächen bilden, wird wiederum mehr Sonnenlicht direkt in den Weltraum reflektiert, ohne dass die Strahlung in Wärme umgewandelt wird. Diese Rückkopplung verstärkt eine weltweite Abkühlung, umgekehrt begünstigt eine stärkere Neigung wärmere Phasen. Die momentane Neigung der Erdachse beträgt $23,4^\circ$.

Schwankungen in der Form der Erdumlaufbahn



Dieses als „Exzentrizität“ bezeichnete Phänomen bezieht sich auf die Umlaufbahn der Erde um die Sonne. Diese schwankt in einem Zeitraum von etwa 400.000 Jahren zwischen fast kreisförmig bis leicht elliptisch. Die Folge ist eine schwankende Sonneneinstrahlung, was, je nach Extrem, eine Abkühlung oder Erwärmung des weltweiten Klimas begünstigt: Die Erde bewegt sich am sonnennächsten Punkt ihrer Umlaufbahn schneller fort, als an ihrem sonnenfernsten Punkt, und dieser Effekt wird mit zunehmender Exzentrizität extremer. Daher hat die Exzentrizität der Erdbahn, bzw. ihre Schwankung, Einfluss auf die Dauer der Jahreszeiten.

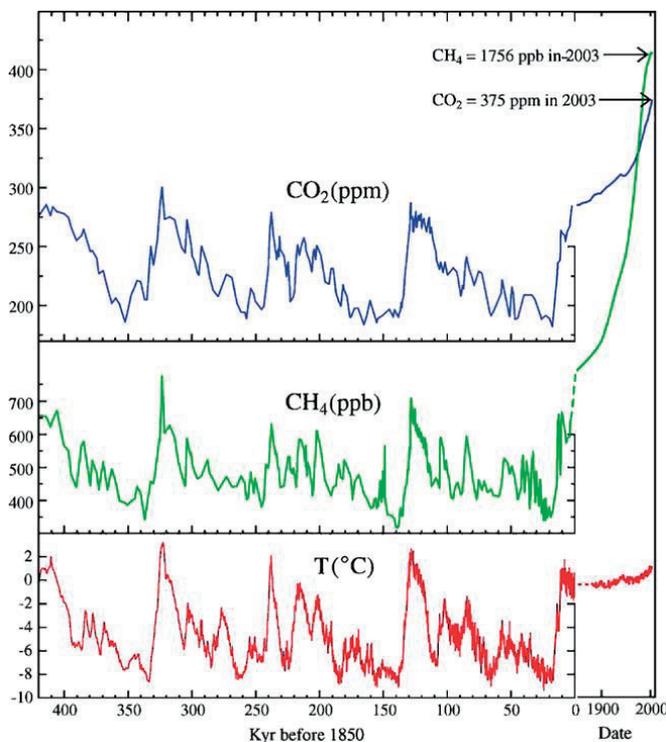
„Taumeln“ der Erde

Dieser periodisch auftretende Effekt, auch „Präzession“ genannt, kann das Erdklima ebenfalls beeinflussen, indem es die Ausprägungen der Jahreszeiten variieren lässt. Dieser Zyklus dauert ca. 26.000 Jahre.

Ergebnisse der Klimaforschung

Klimaforscher haben Eisbohrkerne aus der Antarktis untersucht, um festzustellen, ob und wie sich die Temperatur, der CO_2 - und der CH_4 -Gehalt in der Atmosphäre in der Vergangenheit entwickelten. Da die Umwandlung von Schnee zu Eis mehrere Jahrzehnte dauert, fehlen hier jedoch die Daten der letzten 150 Jahre.

Die Zusammenhänge sind deutlich. Zieht eine der Kurven an, dann ziehen die anderen nach. Das liegt nicht zuletzt an den zahlreichen Rückkopplungen. Steigt z.B. die Temperatur zuerst, so erwärmen sich die Meere und geben in weiterer Folge CO_2 ab, was dann wiederum die Temperatur erhöht und z.B. wieder auf aufgetauten Permafrostböden CH_4 entweichen lässt. Die Kurven treiben sich also auf die Spitze. Sind die Meere dann einmal so warm, dass z.B. riesige Algenblüten einsetzen, wird der Atmosphäre wieder CO_2 entzogen, was wiederum einen Abkühlungsprozess in Gang setzen kann. Dieses Auf und Ab dauerte in den vergangenen 450.000 Jahren allerdings immer mehrere tausend Jahre.



