Gabriel | Gort | Grabherr | Ritter | Stadelmann

Bildungsmappe Klima

Die Zukunft braucht das Wissen und die Vernunft der Gegenwart

Herausgeber:
inatura
Natur, Mensch und Technik erleben

Mit Unterstützung durch:
AWI ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG

Impressum
Herausgeber: inatura Erlebnis Naturschau GmbH, 6850 Dornbirn, Österreich
Idee, Konzept und Projektleitung: Beat Grabherr
Texte: Dominik Gabriel, Mathias Gort, Beat Grabherr, Elisabeth Ritter, Susanne Stadelmann
Zeichnungen: Andrea Nagl
Titelbild und Sketchnotes: Mathias Witschuinig
Layout und Satz: Mathias Witschuinig
Druck: Jochum Druck
Mit freundlicher Unterstützung durch das Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven

Dornbirn 2018
ISBN: 978-3-902271-10-5

Vorwort

Unsere Atmosphäre erwärmt sich immer schneller und die Ursachen dafür liegen seit Jahren auf der Hand. Auch die Folgen werden immer offensichtlicher. Dennoch ist der Informationsstand teilweise erschreckend niedrig. Dies liegt unter anderem auch daran, dass für das Verständnis der mitunter komplexen Zusammenhänge eine Vernetzung von Basiswissen aus den Bereichen der Chemie, der Biologie, der Physik und auch der Geografie nötig ist. Die Trennung dieser Fächer in den mitteleuropäischen Bildungssystemen und die knappen Zeitressourcen führen dazu, dass das gesamte Thema nur selten vernetzt im Unterricht bearbeitet werden kann.

Da sich die Ausbildungswege mit 14 Jahren in verschiedenste Richtungen trennen, muss es ein Ziel sein, die zentralen Grundlagen bis zu diesem Alter flächendeckend zu vermitteln. Der Planet braucht junge Menschen, die in der Lage sind, sich auf der Basis von Wissen – und nicht von Glauben – ein Bild zu machen und Entscheidungen zu treffen.

Wir hoffen, mit diesen Arbeitsunterlagen für Lehrkräfte einen Beitrag dazu leisten zu können.

Unsere jahrelange Erfahrung in der Vermittlung hat uns gezeigt, wo die Knackpunkte für das Verständnis dieser komplexen Zusammenhänge bei Kindern und Jugendlichen liegen. Dies hat uns dazu motiviert, die Inhalte möglichst klar zu übersetzen und zu Papier zu bringen.

Wir haben versucht, die Inhalte für verschiedene Altersstufen aufzubereiten. Einmal für Einsteiger bis ca. 10 Jahre, für Fortgeschrittene bis etwa 14 Jahre, sowie für Profis, die etwas tiefer hinter die Kulissen blicken wollen.

Dadurch kommt es zwangsweise zu inhaltlichen Wiederholungen – aber Wiederholen soll in der Bildung ja nicht schaden.

Auf der Internetseite www.klimaseite.at finden Sie die Mappe im PDF-Format zum Download.

Beispielseite

Hauptüberschrift

Verwendung der Bildungsmappe
Die vorliegende Mappe ist für drei Schwierigkeitsgrade konzipiert. Für die Jüngsten ist der Text größer gehalten und die Inhalte sind so knapp wie nur irgend möglich formuliert. Sollten Sie diese Alterstufe unterrichten, suchen Sie bitte unsere Seiten für die „Einsteiger". Die Seiten können einzeln entnommen werden und sind nicht zwingend aufeinander aufbauend. Allerdings wird die Einhaltung der Reihenfolge für das Grundverständnis sehr empfohlen.

Unterrichten Sie ältere Schüler, so orientieren Sie sich bitte an unseren Seiten für „Fortgeschrittene". Unsere „Profiseiten" liefern die nötigen Hintergrundinformationen bzw. sind für die sehr Interessierten gedacht. An den Enden der Kapitel sind mitunter Versuche, Rollenspiele oder Arbeitsblätter positioniert, die bei der Vertiefung und Wiederholung unterstützen sollen.

Die gesamte Bildungsmappe gibt es auch unter www.klimaseite.at im PDF-Format zum Download. Ein müheloser Ausdruck der Unterlagen für die Schüler ist damit gewährleistet.

Fragen, Wünsche und Anregungen sind unter mappe@klimaseite.at immer willkommen.

Viel Erfolg bei der Wissensvermittlung –
es ist wichtig!

Danke!

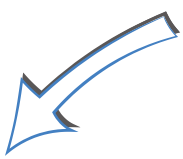
Info

Infoboxen
In den Infoboxen finden sich nähere Erläuterungen zu Diagrammen und Abbildungen, Zusatzinformationen zum jeweiligen Thema, sowie Verweise auf vertiefende Quellen, Webseiten und Literatur.

Ziel

In den rosa Didaktikboxen gibt es Hinweise auf Ziele oder mögliche Vermittlungshürden.

Farblicher Kapitelmarker



Schwierigkeitsgrad

Inhaltsverzeichnis

01: Prinzip
Warum erwärmt sich die Erde? 4

02: Ursachen
Welche Gase sind verantwortlich? 18

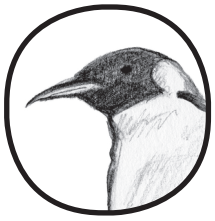
03: Folgen
Welche Veränderungen drohen? 32

04: Gegenmaßnahmen
Was lässt sich dagegen unternehmen? 48

05: Klimaforschung
Woher stammen bisherige Erkenntnisse? 60

06: Geoengineering
Kann man das Klima „reparieren“? 72

Chat



Hey Pingu, was geht ab am Südpol?

Yo, Icy, Eisberge gehen ab.

Eisberge gehen ab?!?! 😱

Ja wirklich, gerade gestern ist einer direkt vor meinen Augen ins Wasser gefallen. 🙊

Cool!

Eigentlich nicht wirklich cool… Ich hab das Gefühl, hier wird's immer wärmer. Vielleicht gehen die Eisberge ja darum baden.

Krass, hier am Nordpol jagt auch ein Temperaturrekord den anderen. Aber egal, mein Opa hat gesagt, es war früher auch schon mal warm.

Naja, also mich lässt das nicht so kalt. Ich will nicht, dass uns die Eisschollen unterm Hintern wegschmelzen 😉

Hast eh recht. Eigentlich schon komisch. Lass uns dem mal auf den Grund gehen. Ich will wissen, wieso es wärmer wird.

Ok Alter, dem geh ich nach. Hab eh nichts zu tun im arktischen ☃ Winter. Ich les mich mal rein.

Passt. Halt mich auf dem Laufenden.

Mach ich. Schönen Sommer ☀

01 Prinzip

Warum erwärmt sich die Erde?

Woraus besteht unsere Atmosphäre?

Wie hat sich der CO_2-Gehalt verändert?

Worin liegt der Unterschied zwischen Wetter und Klima?

Wieso wird unsere Erde immer wärmer?

Wie funktioniert der Treibhauseffekt?

Was ist der Albedo-Effekt?

Was ist der natürliche Treibhauseffekt?

Die Lufthülle der Erde

Die Lufthülle unserer Erde nennt man Atmosphäre. Sie besteht aus unzähligen Gasteilchen. Den größten Anteil machen dabei die Gase Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) aus.

Daneben enthält unsere Luft noch Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und sogenannte Edelgase.

Die für uns wichtigste Schicht der Atmosphäre reicht bis in eine Höhe von etwa 10-15 km. Sie enthält etwa 90 % aller Gasteilchen und wird Troposphäre genannt.

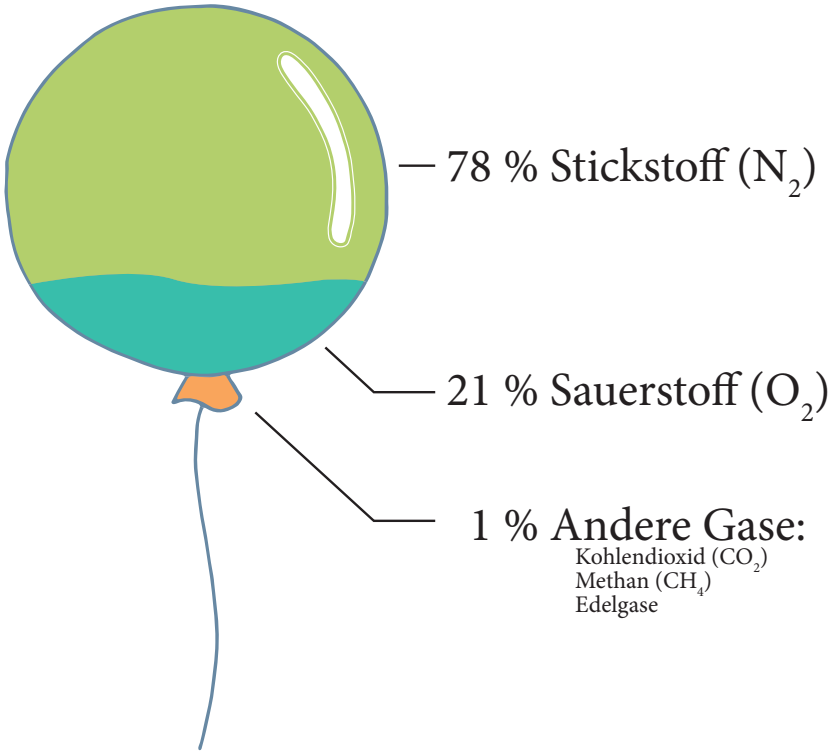
Info

Gasteilchen
Wenn man sich in den Wind stellt oder sich mit der Hand Luft zufächert, spürt man diese Gasteilchen im Gesicht. Auf dem Mond, der keine Atmosphäre hat, würde man nichts spüren.

Die Lufthülle der Erde

Unsere Atmosphäre besteht zu etwa 78 % aus Stickstoff (N_2), etwa 21 % aus Sauerstoff (O_2) und nur zu etwa 1 % aus anderen Gasen. Dazu zählen z.B. Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) oder Edelgase. Diese Gase werden auch als „trockene Luft“ der Atmosphäre bezeichnet.

Daneben sehen wir am Himmel aber auch Wolken. Sie bestehen aus Wasserdampf. Dieser wird in die Zusammensetzung der „trockenen Luft“ der Atmosphäre nicht eingerechnet. Der Gehalt schwankt, macht im Extremfall aber bis zu 4 % aus. Der gesamte Wasserdampf befindet sich in der Troposphäre, die deshalb auch Wetterschicht genannt wird. Sie reicht in eine Höhe von ca. 10-15 km.



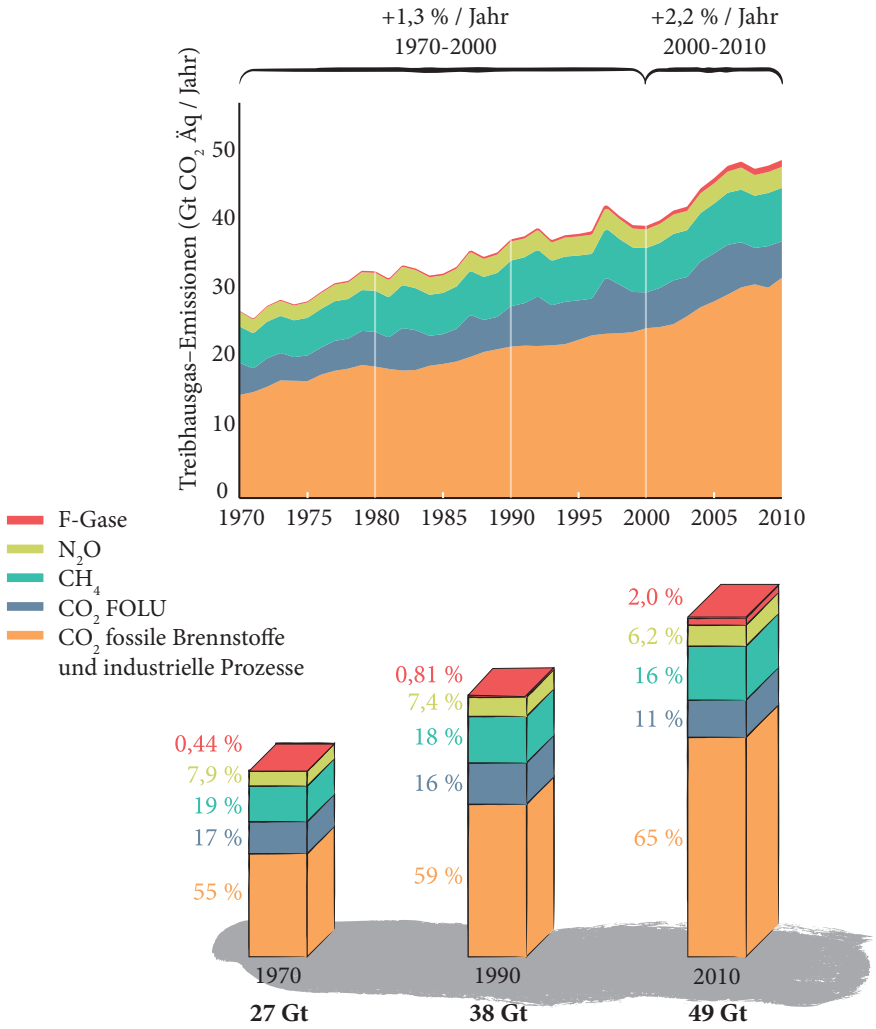
Info

Ein Liter Luft
1 l Luft entspricht 1.000 ml. Davon sind etwa 780 ml N_2, 210 ml O_2 und nur ca. 10 ml andere Gase, wie z.B. CO_2, CH_4 oder Edelgase.

Treibhausgase in der Atmosphäre

Forscher konnten durch die Analyse von Eisbohrkernen aus der Antarktis den CO_2-Gehalt von über 800.000 Jahren rekonstruieren. Er lag in Warmphasen bei etwa 300 ppm, während der Eiszeiten in diesem Zeitraum bei etwa 200 ppm. Im Zuge der industriellen Revolution haben wir vermehrt damit begonnen, auf fossile Rohstoffe wie Kohle und Öl zurückzugreifen, weil diese mehr Energie liefern als das bis dahin verwendete Holz. Seither steigt der CO_2-Gehalt kontinuierlich an. 2015 überschritt der durchschnittliche CO_2-Gehalt weltweit erstmals die Marke von 400 ppm.

Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgas-Emissionen nach Gruppen von Gasen 1970-2010



Info

ppm und ppb

Die Abkürzungen stehen für „parts per million", also Teilchen pro Million, bzw. für „parts per billion", also Teilchen pro Milliarde. Das klingt zwar auf den ersten Blick wenig, allerdings nur, wenn man keine Vorstellung davon hat, wie unglaublich viele Teilchen z.B. in einem Liter Luft wirklich enthalten sind. Betrag in Worten: In 1 l Luft sind 26,8 Trilliarden Gasteilchen, davon sind etwa 10,7 Trillionen CO_2-Moleküle. Das sind etwa 3 Trillionen CO_2-Moleküle in jedem Liter Luft mehr als um 1900. Und jedes von ihnen ist in der Lage, Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückzuhalten.

Info

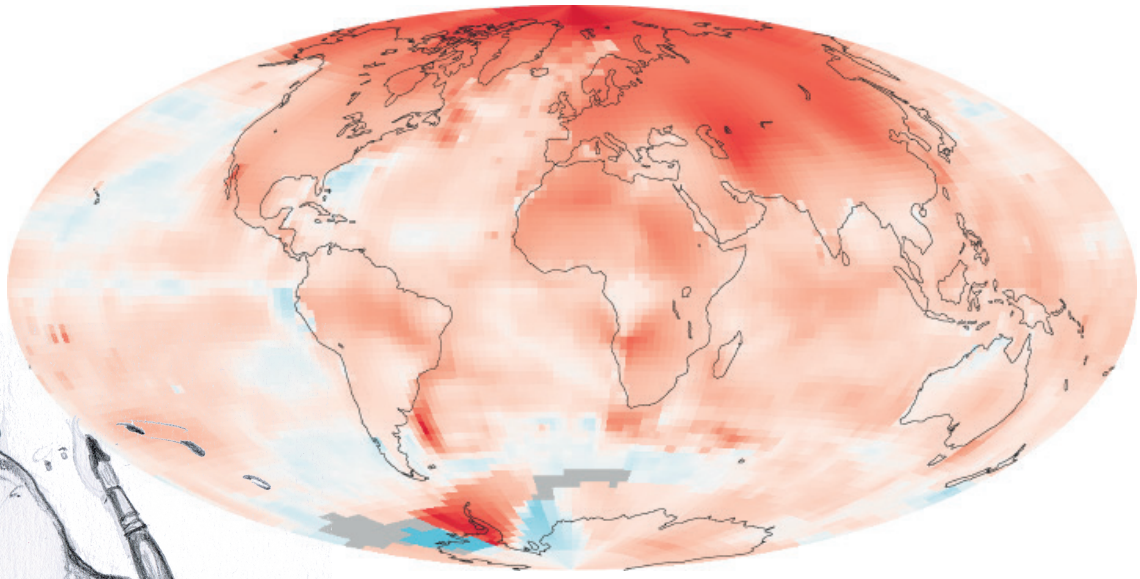
Zum Diagramm

Das Diagramm aus dem IPCC-Bericht (Intergovernmental Panel on Climate Change) von 2014 zeigt die vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen seit 1970 in Gigatonnen/Jahr. Die Abkürzung FOLU bezieht sich auf CO_2-Emissionen aus Forstwirtschaft und Landnutzung.

Wetter versus Klima

Das Wetter beschreibt Merkmale wie etwa die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und den Wind an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit. Es beschreibt also eine Momentaufnahme der Atmosphäre.

Das Klima einer Region hingegen wird davon bestimmt, wie sich Temperatur oder Niederschläge über einen längeren Zeitraum – z.B. 30 Jahre – verhalten. Werden diese Wetterelemente also über mehrere Jahrzehnte oder Jahrhunderte beobachtet, so kann festgestellt werden, ob sich z.B. die Anzahl der Frosttage, die Niederschlagsmengen oder die Temperaturen ändern.



Info

Zur Grafik
Aufzeichnungen über längere Zeiträume helfen dabei, Veränderungen zu erkennen. Die Grafik des Goddard-Instituts der NASA zeigt die Temperaturänderung in den Jahren 2000-2009 im Vergleich zu den Durchschnittstemperaturen aus dem Zeitraum von 1951-1980. Rote Bereiche zeigen, wo es wärmer, blaue, wo es kälter wurde.

Wetter versus Klima

Wetter- und Klimadaten werden mittlerweile von unzähligen Stationen weltweit erhoben. Dokumentiert werden Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windstärke und Niederschlag.

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts werden auch zunehmend die Konzentrationen der Treibhausgase erfasst. Den Anfang machten dabei Charles David Keeling und Roger Revelle, die 1958 auf Hawaii damit begannen, den CO_2-Gehalt der Atmosphäre kontinuierlich zu erfassen. Mittlerweile werden die Treibhausgase auch vom Weltraum aus überwacht. Satelliten liefern aktuelle Daten zur Verteilung und Konzentration von Treibhausgasen wie CO_2 und CH_4. Die Klimaforschung bekommt dadurch eine bessere Datenbasis für die Abschätzung künftiger Szenarien.

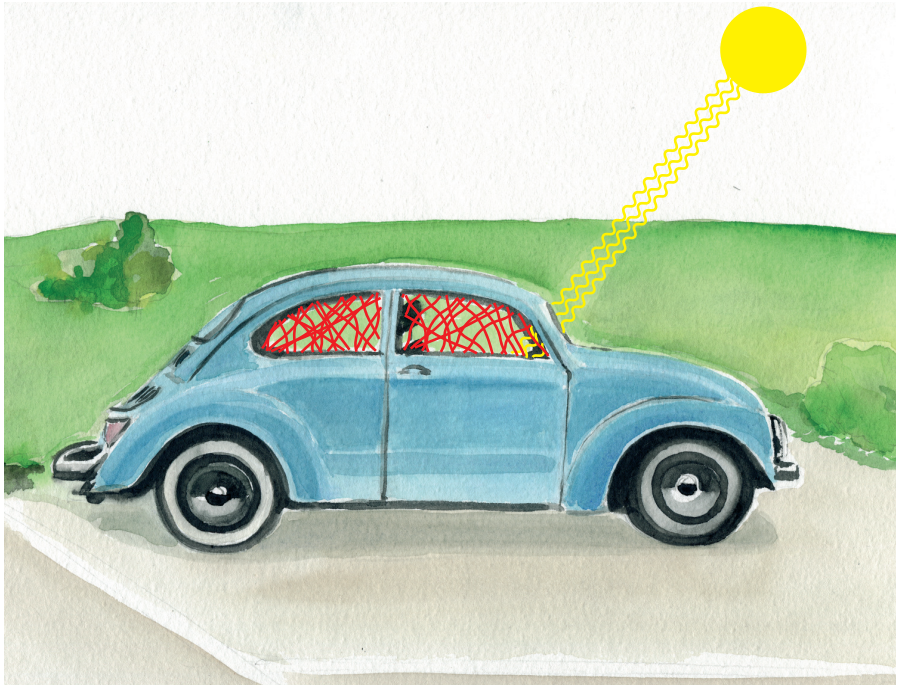
Die 1970 in den USA gegründete NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sowie die WMO (World Meteorological Organization) der Vereinten Nationen sind wichtige Institutionen für die Dokumentation weltweiter Wetter- und Klimadaten.

Der von den Vereinten Nationen und der WMO 1988 ins Leben gerufene „Weltklimarat“ (Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC) hat die Aufgabe, Erkenntnisse der Klimaforschung zusammenzutragen, künftige Risiken einer globalen Erwärmung einzuschätzen sowie Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Etwa alle sechs Jahre werden neue Sachstandsberichte des IPCC veröffentlicht und sollten dann als Handlungsgrundlage für die politischen Entscheidungsträger dienen.

Das Prinzip der Erderwärmung

Das Licht der Sonne erwärmt unsere Erdoberfläche. Je dunkler eine Fläche, desto mehr Wärme entsteht dabei. Manche Gase wie Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) in der Lufthülle unserer Erde können diese Wärme zurückhalten.

Dadurch erhitzt sich die Atmosphäre. Je mehr dieser Gasteilchen in der Atmosphäre sind, desto heißer wird es auf der Erde.



Info

Licht in Wärme
Am besten verstehen lässt sich die Umwandlung von Licht in Wärme bei einem Auto, das an der Sonne steht. Das Licht wird auf den Oberflächen im Auto in Wärme umgewandelt. Diese kommt durch das Glas nicht mehr hinaus. Ganz so extrem wie die Glasscheiben beim Auto machen das die Gase in der Atmosphäre nicht, aber es reicht aus, um unseren Planeten zu erwärmen…

Didaktik

Es hat sich gezeigt, dass sich häufig die falsche Annahme entwickelt, dass die Treibhausgase in der Atmosphäre eine Schicht bilden. Es empfiehlt sich, darauf hinzuweisen, dass die Gase über die ganze Atmosphäre verteilt sind. Es wird auch nicht die gesamte Wärmestrahlung zurückgehalten, sondern nur ein Teil davon.

Das Prinzip der Erderwärmung

Beim Licht der Sonne handelt es sich um kurzwellige Strahlung. Trifft dieses Licht auf die Erdoberfläche, wird es in Wärme (langwellige Strahlung) umgewandelt. Ein Teil dieser Wärmestrahlung gelangt zurück ins Weltall. Ein anderer Teil wird von verschiedenen Gasen (Wasserdampf H_2O, Kohlendioxid CO_2, Methan CH_4 oder Lachgas N_2O) in der Atmosphäre zurückgehalten und erwärmt diese. Je mehr dieser Gase in der Atmosphäre sind, desto wärmer wird es auf der Erde.

Die Gasteilchen haben somit eine ähnliche Wirkung wie die Glasscheiben bei einem Treibhaus, weshalb man bei der Erderwärmung auch vom „Treibhauseffekt“ spricht.

Info

Prinzip
So kann man sich die Wirkung von Treibhausgasen vorstellen. Das kurzwellige Licht wird auf der Oberfläche in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Diese wird teilweise von Treibhausgasen am Austritt ins Weltall gehindert. Je mehr dieser Treibhausgasteilchen in der Luft sind, desto wärmer wird es.

Das Prinzip der Erderwärmung

Beim sichtbaren Licht der Sonne handelt es sich um kurzwellige elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von etwa 380-780 Nanometern. Trifft dieses Licht auf die Erdoberfläche, wird es, je nach Farbe der Oberfläche, teilweise in Wärmestrahlung umgewandelt. Dabei handelt es sich ebenfalls um elektromagnetische Strahlung, aber mit größeren Wellenlängen. Diese Wärmestrahlung wird von manchen Gasen unserer Atmosphäre am Austritt ins Weltall gehindert und erwärmt somit die Atmosphäre.

Je dunkler die Oberfläche, desto mehr Wärmestrahlung entsteht, je heller, desto weniger – man spricht dabei vom Albedo-Effekt. Weiße Eisflächen beispielsweise lassen fast keine Wärmestrahlung entstehen. Der Großteil der einfallenden kurzwelligen Strahlung wird dort direkt wieder als solche in Richtung Weltall reflektiert. Je mehr weiße Flächen ein Planet hat, desto kühler ist er, je weniger, desto wärmer.

Der Wasserdampf (H_2O) und z.B. das natürlich in der Atmosphäre vorkommende Kohlendioxid (CO_2) sorgen für einen natürlichen Treibhauseffekt. Ohne diesen würde die Durchschnittstemperatur der bodennahen Luft auf der Erde etwa -18° C betragen. Durch die Wirkung des natürlichen Treibhauseffekts in der Atmosphäre haben wir eine angenehme Durchschnittstemperatur von etwa +15° C.

Der natürliche Treibhauseffekt wird allerdings durch den Ausstoß von Gasen wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKWs) verstärkt.

Info

Wirkung von Treibhausgasen
Die Wirkung von Treibhausgasen lässt sich am Beispiel unseres Mondes gut verstehen. Dieser hat keine Atmosphäre und daher keine Gasteilchen, welche die Wärme zurückhalten könnten. Eine Oberflächentemperatur von durchschnittlich -55° C ist die Folge, obwohl er etwa gleich weit von der Sonne entfernt ist wie unsere Erde und somit gleich „warm“ sein müsste. Interessant ist auch, dass aufgrund der fehlenden Atmosphäre die Temperaturunterschiede auf dem Mond zwischen Tag (120° C) und Nacht (-150° C) viel extremer sind als auf der Erde.

Das Prinzip des Treibhauseffekts

Beschreibe dieses Bild in eigenen Worten

Ziel

Auf dem Arbeitsblatt sind wichtige Faktoren der Erderwärmung wie Treibhausgase und die Umwandlung von kurzwelliger Strahlung in langwellige Wärmestrahlung dargestellt. Im Anschluss an das Formulieren in eigenen Worten kann ein gemeinsamer Text zum Treibhauseffekt ausformuliert werden.

Wetter und Klima stellen sich vor

Ziel

Die beiden Begriffe Wetter und Klima werden oft falsch verwendet. Für eine Diskussion über Klimawandel ist der Unterschied wichtig.

Material
Statements von Wetter und Klima

Wetter
Ich würde sagen, ich lebe eher im Moment. Mir ist es wichtig, dass jeder mich unmittelbar wahrnehmen kann. Egal, was einmal war oder was einmal kommt. Es geht um das Jetzt! Und um den Ort, von dem aus man mich betrachtet. Ich bin sozusagen ein Schnappschuss der Atmosphäre. Mal bin ich regnerisch unterwegs, mal sehr windig und manchmal einfach nur sehr heiß.

Klima
Ich würde mich doch als etwas kompliziert charakterisieren. Will man mich verstehen und beschreiben, muss man ziemlich viele Faktoren berücksichtigen. Zum einen wären da Dinge wie Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte, Temperatur und Luftdruck, zum anderen aber auch Sachen wie Niederschlag, Verdunstung, Strahlung und Wind. Diese ganzen Daten müssen über mindestens 30 Jahre beobachtet werden, um mich genau beschreiben zu können. Ein wichtiges Hilfsmittel, um mich wirklich gut zu verstehen, ist der monatliche Mittelwert der Temperatur und die monatliche Niederschlagssumme. Von den beiden kann man die Jahresmitteltemperatur und die Jahresniederschlagssumme ableiten.

Treibhauseffektspiel 1/2

Ziel

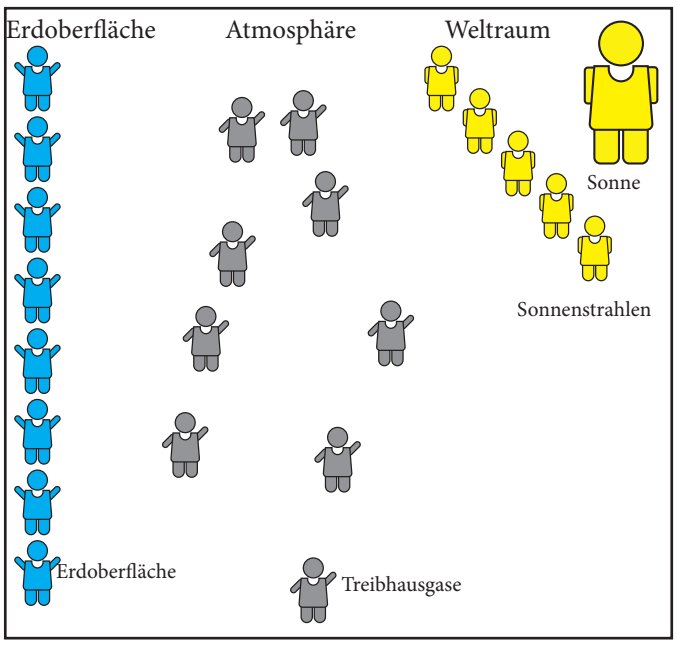
Die Kinder lernen, wer am Treibhauseffekt beteiligt ist. Es wird der Unterschied zwischen kurzwelliger Sonnenstrahlung und langwelliger Wärmestrahlung gezeigt. Es kann erklärt werden, was die Farbe der Erdoberfläche für eine Bedeutung bei der Umwandlung der kurzwelligen Sonnenstrahlung in langwellige Wärmestrahlung hat. Zudem erkennen die Schüler die Rolle der Treibhausgase.

Rollen

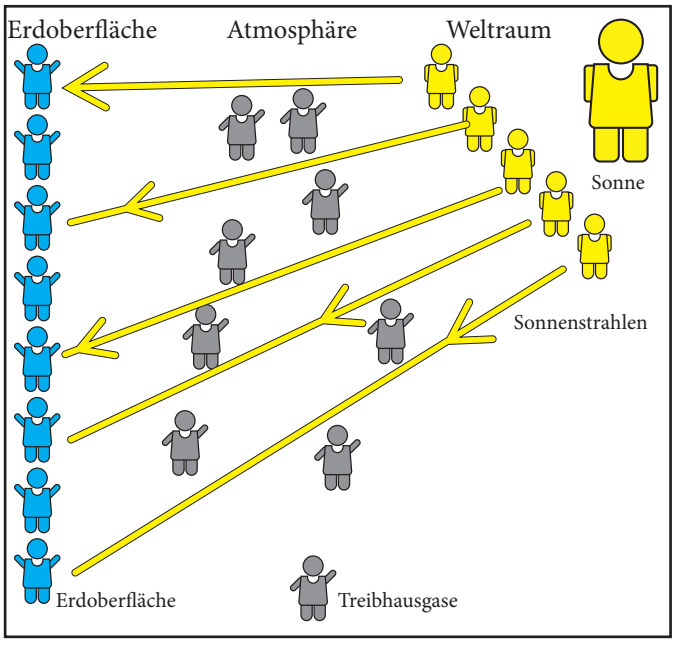
- 1 Sonne
- einige Sonnenstrahlen
- mind. 5 Treibhausgase (CO_2, CH_4, H_2O, N_2O, FCKW)
- Erdoberfläche: Je nach Klassengröße können sich einige Kinder als Erdoberfläche an der Hand halten

Start

Die Kinder stellen sich, wie in der Startaufstellung dargestellt, auf.
Wichtig: Die Treibhausgase sollen nicht in einer Linie stehen, damit die Kinder nicht die Vorstellung einer „Treibhausgasschicht“ erhalten!

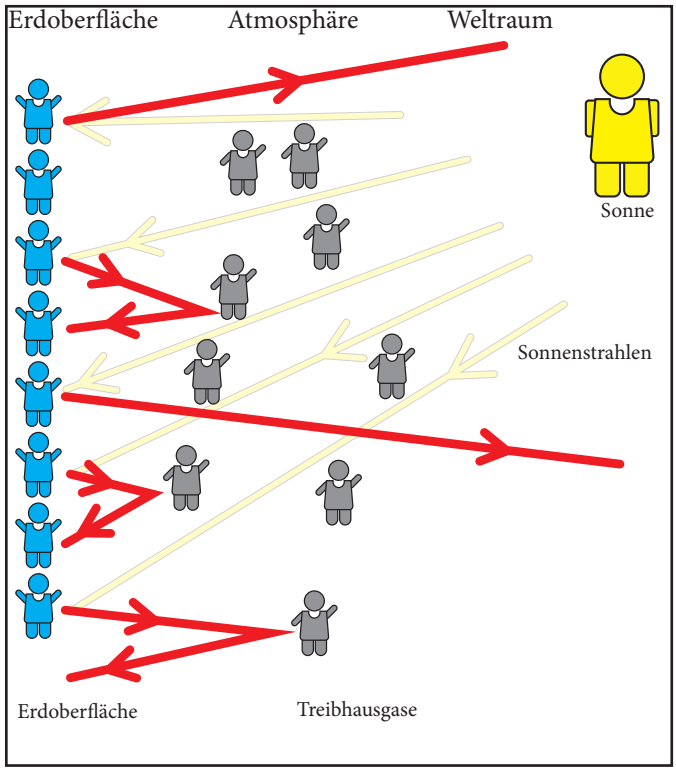


Startaufstellung



Schritt 1: Die kurzwelligen Sonnenstrahlen machen sich ganz dünn und wandern Richtung Erdoberfläche. Die Treibhausgase lassen sie einfach durch. Kurzwellige Sonnenstrahlen erreichen die Erdoberfläche.

Treibhauseffektspiel 2/2



Schritt 2: Kurzwellige Strahlen werden als langwellige Wärmestrahlung reflektiert.

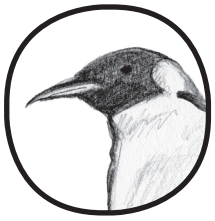
Die kurzwellige Sonnenstrahlung wird auf der Erdoberfläche in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Die Kinder machen sich jetzt ganz breit, strecken ihre Arme aus und wandern wieder Richtung Sonne. Die „dicken" Wärmestrahlen werden, wenn sie ein Treibhausgas berühren, wieder Richtung Erdoberfläche zurückgeschickt. Ein paar Wärmestrahlen kommen durch und wandern in den Weltraum.

Fragen an die Schüler
Was würde passieren, wenn keine Treibhausgase da wären?
Die ganze Wärmestrahlung würde in den Weltraum reflektiert werden und es wäre viel kälter auf der Erde (-18° C).

Was passiert, wenn viele Treibhausgase in der Atmosphäre sind?
Mehr Wärmestrahlung wird zurückgehalten und es wird immer wärmer.

Auch diese beiden Szenarien können nachgespielt werden. In Szenario 1 werden keine Treibhausgase aufgestellt und die Wärmestrahlung kann ungehindert in den Weltraum entweichen. In Szenario 2 werden mehr Treibhausgase aufgestellt und mehr Wärmestahlung wird zurückgehalten. Nur wenige Strahlen gelangen in den Weltraum.

Chat



Von mir sind nur ganz wenige, darauf kannst du einen lassen 😉 Aber stimmt, wer bläst denn die vielen Gase in die Luft? 💨

Ok. An die Arbeit.

Ui, gute Frage. Ich schreib dir, sobald ich eine Antwort habe.

Ok. Jetzt hab ich das Prinzip kapiert. Mehr Treibhausgas – mehr Wärme 🔥📈. Jetzt stellt sich die Frage, wo die ganzen Gase herkommen?

Puh, keine Ahnung. Das finden wir heraus! Irgendwoher müssen die ja kommen.

Du… noch was. Die ganze Atmosphäre besteht doch aus Gasen – wieso führen manche zur Erwärmung und andere nicht?

Passt. Gib Gas!

02

Ursachen

Welche Gase sind verantwortlich?

Welche Gase erwärmen die Erde?

Wie entsteht Kohlendioxid?

Welche Rolle spielt Kohlendioxid?

Wie entstehen Lachgas und Methan?

Welche Rolle spielen Lachgas und Methan?

Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Welche Rolle spielt der Wasserdampf?

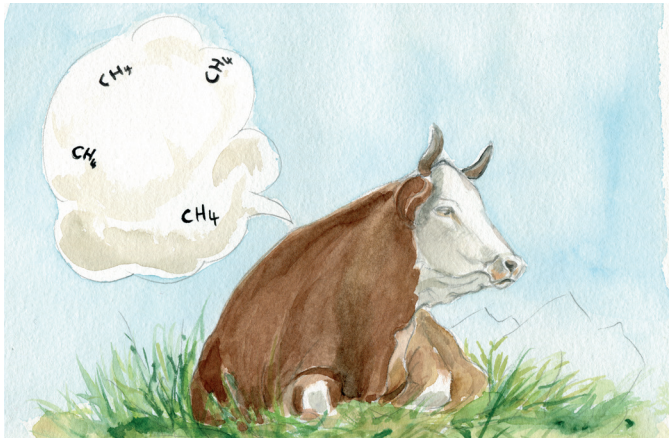
Welche Gase erwärmen die Erde?

Unsere Erde besteht aus festem Material, wie Gesteinen, aus flüssigem, wie Wasser, und aus den Gasen in der Luft. Die Luft ist eine Mischung aus verschiedenen Gasen, die alle unterschiedliche Eigenschaften haben.

Manche von diesen Gasen können Wärme in der Atmosphäre zurückhalten. Man bezeichnet sie deshalb als Treibhausgase. Dazu gehören z.B. Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4).

Info

Kohlendioxid (CO_2)
entsteht z.B., wenn man Gas, Kohle, Öl oder Benzin verbrennt. Das machen wir etwa zur Stromerzeugung in vielen Kraftwerken oder in den Motoren von Autos, Flugzeugen und Schiffen.



Info

Methan (CH_4)
entsteht, wenn Wiederkäuer wie Kühe ihre Nahrung verdauen. Mit ihren Blähungen stoßen sie das Gas aus. Viel Methan entsteht auch beim Reisanbau, wenn die abgeernteten Reispflanzen im Wasser verrotten.

Die Entstehung von Kohlendioxid

CO_2 entsteht immer, wenn man organisches Material verbrennt. Als organisch bezeichnet man alles, was lebt oder einmal gelebt hat. Also Holz, Kohle, Gas, unsere Nahrungsmittel und vor allem die Erdölprodukte, wie etwa Benzin, Diesel, Kerosin oder Heizöl.

Man bezeichnet Kohle, Erdgas und Erdöl auch als fossile Brennstoffe, weil sie sich über Jahrmillionen aus abgestorbenen Tieren und Pflanzen gebildet haben. Auch bei der Zersetzung von toten Tieren und Pflanzen entsteht CO_2.