Entwicklung des CO_2 - und des CH_4 -Gehalts, sowie der Temperatur der letzten 450.000 Jahre
Quelle: Hansen, 2005

Info

Zum Diagramm

Wer will, der versteht, dass diese drei Kurven unweigerlich miteinander gekoppelt sind. Egal ob CO_2 , Methan oder Temperatur zuerst ansteigen, die anderen beiden ziehen nach – das zeigt der Blick auf die letzten 450.000 Jahre. Diese Daten wurden aus dem Vostok-Eisbohrkern aus der Antarktis gewonnen. Ganz rechts im Diagramm sind die letzten 150 Jahre abgebildet. Wer diese Abweichungen als natürliche Schwankungen interpretiert, sollte mit dieser Mappe noch einmal von vorne beginnen.

Ergebnisse der Klimaforschung

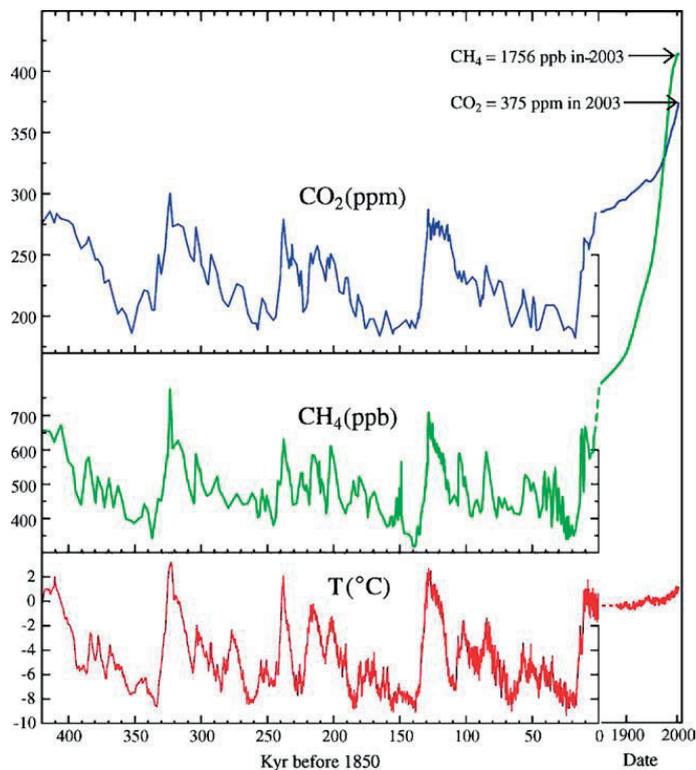
Überlege dir Folgendes:

Was passiert, wenn eine der Kurven ansteigt, mit den anderen beiden?

Wo sind die letzten Eiszeiten angesiedelt?

Was glaubst du, wird mit der Temperaturkurve in den nächsten Jahren passieren?

Für extreme Profis: Welche Prozesse könnten für das Sinken der Kurven verantwortlich sein (Tipp: wie entsteht Erdöl?)?



Quelle: Hansen, 2005

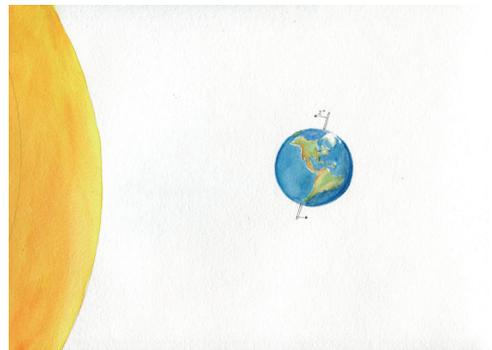
Ziel

Verstehen, dass diese Kurven aneinander gekoppelt sind und überlegen, welche Prozesse hinter einem Anstieg bzw. einem Sinken von Temperatur, Kohlendioxid- und Methangehalt stecken können.

Klimafaktoren

Beschreibe, wie die verschiedenen Faktoren das Klima beeinflussen!









Ziel

Die Schüler sollen erkennen, dass das Klima nicht nur vom Gasgehalt in der Atmosphäre verändert werden kann, sondern auch weitere Ereignisse die Situation in der Atmosphäre – mitunter schlagartig – verändern können.