Am meisten CO_2 erzeugen wir Menschen bei der Stromerzeugung in Kohle- und Gaskraftwerken. Sehr viel CO_2 entsteht auch bei der Verbrennung von Treibstoffen, vor allem in Flugzeugen, LKWs und PKWs. Ein großer Teil des CO_2 kommt auch durch die Brandrodung von Regenwäldern in die Atmosphäre.

Daneben kommen noch das Heizen unserer Wohnräume sowie der Konsum von Gütern hinzu. Für jedes Produkt, das wir in Händen halten, wurde CO_2 ausgestoßen – sei es in der Herstellung oder beim Transport.

Die Bedeutung von Kohlendioxid

Würde man einer Eiche über die Gefährlichkeit von CO_2 erzählen, würde diese wohl verständnislos die Krone schütteln, schließlich handelt es sich dabei ja um das „Hauptnahrungsmittel“ aller grünen Pflanzen. Diese nehmen das Gas über Spaltöffnungen auf und „basteln“ daraus mit Wasser und der Energie des Sonnenlichts im Rahmen der Fotosynthese das Molekül Glucose ($C_6H_{12}O_6$), welches dann in der Pflanze z.B. zu Holz oder Stärke weiterverarbeitet wird.

Der natürliche Kreislauf würde vorsehen, dass Pflanzen CO_2 aufnehmen und Tiere (infolge des Pflanzenfressens) das CO_2 wieder ausatmen. In einem Gleichgewicht würde das entstandene CO_2 daher von Pflanzen wieder aufgenommen und sich nur zu einem geringen Teil in der Atmosphäre anreichern. Wenn aber die Verbrennungsprozesse und Zersetzungsvorgänge überwiegen und Waldflächen, die das Gas aufnehmen, weniger werden, reichert sich das CO_2 in der Atmosphäre an. In Phasen, in denen Erdöl entsteht, sinkt hingegen der CO_2-Gehalt, weil der Kohlenstoff der Pflanzen am Meeresgrund gespeichert wird. CO_2 ist ein zentrales Molekül auf unserer Erde. Es ist anorganisch, wird jedoch von Pflanzen in organisches Material umgewandelt, bei deren Zersetzung oder Verbrennung es wieder als CO_2 in die Atmosphäre gelangt.

Brandrodungen
Weltweit werden nach wie vor täglich große Waldflächen durch Brände zerstört. Dies ist doppelt negativ, weil beim Verbrennen Unmengen an CO_2 entstehen und gleichzeitig Flächen verloren gehen, die in der Lage wären, CO_2 aufzunehmen und langfristig zu binden.

Stromerzeugung
Ein Großteil der jährlich vom Menschen verursachten Treibhausgase geht auf das Konto der Stromerzeugung in Kohle-, Öl- und Gaskraftwerken. Seit 1970 hat sich der Stromverbrauch weltweit fast verdreifacht. Der größte Anteil dabei geht auf Kohlekraftwerke zurück, mit denen sich um etwa 3-5 Cent pro Kilowattstunde sehr „billiger“ Strom erzeugen lässt.

Mobilität: Individual-, Flug- und Güterverkehr
Die Treibhausgasproduktion aus Straßen-, Flug- und Schiffsverkehr macht ebenso sehr viel aus – die Herstellung von Benzin, Diesel und Kerosin mit eingerechnet. Auch hier hat sich der Wert seit 1970 fast verdreifacht. Dabei wäre durch effizientere Techniken viel einzusparen. Besonders schlecht schneiden Flugmeilen ab – hier wird sehr viel Treibstoff verbraucht, um verhältnismäßig wenige Menschen zu transportieren.

Privatbereich
Der private Konsum von Gütern sowie das Heizen unserer vier Wände trägt ebenfalls maßgeblich zur Freisetzung von CO_2 bei. Ein wichtiger Punkt ist das Heizmaterial – die schlechtesten Werte weisen Kohle, gefolgt von Strom, Öl und Gas auf. Gute Bilanzen erzielt man z.B. mit Erdwärme, Holz oder Pellets. Neben der Wahl des Heizmaterials ist vor allem auch der Sanierungsstand des Gebäudes entscheidend.

Die Entstehung von Methan und Lachgas

Methan (CH_4)
Wird organisches Material unter Sauerstoffmangel zersetzt, bildet sich Methan. Große Mengen von diesem Gas entstehen daher z.B. in den Mägen von Wiederkäuern, wie etwa Rindern, oder beim Reisanbau, bei welchem viele Pflanzenreste in sauerstoffarmem Wasser zersetzt werden.

Lachgas (N_2O)
Lachgas ist leider nicht so lustig, wie es klingt. Es entsteht beispielsweise durch die Aktivität von stickstoffbindenden Bakterien in Böden. Je stärker die Böden gedüngt werden, desto mehr Lachgas wird von den Bakterien gebildet. Intensive Düngung schadet somit über Umwege unserem Klima.

Die Bedeutung von Methan und Lachgas

Methan (CH_4)
Wir sollten unseren Kühen ihre Blähungen nun wirklich nicht vorhalten, aber der Stoffwechsel dieser Wiederkäuer macht Schätzungen zufolge mittlerweile etwa ein Drittel des gesamten Methanausstoßes weltweit aus. Sowohl Reis wie auch Rindfleisch sind Nahrungsmittel und somit bedeutet ein Anstieg der Bevölkerung auch eine Zunahme in der Produktion dieser Lebensmittel und somit einen Anstieg des Methanausstoßes.

Viel CH_4 ist auch in tieferen Bereichen der Meere als Methanhydrat gespeichert. Dabei handelt es sich um einen Feststoff, der unter hohem Druck entsteht. Erwärmt sich das Wasser in der Tiefe jedoch zu stark, kann dieses Methanhydrat in Wasser und Methangas zerfallen und in die Atmosphäre gelangen. Es handelt sich dabei um eine Rückkopplung – eine wärmere Atmosphäre bewirkt wärmere Meere. Dies fördert den Zerfall von Methanhydrat, was wiederum den Gehalt von Methan in der Atmosphäre erhöht.

Info

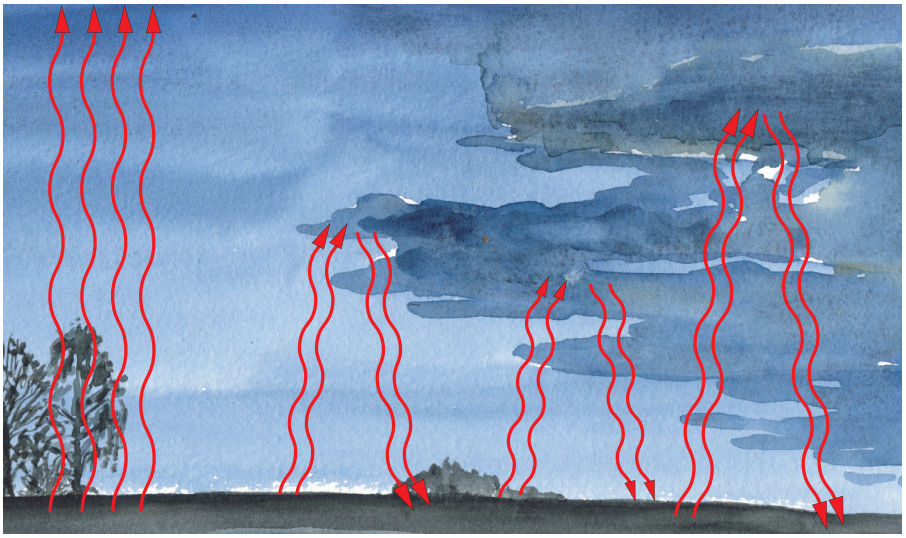
Land- und Forstwirtschaft
Hier entstehen große Mengen an Lachgas und Methan. Ihr Gehalt in der Atmosphäre ist zwar viel geringer als jener von CO_2, dafür ist ihre Wirkung aber umso stärker. Etwa 80 % des Lachgasgehalts in der Atmosphäre ist auf Landwirtschaft und Landnutzung zurückzuführen, beim Methan sind es etwa 50 %. Eine wachsende Weltbevölkerung erfordert auch Steigerungen in der landwirtschaftlichen Produktion, was eine Reduktion dieser Gase zusätzlich erschwert.

Lachgas (N_2O)
Lachgas ist in der Atmosphäre nur in sehr geringen Mengen enthalten, hat im Verhältnis zum CO_2 jedoch die etwa 300-fache Wirkung und ist somit nicht so lustig, wie es klingt. Lachgas entsteht durch stickstoffverarbeitende Bakterien in Böden. Dies vor allem dann, wenn durch intensive Düngung viel Stickstoff in die Böden eingetragen worden ist und die Temperaturen ansteigen.

Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Warum können manche Gasteilchen der Atmosphäre die Erde erwärmen und andere nicht? Das liegt am chemischen Aufbau dieser Moleküle. Sauerstoff- (O_2) und Stickstoffmoleküle (N_2) bestehen aus zwei Atomen desselben Elements. CO_2 hingegen besteht aus einem Kohlenstoff- und zwei Sauerstoffatomen, also aus drei Atomen von zwei verschiedenen Elementen. Dasselbe gilt für Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Wenn Gasmoleküle unterschiedliche Atome enthalten, dann können sie Wärmestrahlung in der Atmosphäre „auffangen". Wenn diese Wärmestrahlung nicht mehr von der Erde in den Weltraum gelangt, wird es dadurch auf der Erde wärmer. Je mehr von diesen Gasen sich in der Lufthülle befinden, desto wärmer ist es.

Auch die Größe der Teilchen sowie die Anordnung der Atome im Molekül spielen eine wichtige Rolle und entscheiden darüber, wie stark ein Molekül Wärme in der Atmosphäre halten kann. Ein Methanmolekül (CH_4) hält beispielsweise über den Zeitraum von 100 Jahren ca. 25-mal mehr Wärme in der Atmosphäre zurück als ein CO_2-Molekül.



Info

Wie wirkt ein Treibhausgas?
In einer sternenklaren Nacht wird es viel kälter als in einer bewölkten Nacht. Das liegt daran, dass auch der Wasserdampf (H_2O), aus dem die Wolken bestehen, Wärme zurückhalten kann. Auch die H_2O-Teilchen wirken daher als Treibhausgase und machen die Erde wärmer.

Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Bei den Gasteilchen in unserer Atmosphäre handelt es sich bei allen um Atombindungen (Moleküle) aus Nichtmetall-Elementen. Da es sich chemisch gesehen um Elemente handelt, die „zu wenig" Außenelektronen besitzen, müssen sie sich gemeinsame Elektronenpaare „teilen", um einen „glücklichen" Zustand zu erreichen.

Die Atome dieser Elemente halten daher zusammen – nicht etwa, weil sie sich so lieb haben, sondern weil keines der Atome bereit ist, die gemeinsamen Paare loszulassen. Wer loslässt, hätte schließlich verloren. Je nach Stellung im Periodensystem ist jedoch die Kraft, Außenelektronen an sich zu ziehen, bei verschiedenen Elementen unterschiedlich stark ausgeprägt. Das führt z.B. dazu, dass bei Molekülen, die aus verschiedenen Elementen bestehen (z.B. H_2O oder CO_2), die gemeinsamen Elektronenpaare näher bei einem der Elemente liegen (in dem Fall beim O) und sich ein Dipolmoment ausbildet oder sich die Molekülgeometrie charakteristisch ändert. Besonders ausgeprägt ist das z.B. beim Wassermolekül. Das H_2O hat einen Dipol und die Atome sind in einem Dreieck angeordnet, wobei der Winkel zwischen den beiden H-Atomen 104,5° beträgt.

Moleküle, die als Treibhausgas agieren, können Wärmestrahlung absorbieren. Ein Dipolmoment beziehungsweise eine Asymmetrie des Moleküls sind hier entscheidend. Denn diese Eigenschaften sorgen dafür, dass die Moleküle von Wärmestrahlung zu Schwingungen angeregt werden können. Wann immer das passiert, absorbiert ein Molekül ein kleines „Paket" Wärmestrahlung und verleibt sich dessen Energie ein. Die Atmosphäre wird dadurch sozusagen undurchlässiger für die Wärmestrahlung. Ein Teil der Wärmestrahlung wird also absorbiert und bleibt damit in der Atmosphäre gefangen, anstatt in den Weltraum zu gelangen – dies erwärmt die Atmosphäre.

Folgende Faktoren fördern die Tendenz eines Gasteilchens, Wärme in der Atmosphäre zurückzuhalten:

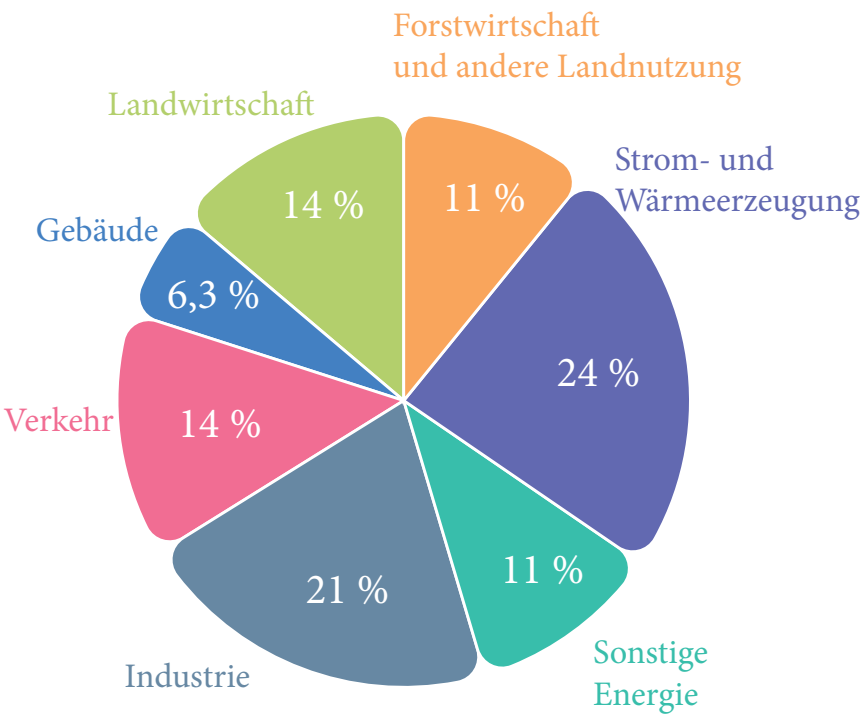
- Wenn es aus mindestens drei Atomen besteht
- Wenn es aus verschiedenen Elementen besteht
- Wenn ein Dipolmoment innerhalb des Moleküls vorliegt
- Wenn es verzweigt/gewinkelt ist

Die Hauptbestandteile unserer Atmosphäre, Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) erfüllen keines dieser Kriterien und können daher keine Wärme in der Atmosphäre zurückhalten.

Treibhausgase im Vergleich

Die Fähigkeit von CO_2, Wärme zurückzuhalten, wirkt im Vergleich zu jener anderer Gase eigentlich wie ein harmloses Schäfchen. Das Problem ist, dass Unmengen harmloser Schäfchen eben auch viel Mist produzieren – denn Kohlendioxid ist etwa 1.000-mal häufiger in der Atmosphäre vorhanden als Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Ein Methanmolekül (CH_4) hält über einen Zeitraum von 100 Jahren etwa 25-mal so viel Wärme in der Atmosphäre zurück wie ein CO_2-Molekül. Glücklicherweise zerfällt das Methanmolekül in der Atmosphäre innerhalb weniger Jahre zu CO_2. Ein Teilchen Lachgas (N_2O) hat etwa die 300-fache Wirkung und manche große Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff-Moleküle (FCKWs) können bis zu 15.000-mal so viel Wärme in der Atmosphäre zurückhalten wie ein CO_2-Molekül.

Das Global Warming Potential (GWP) gibt an, wieviel mehr an Wärme ein Gas im Vergleich zu CO_2 in der Atmosphäre zurückhält. GWP 100 bezieht sich dabei auf einen Zeitraum von 100 Jahren. Um verschiedene Treibhausgase miteinander vergleichen zu können, werden Methan und Lachgas in CO_2 Äquivalente umgerechnet.



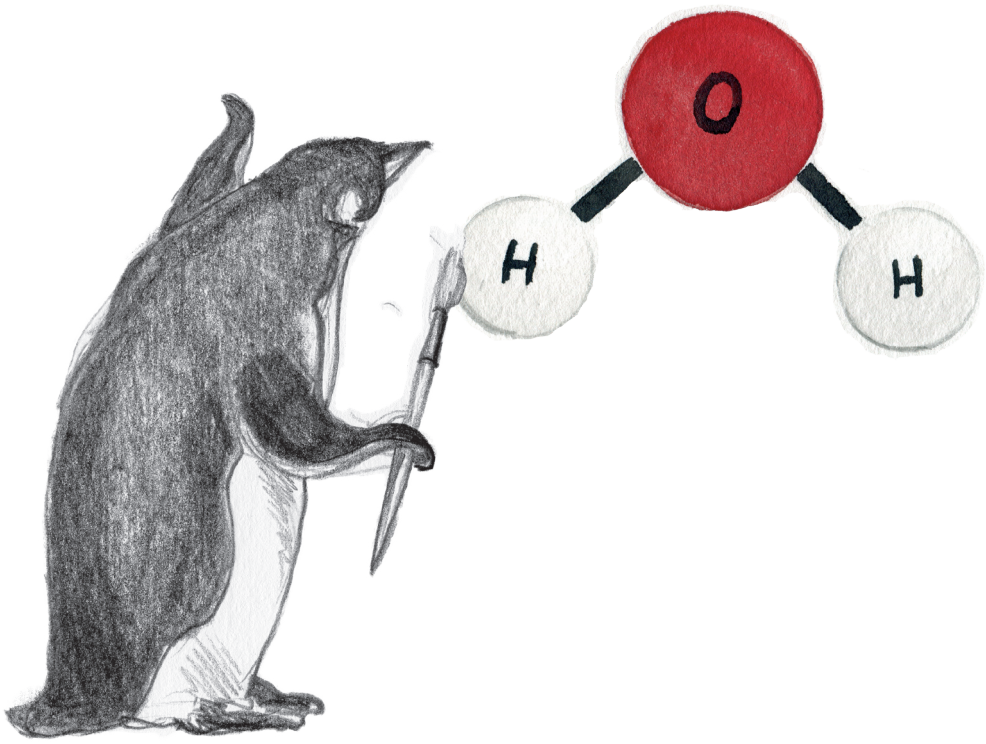
Info

Zum Diagramm
Die Herkunft der „menschlichen" Treibhausgasemissionen, zusammengefasst nach Sektoren. Strom und Wärme, die Herstellung von Produkten in der Industrie, Verkehr sowie Forst- und Landwirtschaft sind jene Bereiche, denen die meisten Treibhausgasemissionen zuzuschreiben sind. Eine Situation, die eine wachsende Weltbevölkerung nicht einfacher macht…
Quelle: IPCC, 2014

Rolle des Wasserdampfs

Wolken, Regen, Nebel und Wärme!
Der Wasserdampf (H_2O) spielt eine zentrale Rolle in unserer Atmosphäre. Hätten wir keinen Wasserdampf, so würde die Durchschnittstemperatur auf unserem Planeten bei etwa -18° C liegen. Mit dem Wasserdampf haben wir eine angenehme Durchschnittstemperatur von etwa +15° C.

Der Wasserdampf hat also eine wärmende Wirkung für unsere Erde und ist daher auch ein Treibhausgas. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „natürlichen Treibhauseffekt".



Didaktik

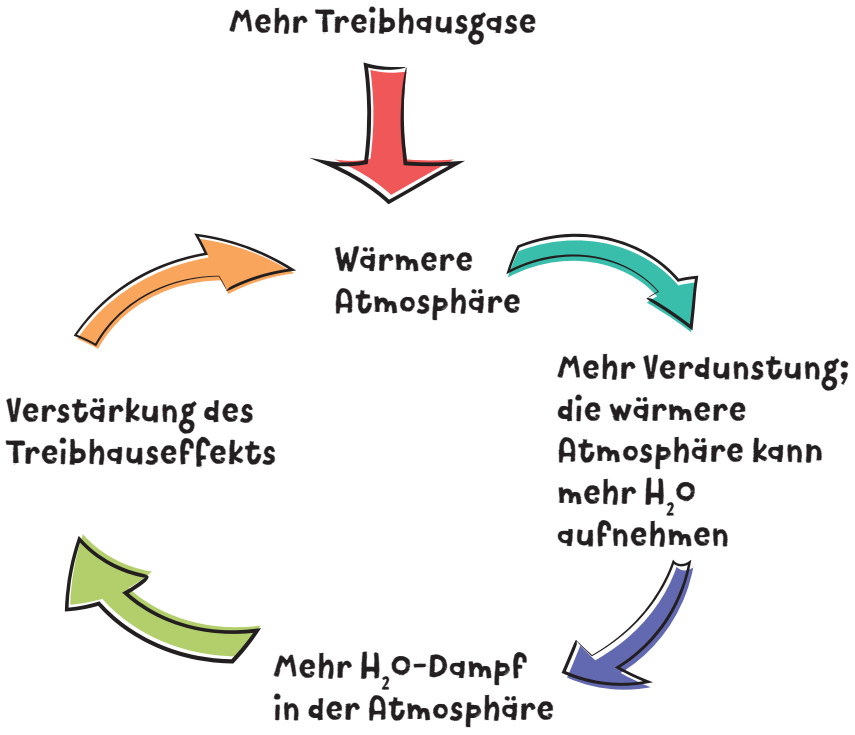
Aus unserer Erfahrung wissen wir, dass manche Schüler mit der Unterscheidung zwischen natürlichem und anthropogenem Treibhauseffekt große Mühe haben. Es lohnt sich entweder ein bisschen penetrant darauf herumzureiten, bis ihnen die Unterscheidung wirklich klar ist, oder die Unterscheidung zu „übergehen" und einfach alle Gase in einen Topf zu werfen – die Wirkung ist schlussendlich ja dieselbe.

Rolle des Wasserdampfs

Das H_2O-Molekül hat, bedingt durch seinen chemischen Aufbau, zahlreiche besondere Eigenschaften. Es besteht aus drei Atomen zweier verschiedener Elemente, hat einen Dipol und ist darüber hinaus ein gewinkeltes Molekül. Das macht das H_2O in mehrerlei Hinsicht zu einem wirksamen Treibhausgas. Die Beduinen in der Wüste können ein Lied davon singen. Dort ist die Luft dermaßen trocken, dass kaum H_2O-Moleküle in der Luft sind. Deshalb ist es nachts in den Wüsten sehr kalt. In der Sahara besteht zwischen Tag und Nacht ein Temperaturunterschied von bis zu 38° C.

Eine erwärmte Atmosphäre nimmt mehr H_2O-Dampf auf, nicht zuletzt deshalb, weil eine Erwärmung die Verdunstung über Wasser- und Landflächen vorantreibt, vor allem aber aus dem Grund, dass wärmere Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann. Das verstärkt wiederum die Erwärmung und der Teufelskreis spitzt sich zu. Andererseits kann die verstärkte Wolkenbildung auch einen kühlenden Effekt auf tiefere Luftschichten haben.

Die Rolle des Wasserdampfs, die Wolkenentwicklung und andere Phänomene dieses faszinierenden Moleküls sind daher noch immer Gegenstand intensiver Forschungen.



Info

Rückkopplungen
Löst ein Prozess einen weiteren aus, der den ursprünglichen Prozess verstärkt, so spricht man von einer Rückkopplung. Ein Beispiel ist die Erderwärmung: Eine anfängliche Erwärmung kann Prozesse auslösen, welche die Erwärmung weiter verstärken. Es kann z.B. passieren, dass die Erderwärmung weiter zunimmt, wenn keine zusätzlichen Treibhausgase mehr ausgestoßen werden. In der Natur gibt es Prozesse, welche solche Rückkopplungen wieder dämpfen können. Die Frage ist, ob diese „Rückkopplungsbremsen“ aktiv werden, bevor oder nachdem es bereits unangenehm warm geworden ist.

1, 2 oder 3

Ziel

Dieses Spiel eignet sich als Einstieg in das Thema, da man sich leicht einen Überblick über das Vorwissen verschaffen kann oder als Abschluss, um Gelerntes spielerisch zu wiederholen.

Material
Zettel mit Fragen und Antworten
Je ein A4 Blatt mit den Zahlen 1, 2 und 3
eventuell eine Belohnung für richtige Antworten (z.B. Smarties)

Was ist Luft?
- Vakuum
- nichts
- das Gasgemisch der Erdatmosphäre

Was ist eine Atmosphäre?
- ein anderes Wort für Ozeane
- die gasförmige Hülle, die unsere Erde umgibt
- eine andere Bezeichnung für den Weltraum

Wofür stehen die Bezeichnungen Sauerstoff, Methan, CO_2 und Stickstoff?
- Computerspiele
- Gase
- Aggressive Giftstoffe

Was ist ein Gas?
- eine durchsichtige Substanz, die frei in der Atmosphäre vorkommt
- ein Stoff, der sich nur schwer verformen lässt
- kleine giftige Partikel, die in der Luft herumschweben

Was kann sich die Pflanze aus Sonnenlicht, Wasser und CO_2 basteln?
- Fett
- Glucose
- Eiweiße

Welches Gas ist in unserer Atmosphäre am häufigsten vertreten?
- Sauerstoff
- Stickstoff
- Kohlendioxid

Welches dieser Gase kann unsere Atmosphäre erwärmen?
- Kohlendioxid
- Stickstoff
- Sauerstoff

Welches Gas sorgt für eine natürliche Erwärmung unserer Atmosphäre?
- Sauerstoff
- Stickstoff
- Wasserdampf

Luft verstehen

Ziel

Auch Luft hat eine Masse und besteht nicht aus „nichts“. Im 1. Durchgang sind beide Luftballons leer und gleich schwer. Im 2. Durchgang ist der aufgeblasene Luftballon schwerer, da die Luft komprimiert ist und sich mehr Gasteilchen in diesem Luftballon befinden.

Luft wiegen

Material
Balkenwaage + 2 Luftballons

1. Durchgang
Auf jeder Seite der Balkenwaage wird 1 leerer Luftballon angebracht.

2. Durchgang
Einer der beiden Luftballons wird aufgeblasen und wieder an der Balkenwaage befestigt.

Ziel

Wenn das Benzin verbrennt, wird CO_2 freigesetzt. Die Schüler können an der Waage ablesen, wie das Benzin weniger wird. Der darin enthaltene Kohlenstoff entweicht in Form von CO_2.

Entstehung von CO_2 live

Material
Petrischale, Benzin, Waage + Streichholz

Die Petrischale auf die Waage legen, 2-3 g Benzin hineingeben und dann anzünden.

Ziel

Kleine Menge – große Wirkung. Obwohl nur eine kleine Menge Farbe ins Wasser gegeben wird, ändert sich doch sehr viel. Analog dazu bewirkt auch eine im Vergleich zum Rest der Luft sehr kleine Menge CO_2 eine große Veränderung.

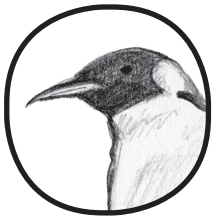
Wasserfärbung

Material

Ein durchsichtiges Gefäß, idealerweise 1 l Volumen
Wasser
Flüssige Farbe, z.B. Tinte

Einen kleinen Tropfen Farbe in das Wasser geben und beobachten, was passiert.

Chat



Autos 🚕🚗🚙, Flugzeuge ✈️, Kraftwerke🏭, brennende Wälder🔥🌳🔥🌲🔥, Düngung und sogar furzende Kühe🐮💨. Daher weht also der Wind.

Und überall hat dieselbe Spezies die Finger im Spiel.

Mensch Meier. Aber jetzt mal im Ernst. Ist das wirklich so schlimm, wenn's ein paar Grad wärmer wird? Ist eh ziemlich kalt hier am Nordpol.

Boah, kein Plan. Wär fein wenn's kein Stress wird. Aber lass uns zur Sicherheit lieber mal rausfinden, welche möglichen Folgen das alles hat.

Ja, nicht dass hier auf einmal alles grün wird und meine geniale weiße Tarnung auffliegt 😉

👍Machen wir uns ein Bild von den Folgen.

03 Folgen

Welche Veränderungen drohen?

Welche Folgen sind möglich?

Welche Rückkopplungen werden in Gang gesetzt?

Was passiert, wenn sich die Ozeane erwärmen?

Was passiert, wenn mehr Wasser verdunstet?

Wieso steigt der Meeresspiegel an?

Was passiert, wenn Eisflächen schmelzen?

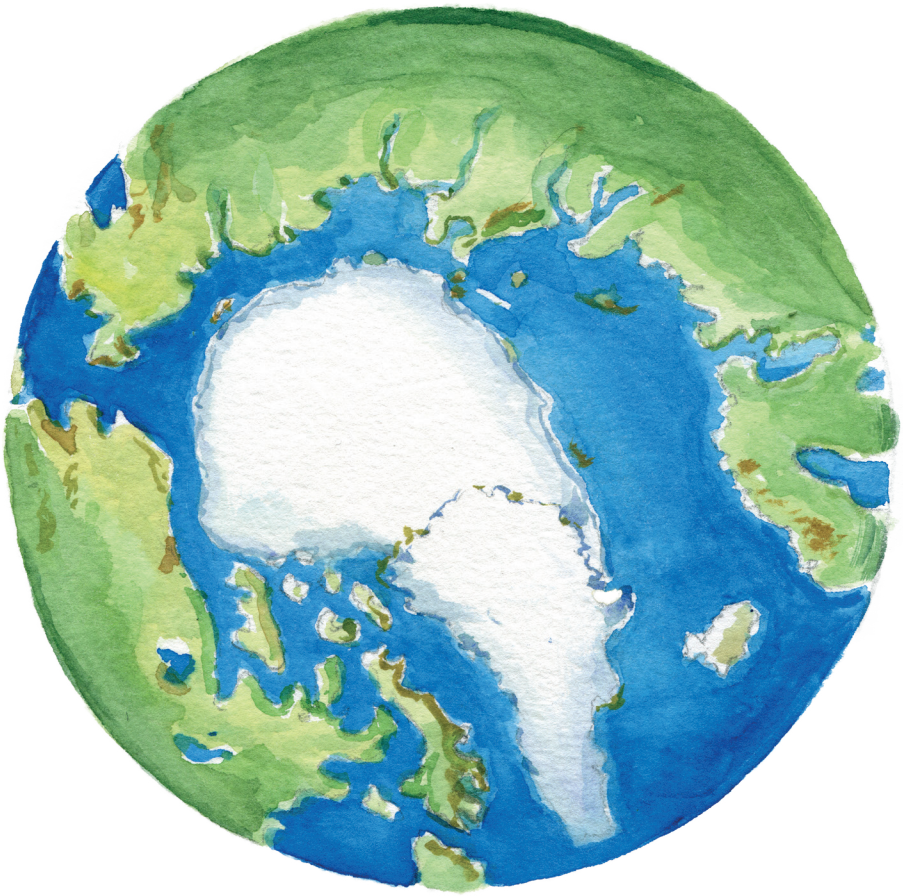
Wieso wandern Tiere, Pflanzen und Menschen, wenn es wärmer wird?

Wieso werden die Ozeane saurer?

Mehr Treibhausgase in der Atmosphäre

Je mehr Treibhausgase sich in der Lufthülle der Erde befinden, desto wärmer wird es. Wenn mehr Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) oder auch Wasserdampf (H_2O) in der Atmosphäre eines Planeten sind, erhitzt sich diese.

Für unsere Erde und somit für unsere Lebensräume würde eine rasche Erwärmung sehr viele Veränderungen bedeuten. Viele von diesen sind mit enormen Schwierigkeiten verbunden. Das schmelzende Eis lässt die Meere ansteigen und vertreibt Menschen, die an den Küsten wohnen. Auf der einen Seite wird es Gebiete geben, in denen es heftigere Stürme und mehr Überschwemmungen geben wird als heute. Auf der anderen Seite wird es aber auch Gebiete geben, in denen es weniger Niederschläge gibt und Dürren häufiger werden.



Info

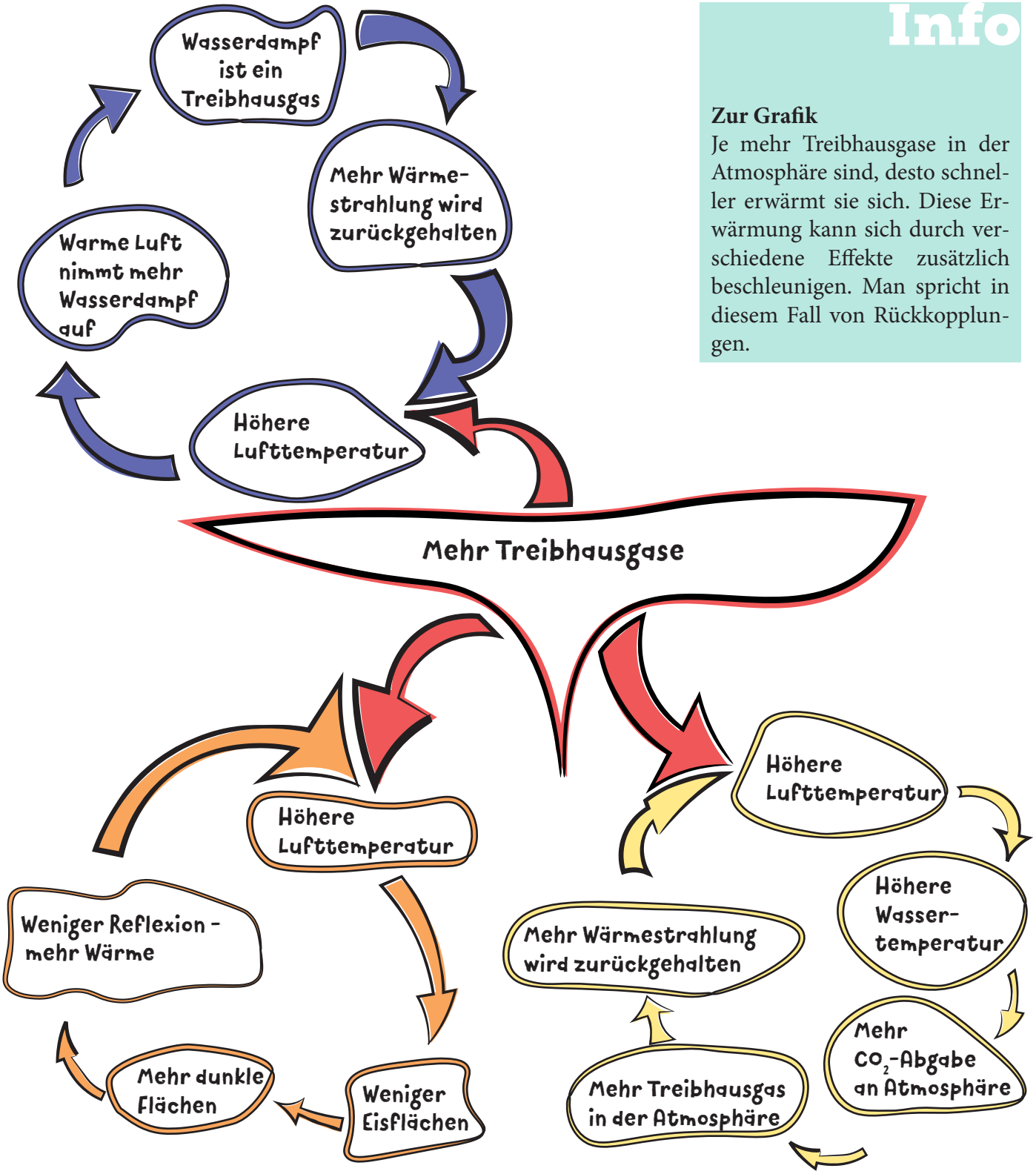
Folgen
Die Folgen der Erderwärmung machen vielen Lebewesen das Leben zur Hölle. Heftigere Stürme, steigende Meeresspiegel, Überschwemmungen, aber auch Dürren und lange Hitzewellen sind nur einige von vielen möglichen Folgen.

Mehr Treibhausgase in der Atmosphäre

Die zentrale Folge einer höheren Konzentration an Treibhausgasen ist eine Erwärmung der Atmosphäre. Diese zieht unterschiedlichste Folgen nach sich. Je schneller die Erwärmung voranschreitet, desto schwieriger wird es für Lebewesen – egal ob Mensch, Tier oder Pflanze, sich an diese Folgen anzupassen und sich mit den Veränderungen zu arrangieren.

Die Erforschung der Klimageschichte unseres Planeten hat gezeigt, dass das Klima immer wieder zwischen Warmphasen und Kaltphasen (Eiszeiten) wechselt. Setzt einmal eine Erwärmung ein, stößt das Prozesse an, sogenannte Rückkopplungen, die die Erwärmung beschleunigen. So führt beispielsweise der Verlust von weißen Eisflächen zwangsläufig zu einer Erwärmung eines Planeten. Kippt das Klima in Richtung Abkühlung, beschleunigt sich dieser Prozess ebenfalls – mehr weiße Flächen etwa kühlen einen Planeten zusehends ab. In der Erdgeschichte dauerten Prozesse wie diese allerdings meist tausende Jahre. Aktuell geht es sehr schnell in Richtung Erwärmung.

Mehr Treibhausgase in der Atmosphäre



Info

Zur Grafik
Je mehr Treibhausgase in der Atmosphäre sind, desto schneller erwärmt sie sich. Diese Erwärmung kann sich durch verschiedene Effekte zusätzlich beschleunigen. Man spricht in diesem Fall von Rückkopplungen.

Erwärmung der Meere

Abgabe von Gasen
Wenn sich eine Flüssigkeit erwärmt, gibt sie die in ihr enthaltenen Gase verstärkt ab. Meere enthalten neben Sauerstoff auch riesige Mengen an CO_2, die beide mit zunehmender Erwärmung vermehrt abgegeben werden. Dies führt zwangsläufig zu einer Erhöhung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre, was die Erderwärmung zusätzlich verstärkt.

Ausdehnung des Wasserkörpers
Darüber hinaus dehnt sich der gesamte Wasserkörper bei Erwärmung aus, was, neben dem Schmelzen von Eisflächen, auch zu einem Anstieg des Meeresspiegels führt.

Verdunstung
Neben der Abgabe von CO_2 in die Atmosphäre steigt bei erwärmten Flüssigkeiten auch die Verdunstung und es wird mehr H_2O in die Luft abgegeben. Das erhöht den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, führt zu intensiveren Niederschlägen und verstärkt zusätzlich die Erwärmung.

Intensivere Stürme
Hurricane, Taifun, Zyklon – diese Begriffe stehen alle für schwere Tropenstürme. Sie entstehen bevorzugt dann, wenn das Wasser der Ozeane Temperaturen von über 26,5° C aufweist. Eine Erderwärmung fördert die Erwärmung der Ozeane und damit auch die Intensität dieser zerstörerischen Stürme.

Anstieg des Meeresspiegels

Die Erhöhung des Meeresspiegels ist für stark besiedelte Küstengebiete eine ernste Bedrohung. Zwei Phänomene sind dafür verantwortlich: Einerseits das Abschmelzen von Landeisflächen, wie z.B. jene von Grönland, der Antarktis oder Gebirgsgletschern, andererseits die Ausdehnung des Wasserkörpers bei einer Erwärmung. Etwa ein Sechstel der Eismasse Grönlands würde ausreichen, um den Meeresspiegel um einen Meter ansteigen zu lassen.

In den letzten mehreren hunderttausend Jahren änderte sich der Meeresspiegel, je nach Vereisung unseres Planeten, um bis zu 150 m bezogen auf den heutigen Meersspiegel. In der letzten eisarmen Phase vor mehreren Millionen Jahren war der Meeresspiegel um etwa 25 m höher als heute.

Die Menschheit profitierte in den letzten 10.000 Jahren von einem verhältnismäßig stabilen Klima und somit auch von einem stabilen Meeresspiegel. Deshalb besiedelten wir Menschen viele Küstenregionen – ein Umstand, der bei steigendem Meeresspiegel ein großes Problem darstellt. Eine Erhöhung des Meeresspiegels um einen Meter würde alleine in Bangladesch 15 Mio. Menschen zur Flucht zwingen.

Info

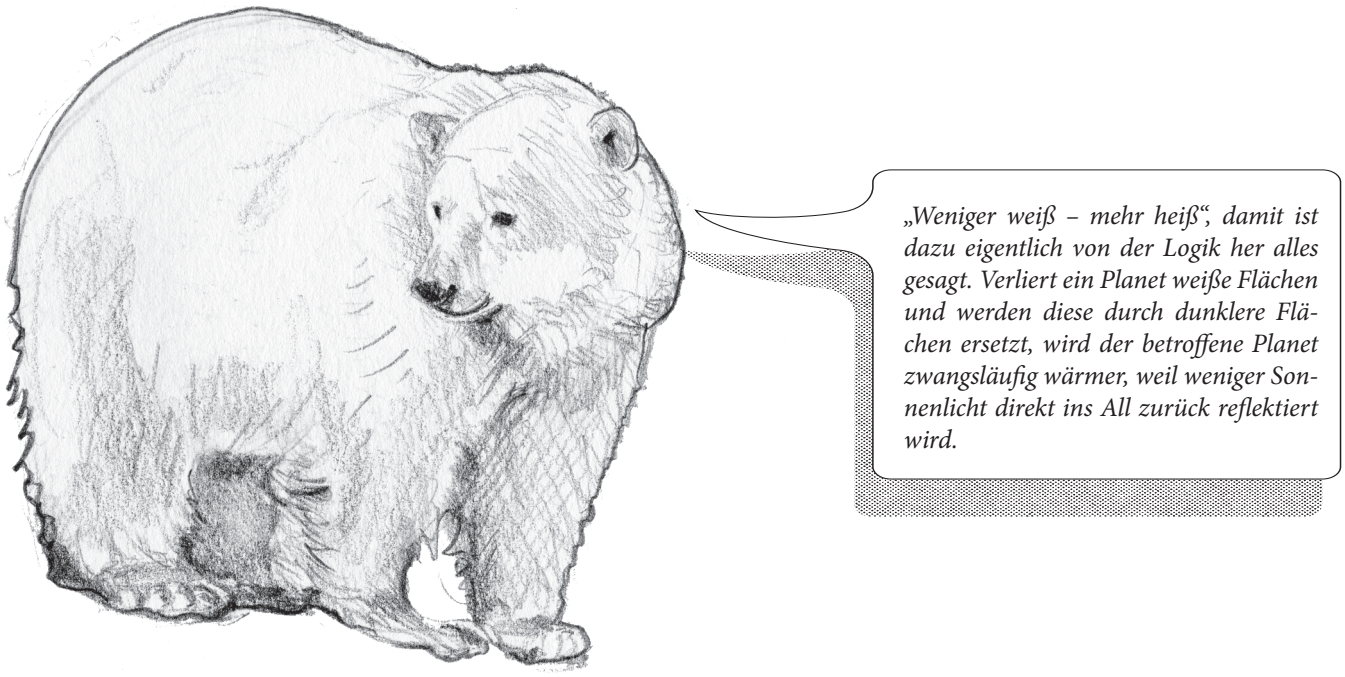
Steigende Meeresspiegel
Viele Länder der Erde haben große Siedlungsgebiete in der Nähe ihrer Küsten. In Europa sind das etwa viele Regionen in Holland. Es liegt an uns allen, dass diese Regionen nicht irgendwann als „Zu-Nieder-Lande“ in die Geschichte eingehen…

Das „ewige“ Eis

Abschmelzen von Polkappen und Gletschern
Eine Erwärmung der Atmosphäre und der Ozeane führt langfristig zu einem Abschmelzen der weltweiten Eisflächen, auch wenn dieser Effekt durch intensivere Schneefälle regional verzögert werden kann.

Schnee- und Eisflächen reflektieren bis zu 90 % der einfallenden Sonnenstrahlung, ohne dass diese dabei in Wärme umgewandelt wird. Werden diese Flächen reduziert, so treten an ihre Stellen dunklere Wasser- oder Landflächen, die einen Großteil des einfallenden Lichts in Wärme umwandeln. Jeder Verlust von weißen Flächen führt somit automatisch zu einer weiteren Erwärmung der Atmosphäre – auch ohne zusätzliche Treibhausgase.

Ein Gletscherrückgang in den Gebirgen unserer Erde ist mit dem Verlust von wichtigen Süßwasservorräten verbunden. In den Alpen beispielsweise speisen die Gletscher nicht nur zahlreiche Quellen in heißen Sommermonaten, sondern auch die Stauseen der Kraftwerke.



Meeresströmungen

Veränderung von Meeresströmungen
Windsysteme und Meeresströmungen sorgen dafür, dass Wärme aus dem Äquatorbereich zu den Polen transportiert wird und dadurch hohe Breiten gewärmt, niedrige Breiten aber gekühlt werden.

Durch Änderungen des Salzgehalts kann es bei Meeresströmungen zu Veränderungen kommen. Das Schmelzen von Eisflächen führt zu einer Verringerung des Salzgehalts in den umliegenden Meeresbereichen. Gleichzeitig führt eine höhere Verdunstungsrate im Äquatorbereich zu einer Anreicherung des Salzgehalts, was das eigentlich leichtere, warme Wasser „schwerer" macht. Die Veränderung der Dichte des Wassers kann zum „Einschlafen" von Meeresströmungen führen.

Info

Zur Grafik
Die „Wetterküche" Westeuropas ist der Nordatlantik. Die Zutaten für das Wetter und damit das Klima liefert unter anderem der Golfstrom. Eine Abschwächung bzw. ein „Einschlafen" dieser Meeresströmung hätte vermutlich gravierende Folgen für das Klima in unseren Breiten.

Versauerung der Ozeane, Methaneis & Permafrost

Versauerung der Ozeane
Je mehr CO_2 in der Atmosphäre ist, desto mehr wird durch Ausgleich in die Meere „gedrückt", auch wenn im Gegenzug die erwärmten Ozeane eigentlich CO_2 abgeben. Daher bildet sich im Wasser mehr Kohlensäure, wodurch der pH-Wert sinkt. Da sinkende pH-Werte Kalk angreifen, werden viele im Meer lebende Organismen zusehends Schwierigkeiten haben, Kalkschalen zu bilden. Dazu gehören nicht nur Schnecken und Muscheln, sondern auch viele Planktonlebewesen, die in ihren Kalkschalen Unmengen an Kohlenstoff binden.

Auch Korallen werden ein Problem haben, ihr Kalkskelett zu bilden. Eine Zerstörung der Korallenriffe hat fatale Folgen. Millionen von Menschen auf unserem Planeten ernähren sich von der vielfältigen Fischfauna dieser Riffe und werden bei einer Zerstörung derselben buchstäblich vor dem Nichts stehen.

Methanhydrat
Zu einem langfristigen Problem kann auch das an Meeresböden ab Tiefen von etwa 500 m abgelagerte Methanhydrat werden. Dabei handelt es sich um in Eis eingeschlossenes Methan (CH_4).
Erwärmen sich die Meere zu stark, wird dieses „Methaneis" instabil und kann freigesetzt werden – eine sehr unangenehme Rückkopplung, die die Erderwärmung massiv beschleunigen würde.

Auftauen von Permafrostgebieten
Dauerfrostgebiete, also Regionen, in denen die Böden den überwiegenden Teil des Jahres gefroren sind, konservieren Unmengen an gefrorener organischer Substanz. Tauen die gefrorenen Regionen auf, so verwandeln sich zahlreiche Gebiete in Sümpfe, in denen die zuvor gefrorene organische Substanz im Wasser und daher unter Sauerstoffmangel abgebaut wird. Dabei können große Mengen an Methan (CH_4) entstehen. Diese Rückkopplung würde zu einer weiteren Verstärkung der Erderwärmung beitragen.

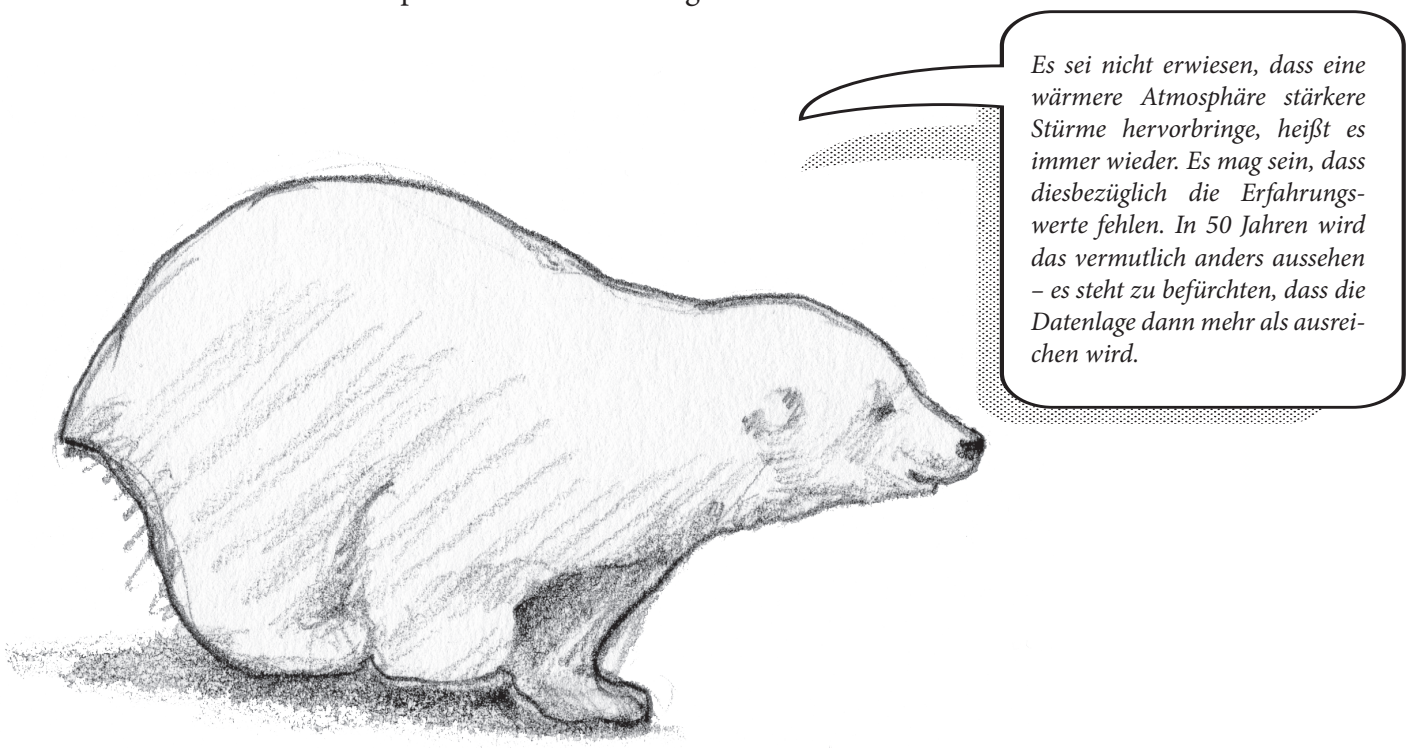
Verdunstung und Dürren

Erhöhung des Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre
Wir kennen das Phänomen – in den warmen Sommermonaten haben wir nie mit Nebel zu kämpfen. Das liegt daran, dass wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Pro Grad Erwärmung erhöht sich die Kapazität der Wasserdampfaufnahme um etwa 7 %.

Erhöhte Temperaturen führen zwangsläufig zu einer stärkeren Verdunstung in den betroffenen Regionen, dies gilt nicht nur für Wasserflächen, sondern auch für Böden und Waldflächen. Nimmt die Verdunstung zu, kann dies regional zu einer Verschärfung von Dürreperioden führen. Die Logik liegt auf der Hand. Wenn die erwärmte Atmosphäre mehr Feuchtigkeit aufnimmt, verstärken sich global auch die Niederschlagsereignisse. Mehr Energie in der Atmosphäre führt weltweit betrachtet zu extremeren Wetterphänomenen. Intensivere Niederschläge führen zwangsläufig zu häufigeren und intensiveren Überschwemmungen.

Dürren
Während die einen in den Wassermassen fast untergehen, sind andere Regionen unserer Erde mit immer extremeren Dürren konfrontiert. Das liegt daran, dass bei höheren Temperaturen die Verdunstung zunimmt. Ob ein Sommertag bei uns 25° C oder 35° C hat, ist hinsichtlich der Verdunstung ein großer Unterschied. Die Böden trocknen bei Hitze viel rascher aus.

Dies ist vor allem in jenen Regionen der Erde ein großes Problem, die schon jetzt mit Wassermangel zu kämpfen haben. Ein Umstand, der in diesen Ländern auch erhebliches Konfliktpotential mit sich bringt.

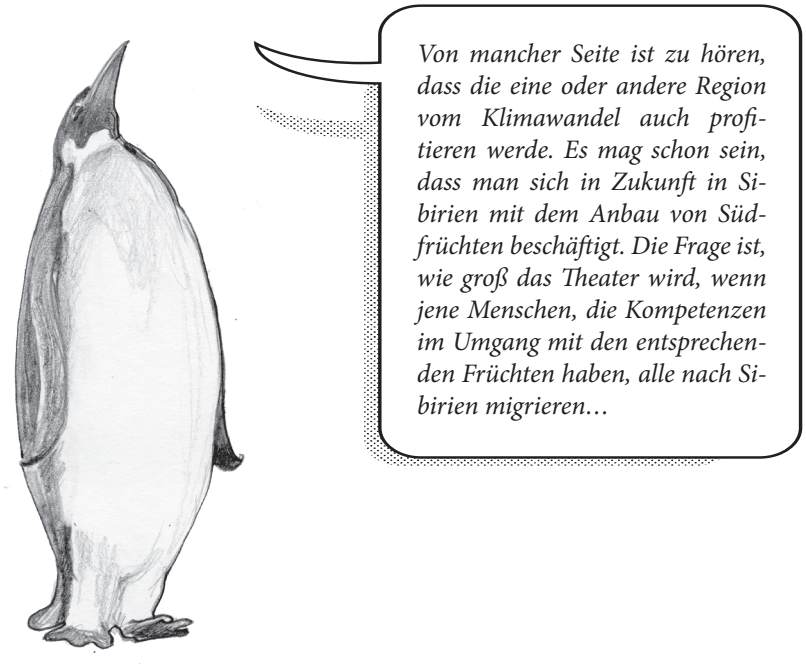


Klimazonen

Veränderung und Verschiebung von Klimazonen
Unsere gemäßigte Klimazone bietet einen großen Vorteil – wir haben sowohl etwas „Luft“ nach oben als auch nach unten, was die Entwicklung des Klimas betrifft. Anders schaut es in Regionen aus, die sich jetzt schon an der Grenze des „Bewohnbaren“ befinden. Die Tier- und Pflanzenwelt hat mit raschen Klimaveränderungen sehr zu kämpfen, vor allem Pflanzen, die ja bekanntlich nicht so gut zu Fuß sind.

Seit Jahren wird beobachtet, wie sich Tierarten in Richtung Norden ausbreiten. In Mitteleuropa überleben immer mehr Arten, die noch vor einigen Jahrzehnten den kalten Wintern nicht standgehalten hätten.

Verlust von Siedlungsräumen
Durch die Erwärmung werden einige Regionen im hohen Norden eventuell mit längeren Vegetationsperioden gesegnet. Dennoch könnten große soziale Probleme entstehen, wenn sich die derzeitigen Ballungsräume durch externe Umwelteinflüsse so stark verändern, dass sie nicht mehr bewohnbar sind. Deshalb wird es für uns auch entscheidend sein, wie sich die Situation in den vom Menschen dicht besiedelten Regionen der Erde entwickelt. Am prekärsten wäre wohl die Unbewohnbarkeit von derzeitigen Ballungsräumen. Die „Stärken“ unserer jungen Spezies im Umgang mit Migrationsströmen sind ja hinlänglich bekannt. Wichtige Faktoren in dieser Hinsicht sind vor allem die Zeitspannen, in denen die Veränderungen stattfinden – je langsamer, umso eher werden sie verkraftbar sein.



Folgen der Erderwärmung

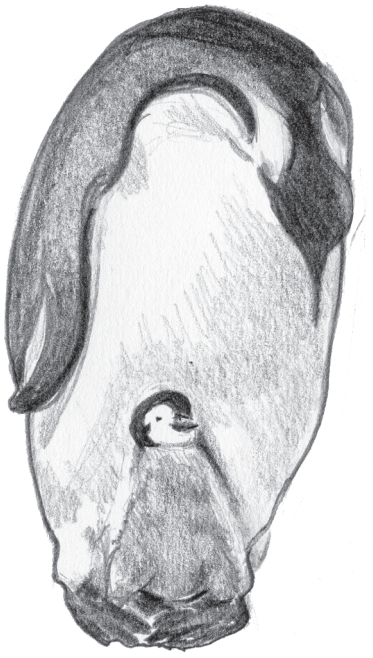
Gute Propheten sind selten. Deshalb kann man auch nicht genau vorhersagen, wie z.B. das Klima in bestimmten Regionen in 50 Jahren aussehen wird.

ABER… weil sich die Natur immer an ihre Gesetze hält, weiß man, dass

… in einer erwärmten Atmosphäre mehr Eis von den Gletschern und Polkappen schmilzt. Das führt zu einer Erhöhung des Meeresspiegels und zu einem Verlust von Süßwasserspeichern.
Außerdem wirken Eisflächen wie Spiegel – sie reflektieren Sonnenlicht ins All, ohne dass dieses in Wärme umgewandelt wird. Werden diese weißen Flächen weniger, trifft mehr Sonnenlicht auf dunkle Flächen, das verstärkt die Erderwärmung zusätzlich.

… wärmere Luft mehr Feuchtigkeit aufnimmt.
Mehr Feuchtigkeit in der Atmosphäre – pro Grad Erderwärmung sind das etwa 7 % – bedeutet auch intensivere Niederschlagsereignisse.

… eine erwärmte Atmosphäre auch die Meere erwärmt.
Wärmeres Wasser gibt Gase wie CO_2 verstärkt an die Atmosphäre ab – das verstärkt die Erderwärmung zusätzlich.

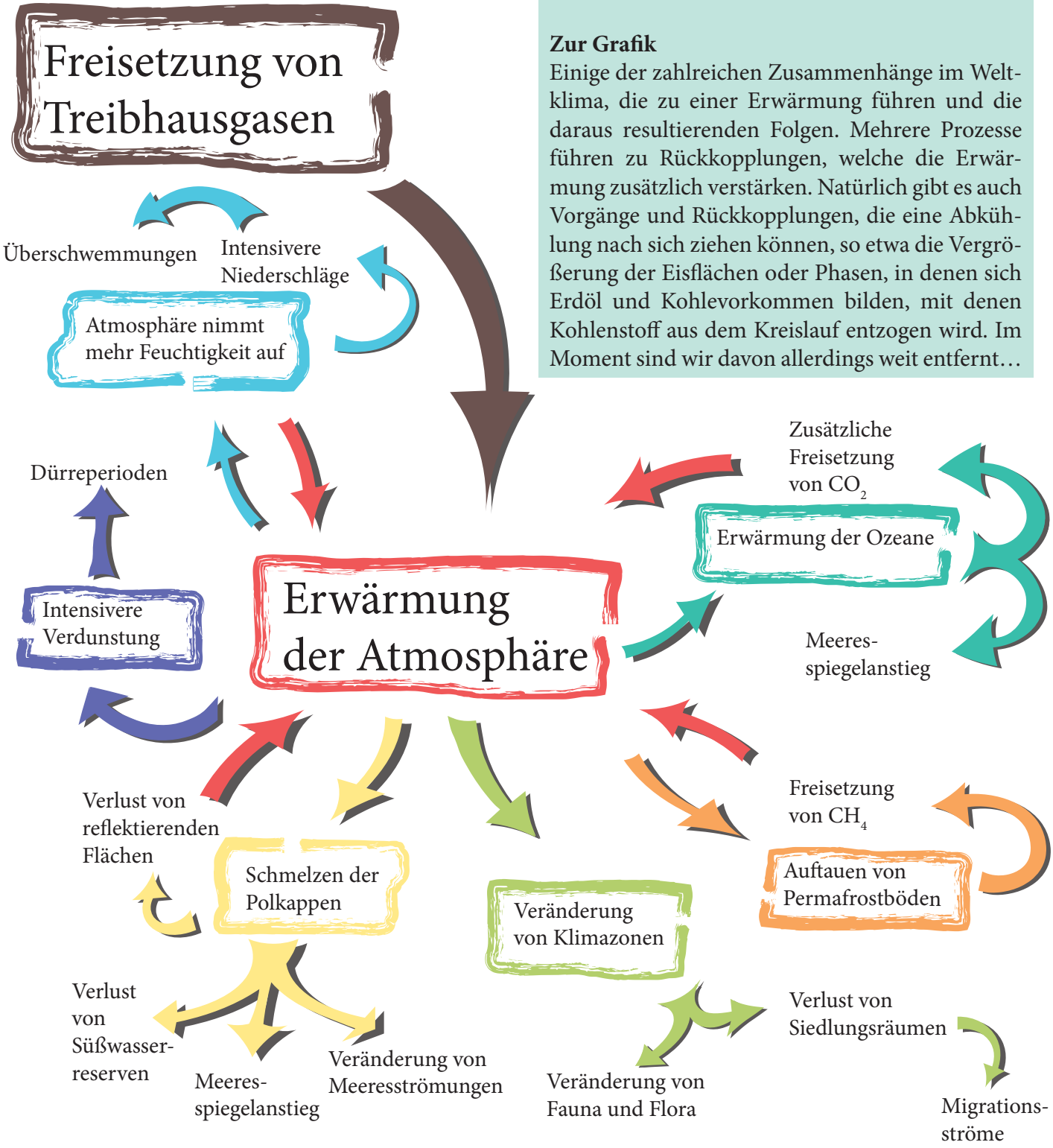


Klimaänderungen sind ein Motor für Migration. Egal ob Mensch, Tier oder Pflanze, wenn der angestammte Lebensraum sich zu stark verändert und den Bedürfnissen, die eine Art an ihre Umgebung hat, nicht mehr gerecht wird, ist Migration in andere Gebiete die einzige Wahl.

Zusammenhänge im Weltklima

Info

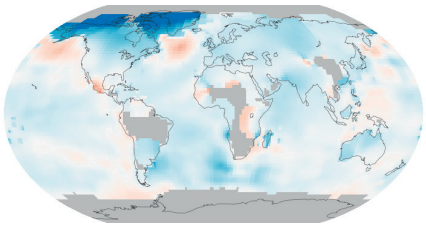
Zur Grafik
Einige der zahlreichen Zusammenhänge im Weltklima, die zu einer Erwärmung führen und die daraus resultierenden Folgen. Mehrere Prozesse führen zu Rückkopplungen, welche die Erwärmung zusätzlich verstärken. Natürlich gibt es auch Vorgänge und Rückkopplungen, die eine Abkühlung nach sich ziehen können, so etwa die Vergrößerung der Eisflächen oder Phasen, in denen sich Erdöl und Kohlevorkommen bilden, mit denen Kohlenstoff aus dem Kreislauf entzogen wird. Im Moment sind wir davon allerdings weit entfernt…

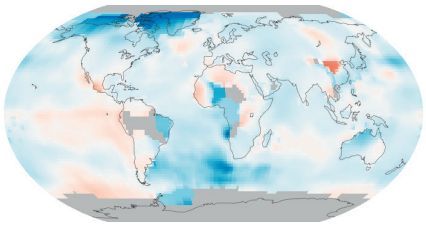


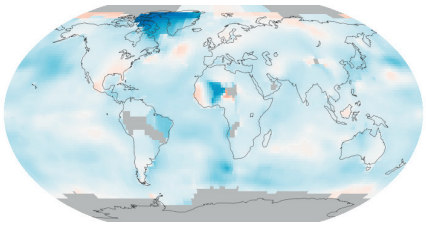
Temperaturveränderung seit 1885

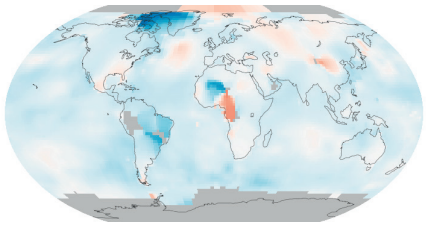
Info

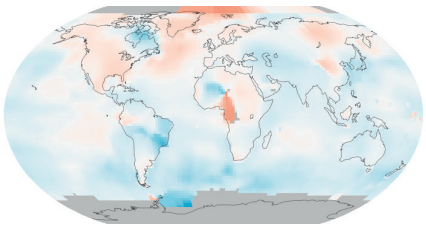
Material
13 Bilder seit 1885
Slideshow der NASA abrufbar unter:
https://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/decadaltemp.php?all=y
Aus den 13 Bildern kann ein Daumenkino gebastelt werden. Alternativ kann über den Link direkt auf die Slideshow zugegriffen werden.

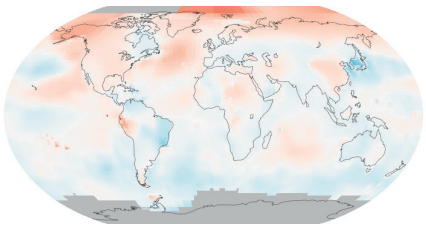

1885-1894

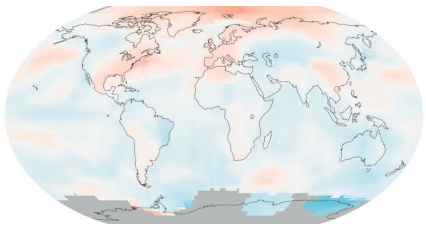

1895-1904

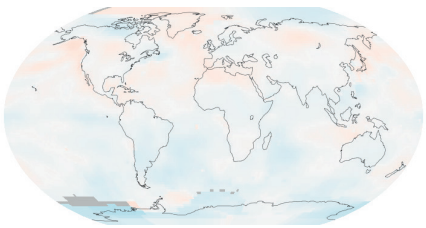

1905-1914

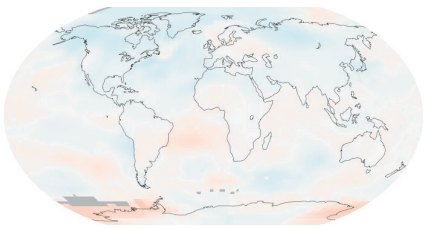

1915-1924

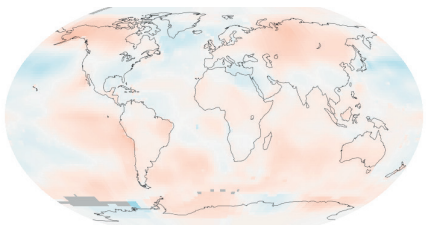

1925-1934

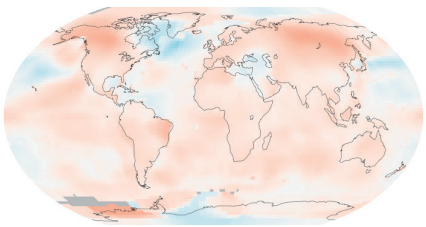

1935-1944

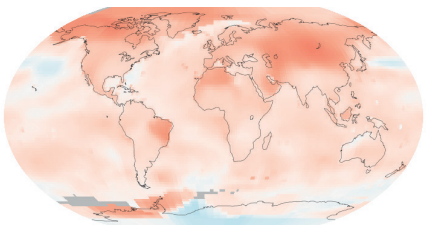

1945-1954

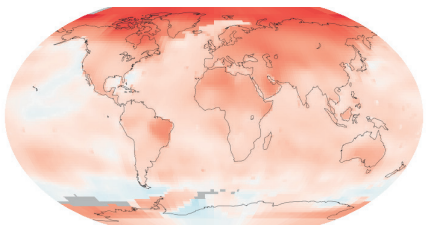

1955-1964


1965-1974


1975-1984


1985-1994


1995-2004


2005-2015

Ziel

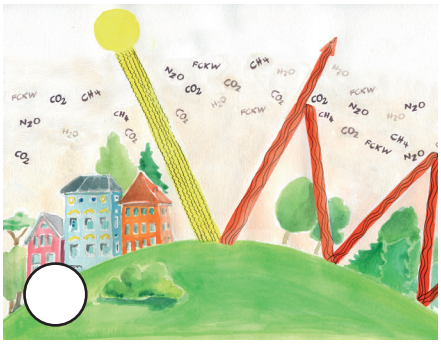
Die Bilder der NASA beweisen, dass die Atmosphäre immer wärmer wird. Die Grafiken beziehen sich auf den Referenzzeitraum 1951-1980. Deshalb weisen die Bilder in diesem Zeitraum kaum Abweichungen auf.

Klimawissen

Icy und Pingu haben in der Schule mal wieder geblödelt und haben die Texte von den verschiedenen Bildern geklaut. Jetzt haben sie das Problem, dass sie die Sätze (1-8) den Bildern nicht mehr richtig zuordnen können. Kannst du ihnen helfen?

2)
Gase wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), die FCKWs oder Wasserdampf (H_2O) halten Wärme in der Atmosphäre zurück und sorgen somit für die Erderwärmung.

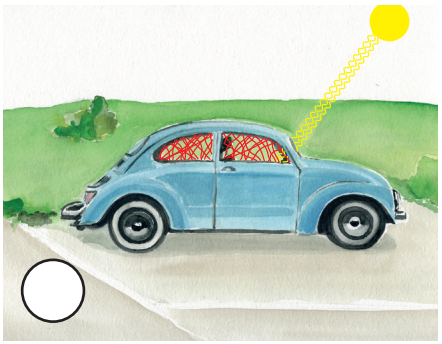
5)
Die vereisten Polkappen sind wichtig, weil sie Sonnenstrahlen direkt ins All reflektieren und daher die Atmosphäre kühlen.



1)
Die Erderwärmung ist vergleichbar mit einem an der Sonne geparkten Auto – die kurzwelligen Sonnenstrahlen kommen durch die Scheiben hinein – die langwellige Wärmestrahlung kann aber nicht mehr aus dem Auto hinaus.

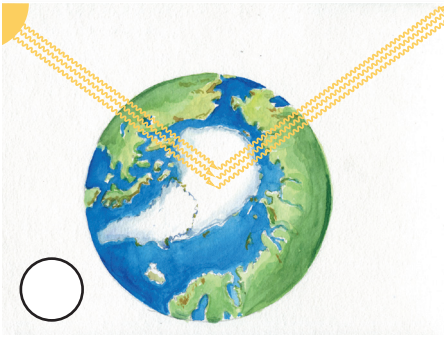
3)
Das Gas Methan entsteht unter anderem beim Reisanbau.

7)
Küstennahe Gebiete, wie z.B. in den Niederlanden, sind von einem Meeresspiegelanstieg am meisten gefährdet.



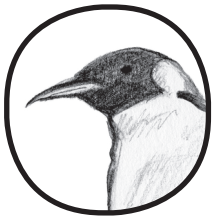
8)
Die Brandrodung von Regenwäldern ist für das Klima doppelt bitter – dabei entsteht viel CO_2 und gleichzeitig wird die Fläche, die CO_2 aufnehmen kann, verringert.

6)
Eine erwärmte Atmosphäre und erwärmte Ozeane führen zu heftigeren Stürmen.



4)
Kohlendioxid entsteht z.B. bei der Verbrennung von organischem oder fossilem Material wie Holz, Kohle, Benzin oder Diesel.

Chat



Ui Ui Ui, das klingt heiß. So krass hätt ich mir das nicht vorgestellt. Ich glaube, ich färb mir mein Fell doch grün.

Nein, bloß nicht. Du weißt ja: „Weniger weiß, mehr heiß“!

Hast recht. Diese vielen Rückkopplungen 🔄🔁🔄 treiben mir den Schweiß 😓 auf die Stirn. Die hatte ich überhaupt nicht auf dem Schirm.

Stimmt. Aber das lässt doch bestimmt niemanden kalt. Da muss man doch was dagegen tun können. Oder???

Ich hoffe doch! So kann das nicht weitergehen.

Okay. Meld mich wieder!

04 Gegenmaßnahmen

Was lässt sich dagegen unternehmen?

Wie kann man Treibhausgase einsparen?

Wo liegt das größte Einsparungspotential?

Welche Rolle spielen Waldflächen?

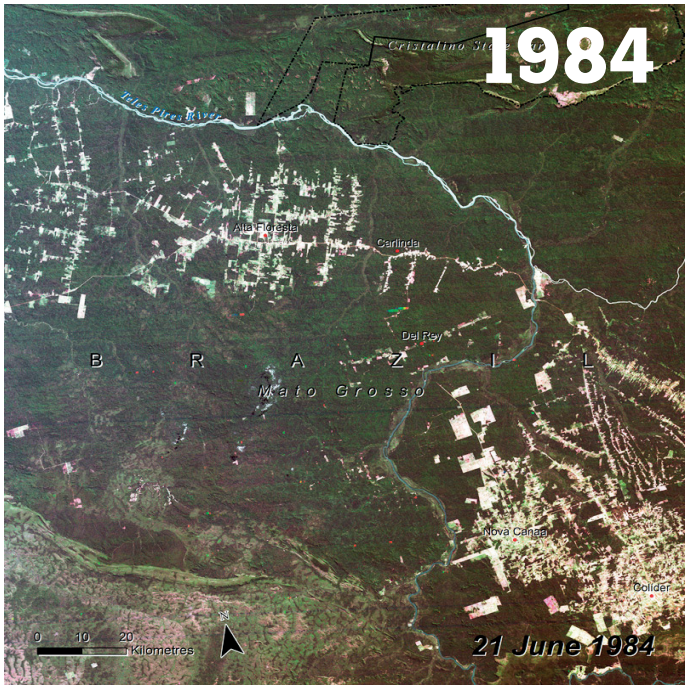
Wie spart man beim Heizen und Wohnen?

Welches Einsparungspotential bieten Ernährung und Konsum?

Welche Rolle spielen Fahren und Fliegen?

Waldflächen schützen

Ein sehr großer Teil des CO_2, das jährlich in unsere Atmosphäre gelangt, stammt von brennenden Wäldern. Viele von ihnen, vor allem Gebiete in den Tropen, werden absichtlich in Brand gesetzt, um dadurch neue landwirtschaftliche Flächen zu gewinnen. Auf diesen entstehen dann z.B. Palmölplantagen oder Viehweiden. Brennende Waldflächen sind für unser Klima doppelt bitter: Einerseits entsteht bei der Verbrennung sehr viel CO_2, andererseits werden gleichzeitig jene Waldflächen zerstört, deren Bäume CO_2 aufnehmen, umwandeln und über mehrere hundert Jahre in ihrem Holz speichern können.



Satellitenbilder: Abholzung in Mato Grosso, Brasilien, Vergleich 1984 und 2013
Quelle: UNEP

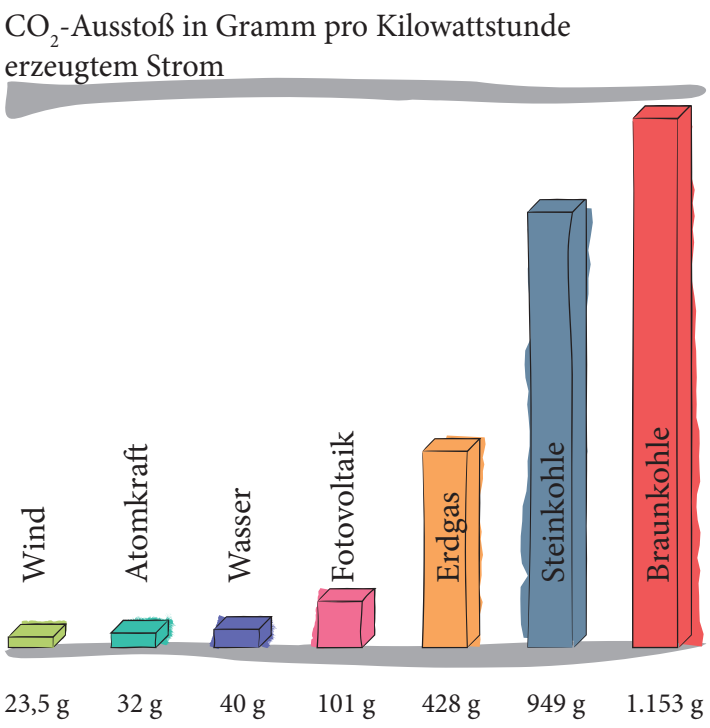
Info

Zur Grafik
Die Waldflächen auf unserem Planeten gehören geschützt. Was man hierzulande machen kann? Rindfleischkonsum reduzieren, auf Tropenholz und Produkte mit Palmöl verzichten, sowie sich für den Schutz der Waldflächen stark machen!

Stromerzeugung ändern

Man kann es drehen und wenden, wie man will, es gibt keine Form der Stromerzeugung, die nicht auch ihre Nachteile hätte – dennoch, Wind, Wasser, Erdwärme und die Energie der Sonne sind jene Ressourcen, die uns nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen. Höhere Produktionskosten und teilweise geringer Wirkungsgrad sind die größten Hemmschwellen für diese Arten der Stromerzeugung. Eine weltweite Stromversorgung durch Nutzung dieser erneuerbaren Ressourcen ist keine Frage des Könnens, sondern eine Frage des Wollens, wie die Forscher Mark Jacobsen und Mark Delucchi schon 2012 errechneten. Wie die Daten des Statistischen Bundesamts in Deutschland zeigen, wurden im Jahr 2017 bereits ca. 33 % des gesamten Stroms aus erneuerbarer Energie (Wind, Wasser, Sonne...) gewonnen. Im Jahr 2000 lag der Wert noch bei etwa 6 %.

Nur auf ein Pferd zu setzen, wird allerdings nicht reichen. Die Energie der Zukunft wird einen Mix darstellen müssen, in dem der Anteil an Kohle, Gas und Öl immer weiter verringert wird.



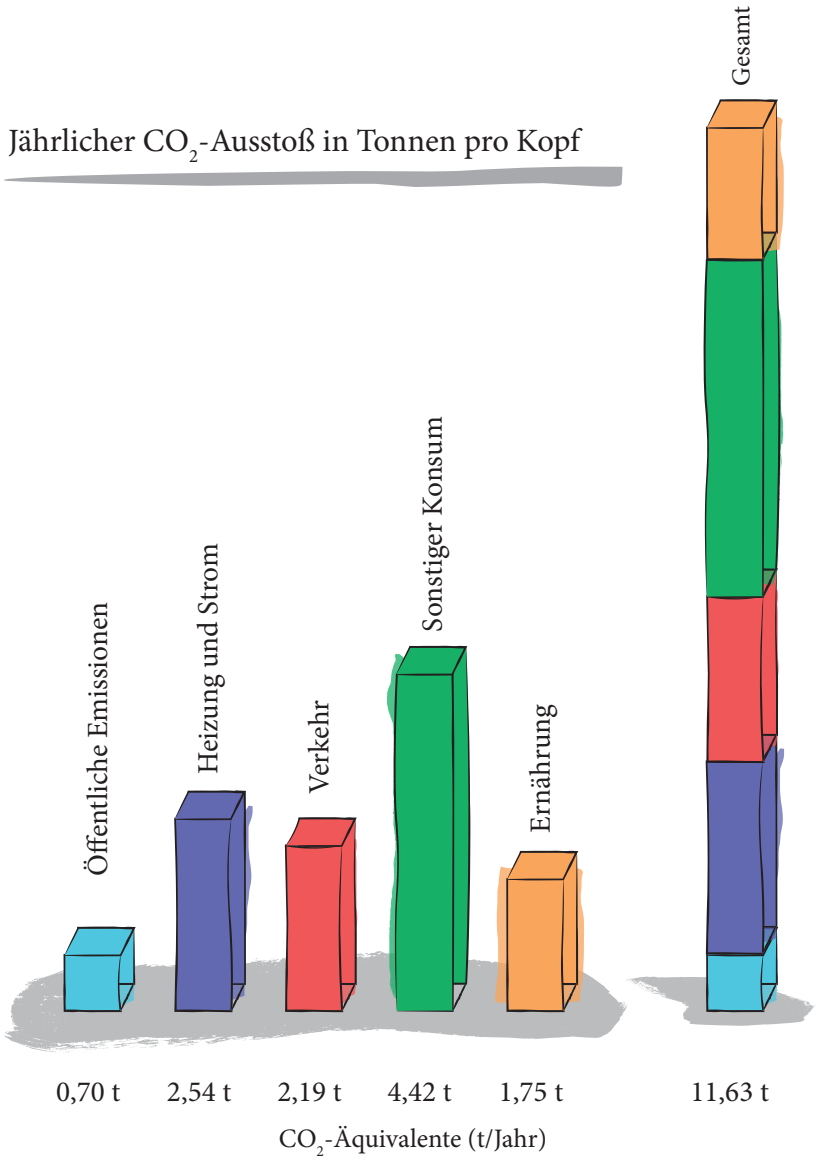
Info

Zum Diagramm
Die Technik, mit welcher der Strom erzeugt wird, hat einen riesigen Einfluss auf den CO_2-Ausstoß. Bei der Stromgewinnung mittels fossiler Rohstoffe wie etwa Braunkohle, Steinkohle oder Erdgas entsteht viel mehr CO_2 als in anderen Kraftwerken. In Deutschland wurde auch 2017 noch etwa die Hälfte des Stroms mittels fossiler Brennstoffe erzeugt.
Quelle: Fritsche, 2007

Treibhausgase einsparen - ganz persönlich

Die Erderwärmung aufzuhalten wird schwierig, dafür sind schon zu viele Treibhausgase ausgestoßen worden. Aber wir bestimmen das Tempo dieser Erwärmung und es ist klar: Je langsamer, desto besser! Jede Einsparung führt zu einer Verbesserung der Situation. Ziel muss es sein, möglichst wenig Treibhausgase in die Luft zu blasen!

Man muss sich dazu keineswegs in eine Höhle zurückziehen. CO_2 einsparen geht in vielen Bereichen ganz problemlos und hat meist den positiven Effekt, dass man dabei auch noch Geld spart. Auch wenn man sich bei einer eingesparten Tonne noch etwas verloren fühlt, wenn jeder der 740 Mio. Europäer das macht, kommt doch ordentlich was zusammen.



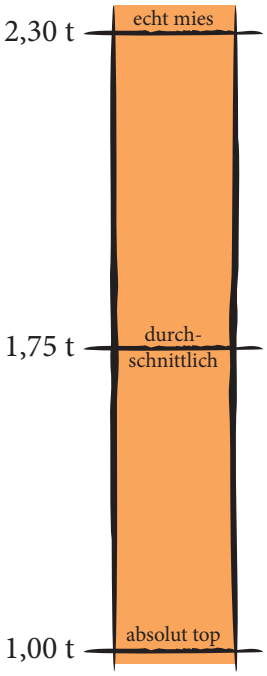
Info

Zum Diagramm
Der durchschnittliche CO_2-Ausstoß pro Kopf in einem Jahr, gegliedert nach Sektoren und bezogen auf Deutschland. Im Vergleich dazu produzieren die Menschen in Nigeria durchschnittlich nur 0,5 t pro Jahr, jene in Nordamerika hingegen etwa 15 t pro Jahr.
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Ernährung

Die Herstellung unserer Nahrungsmittel braucht unterschiedlich viel Energie – einerseits in der Produktion, andererseits bei Transport und Lagerung. Die Zauberformel für eine energieschonende Ernährung lautet: saisonal – regional – fleischarm. Wer Lust auf Erdbeeren hat, sollte diese am besten auf die Monate Mai und Juni aufsparen. Bei Obst und Gemüse: Das bevorzugen, was im Moment gerade in unserer Region wächst. Je näher ein Lebensmittel erzeugt wird, desto weniger Energie benötigt dessen Transport.

Für die Fleischproduktion wird weltweit sehr viel Energie aufgewendet. Einerseits müssen zuerst Futterpflanzen angebaut werden, z.B. Getreide für Hühner oder Puten, andererseits produzieren vor allem Wiederkäuer wie Rinder viel Methan in ihrem Verdauungstrakt.



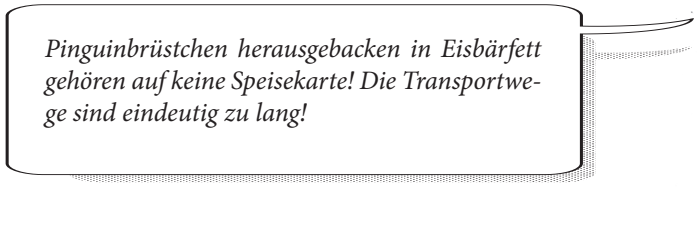
Diese Person isst sehr viel Fleisch, liebt Tiefkühlprodukte und kümmert sich nicht um die Herkunft und Produktionsweise seiner Nahrungsmittel.

Typischer Mischkostgenießer, der teilweise auf die Herkunft und die Produktion der Lebensmittel achtet. Optimierungspotential vorhanden.

Diese Person ernährt sich vegetarisch, bzw. sehr fleischarm, achtet auf regionale und saisonale Produkte, sowie auf biologisch hergestellte Lebensmittel.

Info

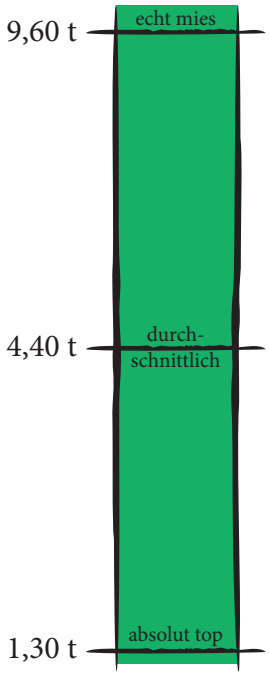
Zum Diagramm
Die Angaben beziehen sich auf den Nahrungsbedarf einer 70 kg schweren Person. Je weniger Fleisch- und Tiefkühlprodukte verzehrt werden und je mehr auf Saisonalität und Regionalität geachtet wird, desto niedriger wird der Treibhausgasausstoß.
Einsparungspotential:
über 1 t pro Person und Jahr
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt



Konsum

Jedes Ding, das wir kaufen, ist mit Energieaufwand verbunden: Von der Gewinnung der Rohstoffe, über die Produktion und den Transport bis hin zur Entsorgung. Deshalb sind Langlebigkeit und Wiederverwendung sowie die Reparatur defekter Geräte – wahrscheinlich nicht zur Freude der Wirtschaft – für das Klima eine gute Sache.

Smartphones, Fernseher, Computer – all diese Produkte wechseln wir immer schneller. Aber genau diese Produkte brauchen in ihrer Herstellung viel Energie unter dem Einsatz vieler seltener Rohstoffe.



„Shopping maniac“ – dieser Mensch leistet sich monatlich neue Waren im Wert von ca. 750 €, pfeift zugleich auf Langlebigkeit oder Produktionsbedingungen und übernachtet mehr als 4 Wochen pro Jahr in Hotels.

Man gönnt sich Produkte im Wert von etwa 450 € im Monat, da darf auch mal was Gebrauchtes dabei sein, schaut ein bisschen auf Funktionalität und übernachtet 2-4 Wochen pro Jahr im Hotel. Optimierungspotential vorhanden.

Sparsamer Shopper. Waren werden im Wert von etwa 150 € pro Monat konsumiert, vieles davon aus zweiter Hand. Man achtet beim Kauf auf Langlebigkeit und kauft nur, was man wirklich braucht. Im Hotel übernachtet man weniger als 2 Wochen pro Jahr.

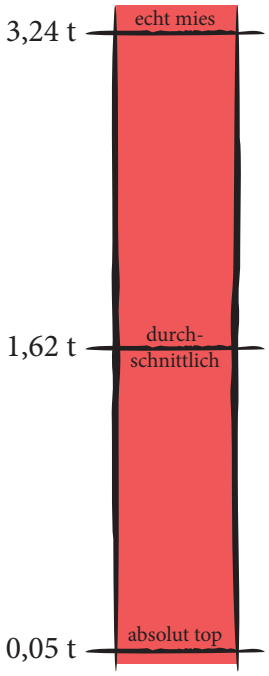
Info

Zum Diagramm
Das Einsparungspotential bei unserem Konsumverhalten ist enorm. Bei den zugrunde liegenden Daten sind nicht nur Produkte eingerechnet, sondern z.B. auch Hotelübernachtungen. Dass Menschen in ärmeren Ländern einen viel niedrigeren CO_2-Ausstoß haben, kommt also nicht von ungefähr.
Einsparungspotential: riesig!
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Straßenverkehr

Auf der ganzen Welt ist ein großer Teil des Energieverbrauchs und damit auch des CO_2-Ausstoßes dem Verkehr zuzuschreiben. Diesen Energieverbrauch kann man auf verschiedensten Wegen massiv verringern.

Dabei geht es nicht nur darum, das Auto stehen zu lassen. Neben den gefahrenen Kilometern ist vor allem der Spritverbrauch des Fahrzeugs entscheidend. Am besten schneiden natürlich öffentliche Verkehrsmittel und Elektroautos ab – auch wenn diese nicht frei von Nachteilen sind.



Die 10.000 gefahrenen Kilometer werden mit einem Auto zurückgelegt, das 12 Liter Benzin auf 100 km verbraucht.

Die 10.000 km werden mit einem Auto gefahren, das einen Benzinverbrauch von 6 Litern auf 100 km aufweist.

Dieser geringe CO_2-Ausstoß fällt an, wenn ein mit Ökostrom geladenes Elektroauto die 10.000 km im Jahr zurücklegt.

Info

Zum Diagramm
Das Diagramm bezieht sich auf die ca. 10.000 km, die jeder Europäer durchschnittlich im Jahr mit dem Auto zurücklegt. Entscheidend senken lässt sich der Verbrauch durch Achten auf den Spritverbrauch, die Antriebsart oder, durch den zumindest teilweisen Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel.

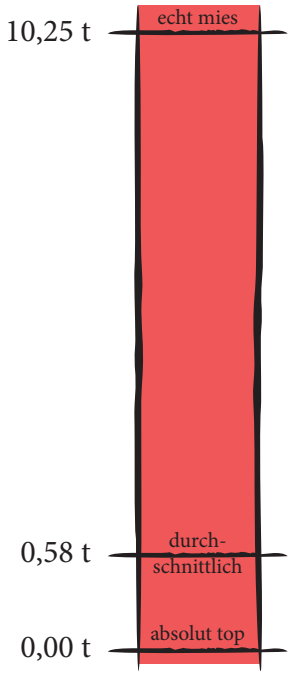
Einsparungspotential:
pro 10.000 km mehr als 3 t im Jahr

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Flugmeilen

Fliegen mag schön sein, ist aber leider mit einem riesigen CO_2-Ausstoß verbunden, weil für den Transport von relativ wenigen Menschen enorm viel Treibstoff benötigt wird. Dabei schneiden Langstreckenflüge noch schlechter ab als Flüge innerhalb des Kontinents.

Natürlich sind viele Menschen beruflich auf das Fliegen angewiesen, allerdings könnten viele Meetings mit den heutigen Technologien mühelos per Telefon- und Videokonferenz abgehalten werden. Unter großem Aufwand werden die Technologien ständig weiterentwickelt. Es ist eine (unternehmens-) kulturelle Frage, ob man sich auf diese Vorteile des Fortschritts einlässt.



50 h pro Jahr im Flieger. Davon die Hälfte auf der Langstrecke, z.B. einmal Los Angeles hin und retour. Die anderen 25 h innerhalb Europas – etwa 8-mal Zürich-London-Zürich.

Im Schnitt sitzen Menschen aus Deutschland etwa 3,5 h pro Jahr im Flugzeug.

Gar nicht fliegen ist natürlich immer am besten!

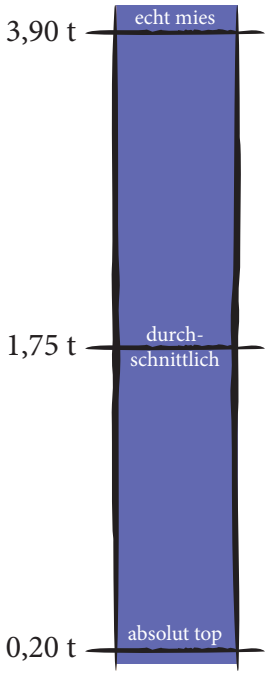
Info

Zum Diagramm
Jede eingesparte Flugmeile macht Sinn. Ein Vielflieger, der es wie im dargestellten Diagramm auf 50 Flugstunden im Jahr bringt, erzeugt mit seinem Verhalten 10 t mehr CO_2 als ein Nichtflieger. Durchschnittlich produzieren 20 Menschen aus Nigeria mit ihrer Lebensweise übers ganze Jahr weniger CO_2 als diese eine Person nur mit ihren Flugmeilen.
Einsparungspotential: riesig!
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Wohnen

Es gibt zahlreiche sinnvolle Maßnahmen in und an unseren Wohnräumen, die den CO_2-Ausstoß drastisch reduzieren, ohne dass unsere Lebensqualität darunter leidet. Durch Heizen mit Erdwärme, Holzpellets oder Stückholz, eine gute Gebäudeisolation und Fenster auf dem neusten Stand kann die CO_2-Bilanz um bis zu 95 % verbessert werden. Auch banal klingende Maßnahmen, wie etwa eine Veränderung des Lüftverhaltens oder ein Senken der durchschnittlichen Raumtemperatur reichen aus, um einige Tonnen CO_2 jährlich einzusparen.

Für die Energiebilanz und den CO_2-Ausstoß entscheidend ist die Art und Weise, wie man die Wärme erzeugt. Am besten schneiden dabei Biomasse, Holzpellets und Luft- bzw. Erdwärmepumpen ab – am schlechtesten Öl und Kohle. Bei den verwendeten Baustoffen für ein Gebäude ist Holz ideal. Im Holz ist Kohlenstoff langfristig gebunden.



Das Gebäude wurde vor 1980 errichtet und nie thermisch saniert. Die Bewohner halten die Raumtemperatur auf 22° C, haben viele Fenster in Dauerkippstellung, füllen häufig ihre Badewanne und beheizen ihre Wohnung mit Heizöl.

Die Wohnung ist neu errichtet oder voll thermisch saniert. Geheizt wird mit Erdwärme, Pellets oder Biomasse. Die Bewohner halten die Durchschnittstemperatur auf etwa 20° C und holen sich Frischluft durch kontrollierte Be- und Entlüftung oder durch Stoßlüften. Auf Baden wird verzichtet, Duschen wird bevorzugt.

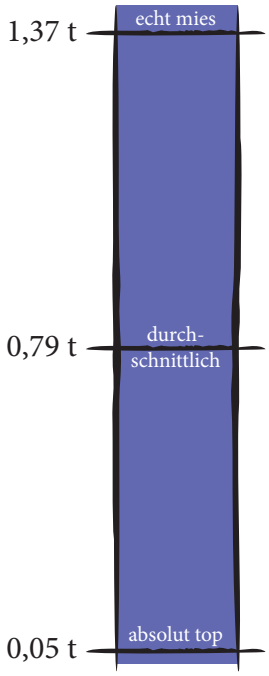
Info

Zum Diagramm
Die Grafik bezieht sich auf eine mit 2 Personen belegte 80 m² Wohnung in einem Mehrfamilienhaus. Besonders beim Wohnen lässt sich durch vernünftige Maßnahmen, die langfristig auch noch Kosten sparen, sehr leicht und ohne auf „Luxus“ zu verzichten viel CO_2 einsparen.
Einsparungspotential:
pro Person mehr als 3,5 t im Jahr
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stromverbrauch privat

Stromsparen zuhause geht ganz einfach, weil uns neue Technologien dabei helfen und wir nicht auf Gewohntes verzichten müssen. Da wären die LED-Lampen für die Beleuchtung, effiziente Haushaltsgeräte oder elektronisch geregelte Steuermechanismen.

Zusätzlich kann man sich auch aktiv am Strom- und damit Geldsparen beteiligen. Etwa indem man Geräte nach Gebrauch wirklich ausschaltet und nicht im Standby-Modus belässt, indem man den Warmwasserverbrauch reduziert oder Tiefkühlfächer regelmäßig vom Eis befreit.



Die Wohnung ist mit alten Beleuchtungselementen ausgestattet (keine LEDs), Geschirrspüler, Kühlschrank und Waschmaschine sind älter als 10 Jahre, die Wohnung ist schlecht gedämmt und daher mit einem Klimagerät ausgestattet. Der Strom wird aus dem herkömmlichen Mix bezogen.

Die Bewohner beziehen Ökostrom, die Elektrogeräte sind vom Verbrauch auf dem effizientesten Stand, LED-Lampen sorgen für die Beleuchtung, es sind wenige Kleingeräte im Einsatz.

Info

Zum Diagramm
Die Grafik bezieht sich auf den Stromverbrauch einer mit 2 Personen belegten 80 m² Wohnung in einem Mehrfamilienhaus.
Einsparungspotential:
etwa 1,3 t pro Jahr
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Hilf Hans Rüdiger!

Ziel

Wie alle Menschen reduzieren die Schüler lieber den Energieverbrauch von anderen. Besonders gut geht das mit dem CO_2-Rechner des Bayerischen Landesamts für Umwelt, zu finden unter https://lfu.co2-rechner.de/de_DE/

Hans Rüdiger ist ein CO_2-Produzent der Oberklasse, ohne sich darüber wirklich im Klaren zu sein. Er ist jung, beruflich sehr erfolgreich und dementsprechend wohlhabend. Sein Lebensstil als unbekümmerter Einzelgänger sorgt bei ihm für eine jährliche CO_2-Produktion von etwa 50 t. Der Durchschnitt in unseren Breiten liegt bei etwa 10 t CO_2 pro Jahr, das weltweit erträgliche Maß für jeden Erdenbürger bei etwa 3 t pro Jahr.

Hans Rüdiger ist viel unterwegs mit seinem flotten Porsche älteren Baujahrs, dessen Spritverbrauch bei 15 Litern Benzin/100 km liegt. Neben seinen beruflichen Strecken unternimmt er zahlreiche Kurztripps am Wochenende, sei es in den sonnigen Süden oder zum Schifahren in die Alpen. Insgesamt beläuft sich seine Fahrleistung auf ca. 30.000 km pro Jahr. Er verzichtet dabei gänzlich auf öffentlichen Verkehr – wer tauscht schon gerne ein Porsche Cabrio gegen einen vollen Bus…

Er sammelt fleißig Flugmeilen – schließlich will man die Welt gesehen haben. Im vergangenen Jahr hat er es auf 40.000 geflogene Kilometer gebracht. 32.500 km gehen dabei auf das Konto einer Australienreise, 4-mal war er beruflich auf einem Kurztrip in London – jeweils ca 1.800 km.

My home is my castle – deswegen hat es sich Hans Rüdiger in seiner 100 m^2-Altbauwohnung im Stadtzentrum auch besonders gemütlich gemacht. Als Single braucht er mangels Kuschelgelegenheit eine hohe Raumtemperatur – am liebsten 23° C. Die Wohnung wird mit Öl beheizt, die hohe Ölrechnung macht ihn dabei aber nicht sonderlich nervös. Da er abends gut durchlüftete Räume liebt, lässt er die Fenster auf Dauerkippstellung.

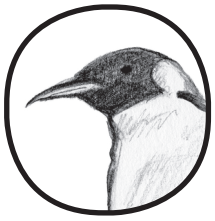
Hans Rüdiger isst gerne, wobei ihm seine tägliche Fleischration sehr wichtig ist. Woher seine Nahrung kommt, berührt ihn dabei nicht sonderlich – ob sein Chicken im Nugget wohnt oder in der Friteuse, ist ihm egal. Beim abendlichen Fernsehen darf natürlich die Tiefkühlpizza nicht fehlen, was das Obst angeht, so schmecken ihm frische Erdbeeren zu Weihnachten einfach am besten…

Er geht gerne shoppen – warum auch nicht, er kann es sich ja leisten. Dennoch freuen ihn billige Angebote immer sehr, und auf die Langlebigkeit von Produkten pfeift er – geht was kaputt, so kauft er eben was Neues.

Soweit würde alles passen, aber seine an Zukunftsängsten leidende Oma rückt ihm auf die Pelle. Sie verlangt von ihm, dass er seine CO_2-Bilanz in den Griff kriegt – wenigstens auf den Durchschnittsverbrauch.

Geh im Internet auf die Seite https://lfu.co2-rechner.de/de_DE/, gib die obigen Zahlen in den CO_2-Rechner ein und hilf Hans Rüdiger dabei, seinen CO_2-Verbrauch in vernünftige Bahnen zu lenken!

Chat



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

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.

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?

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

… und kann man was für die Zukunft daraus lernen?

Wir müssen uns wohl noch weiter bilden! 📚

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 CO_2-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 CO_2-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 CO_2-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 CO_2-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.

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 permant 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. Ernteausfälle 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 lädierter 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 Faulschlammbildung 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

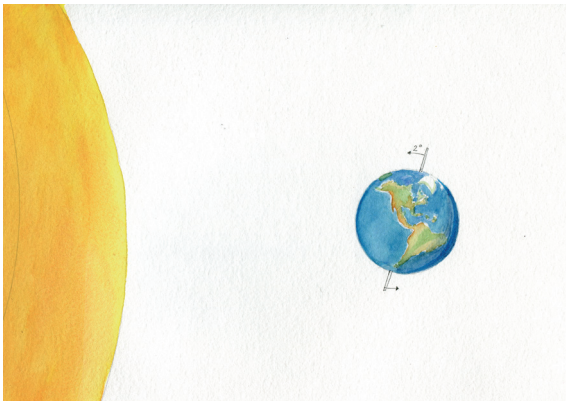
Wir sind gegen Meteoriteneinschläge genauso machtlos wie die Dinosaurier. Entscheidend sind die Größe des Meteoriten sowie der Einfallswinkel, in dem er unseren Planeten besucht. Größere Kaliber können durch den Einschlag zu großflächigen Bränden und Unmengen an Staub und Rußpartikeln in der Atmosphäre führen. Der klimatische Effekt von Meteroriteneinschlägen 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 leichterer 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° und 24,5° in einem Rhythmus von etwa 41.000 Jahren. Wenn der Wert gegen 22,1° 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°.

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.

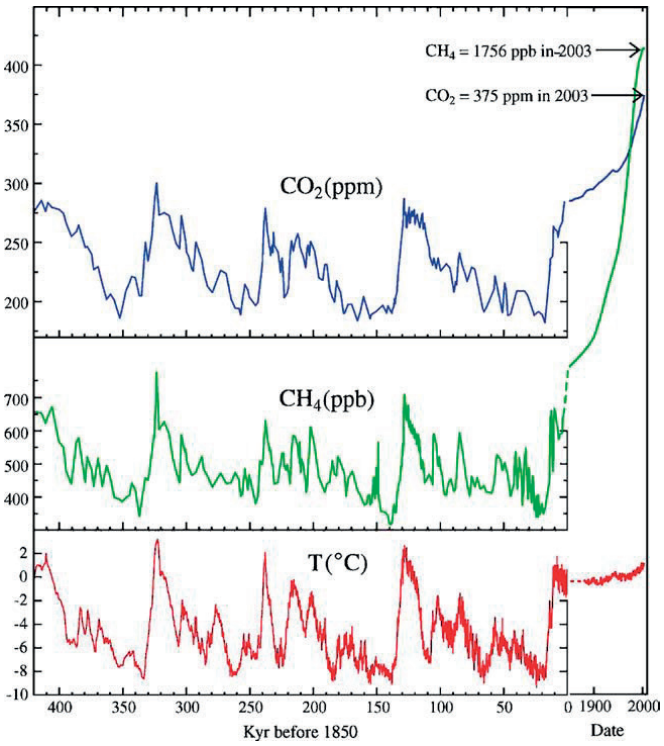
„Taumeln“ der Erde

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.



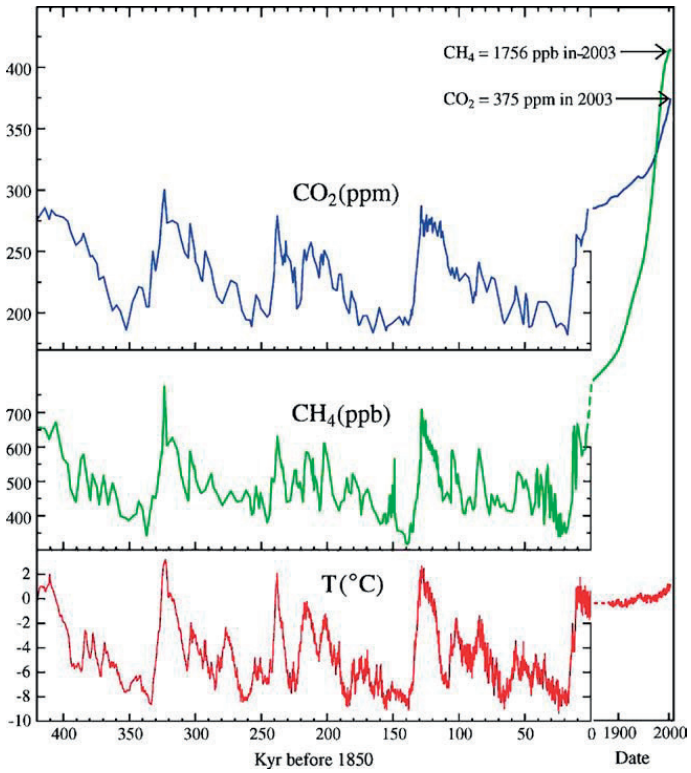
Entwicklung des CO_2- und des CH_4-Gehalts, sowie der Temperatur der letzten 450.000 Jahre
Quelle: Hansen, 2005

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?)?



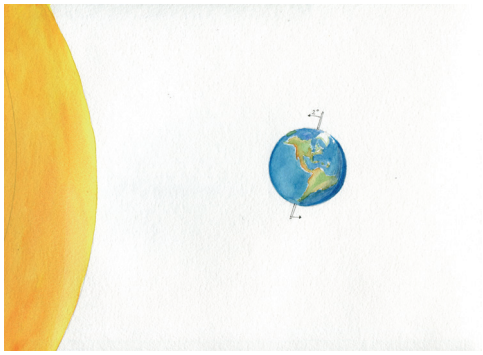
Quelle: Hansen, 2005

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

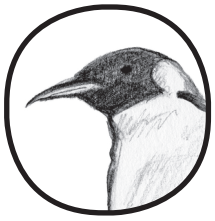
Beschreibe, wie die verschiedenen Faktoren das Klima beeinflussen!



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.

Chat



Wow, die Forscher 🔬⚗️ haben sich ja mächtig reingehängt die letzten Jahre. Und wie viele Methoden sie entwickelt haben…

Ja, ich steh auf Eisbohrkerne. Was man da alles rauslesen kann.

Hab's Opa erklärt. Es wurde schon öfters wärmer, aber noch nie so schnell. Opa sagt, das ist mein Problem. Er lebt im Moment.

Hey, ich habe eine Idee. Wir könnten ja einfach alles weiß anmalen, vielleicht wird's dann kühler?

Verrückte Idee, da sind wir lange dran. Für meine Tarnung wär's spitze.

Naja, vielleicht gibt's ja noch mehr so verrückte „Klimareparaturideen" 🛠️– hören wir uns mal um!

👍😀

06 Geoengineering

Kann man das Klima „reparieren“?

Wie funktioniert der Kohlenstoffkreislauf?

Gibt es Ansätze, um der Atmosphäre das CO_2 zu entziehen?

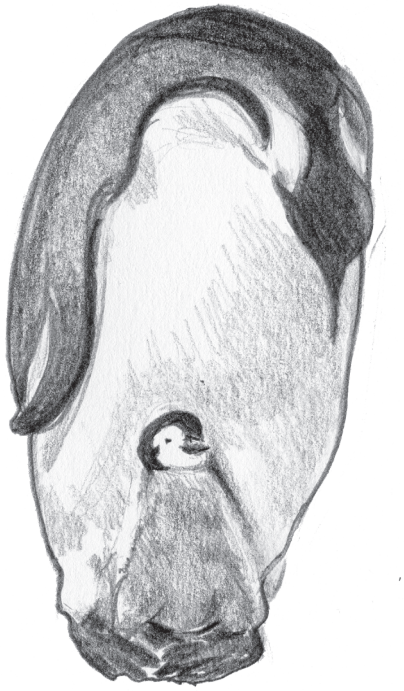
Welche Ideen gibt es, um die Sonneneinstrahlung zu verringern?

Welche Probleme können sich mit den verschiedenen Möglichkeiten ergeben?

Können wir das Klima reparieren?

Einige Naturwissenschaftler und Ingenieure haben angesichts des schnellen Anstiegs der CO_2-Konzentration schon vor Jahren damit begonnen, sich zu überlegen, mit welchen Methoden man den CO_2-Gehalt in der Atmosphäre aktiv senken könnte. Offensichtlich sind sie der Überzeugung, dass die von Politikern und der Gesellschaft – damit sind wir alle gemeint – geplanten und versprochenen Einsparungen nicht reichen werden. Anfangs wurden die Methoden belächelt, mittlerweile wird jedoch immer mehr in diese Richtung geforscht. Es liegen auch schon erste Ideen auf dem Tisch.

Mit künstlichen „Bäumen“ soll CO_2 aus der Atmosphäre gesaugt werden. Oder unsere Lufthülle wird „absichtlich“ verschmutzt, damit weniger Sonnenlicht auf die Erdoberfläche gelangt. Diese Methoden sind sehr teuer und wir wissen nicht, wie groß ihr Nutzen sein wird und welche unerwünschten Nebenwirkungen und Risiken sie für uns und für das Leben auf der Erde haben könnten. Bei einigen Methoden ist es fraglich, ob die Wirkung bei Bedarf wieder rückgängig gemacht werden könnte.



Können wir das Klima reparieren?

Verrückt, verwegen, teuer, kühn – und mitunter gefährlich. Das sind die Rückmeldungen, die vielfach auf die Bestrebungen von Wissenschaftlern und Ingenieuren, die sich mit Geoengineering beschäftigen, zu hören sind.

Generell gibt es beim Geoengineering zwei Strömungen. Die eine Richtung will den CO_2-Gehalt der Atmosphäre aktiv senken, die andere will die Sonneneinstrahlung reduzieren.

CO_2-Gehalt senken
Künstliche „Bäume“: Technische Einrichtungen sollen aktiv CO_2 aus der Luft filtern.

Phytoplankton züchten: Im Südpolarmeer gibt es nährstoffarme Gebiete. Diese sollen mit Eisen gedüngt werden, damit Phytoplankton wachsen kann und CO_2 in Form von Kalk ($CaCO_3$) in seine Schalen einbaut.

Sonneneinstrahlung reduzieren
Erde beschatten: Ähnlich wie bei großen Vulkanausbrüchen in der Vergangenheit sollen riesige Mengen an kleinen Partikeln in die Stratosphäre (20-25 km Höhe) verteilt werden, damit weniger Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche durchdringt.

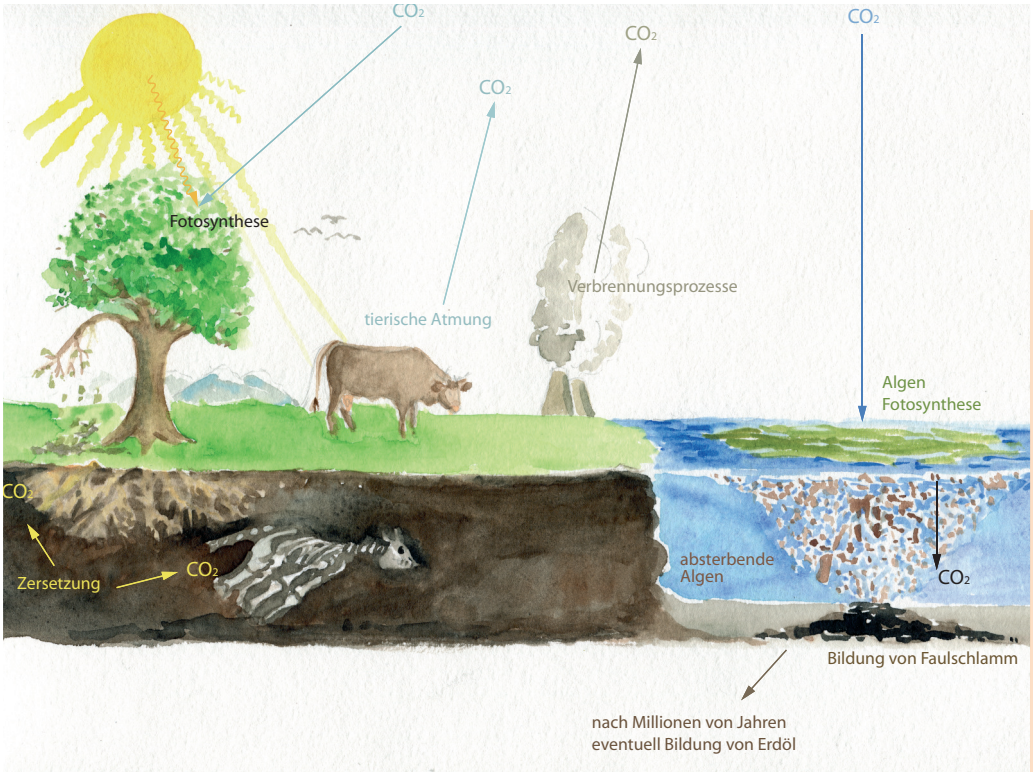
Spiegelnde Flächen: Riesige Spiegel im All oder mehr spiegelnde Oberflächen auf der Erde sollen die Sonnenstrahlen direkt in den Weltraum reflektieren.

Der Kohlenstoff im Kreislauf

Die C-Atome unseres Planeten sind die Tausendsassas unter Ihresgleichen. Sie sind in zahlreichen Verbindungen anzutreffen – im Calciumcarbonat ($CaCO_3$) der Kalkgesteine und der Schalen von Lebewesen, in den komplexen Molekülen des Lebens – ob tot oder lebendig – und in der Atmosphäre, wo sie im CO_2 oder im CH_4 ihr Dasein fristen.

Das CO_2 dient dabei sozusagen als Vermittler zwischen der belebten und der unbelebten Natur. Pflanzen nehmen das Gas auf und bilden daraus im Rahmen der Fotosynthese mit Hilfe von Licht und Wasser Glucose ($C_6H_{12}O_6$). Tiere fressen diese neu entstandene organische Substanz, verbrennen sie und atmen wiederum CO_2 aus. Das wäre die Basis des natürlichen Gleichgewichts. Einzeller mit Kalkschalen nehmen CO_2 auf und wandeln es in Kalk um. Ebenso nehmen Korallen CO_2 auf und bauen daraus ihr Kalkskelett.

Für das Klima ist entscheidend, in welchen Bindungen der Kohlenstoff vorkommt. Ist zu viel im Gestein, im Erdöl, in den Kalkschalen von Einzellern, wie Foraminiferen, oder im Kalkskelett von Korallen gebunden, dann wird es eisig auf unserem Planeten. Ist zu viel Kohlenstoff in Form von CO_2 oder CH_4 in der Atmosphäre, wird es zu heiß. Es kommt also auf die richtige Dosis an. Im Zuge der industriellen Revolution haben wir damit begonnen, Energie durch Verbrennung von fossil gespeichertem Kohlenstoff – in Form von Kohle, Gas und Öl – zu gewinnen. Dadurch sind Unmengen von CO_2 in die Atmosphäre gelangt.



Info

Kohlenstoffkreislauf
Ob in Tieren, Pflanzen, in der Luft, am Meeresboden, in Kohle- und Erdöllagerstätten oder gebunden im Gestein, C-Atome sind überall anzutreffen, ihr Kreislauf bestimmt nicht nur die Temperatur der Atmosphäre.

Können wir das Klima reparieren?

CO_2 zu Kalkgestein
In Island laufen Pilotprojekte, deren Ziel es ist, das in Kohlekraftwerken entstandene CO_2 in bestimmte Gesteinsschichten zu pumpen. Dort wird der Kohlenstoff über chemische Reaktionen in harmlosem Kalkgestein ($CaCO_3$) gebunden. Dies ist eine Möglichkeit, CO_2 abzuscheiden und in der Tiefe zu speichern. Das Problem dabei ist, nicht alle Regionen der Erde verfügen direkt neben ihren Kohlekraftwerken über die geeigneten Gesteinsschichten.

Künstliche „Bäume“
Ebenfalls erforscht werden technische Einrichtungen, die in der Lage sind, CO_2 aktiv aus der Luft zu filtern. Die Filterung ist jedoch energieaufwändig und es ist noch unklar, wohin man mit dem gewonnenen CO_2 soll. Zudem gibt es bereits Wunderwerke der Natur, wie natürliche Bäume, man könnte diese einfach stehen lassen.

Plankton züchten
Das Südpolarmeer hat Bereiche, die nährstoffarm sind, und deshalb kaum Lebewesen beherbergen. Aber sie weisen Umgebungsbedingungen auf, unter denen Plankton prinzipiell gedeihen kann. Plankton bindet durch Fotosynthese CO_2 in seiner Biomasse und, im Falle von kalkschalenbildendem Phytoplankton (Haptophyta, Foraminiferen), baut es als Calciumcarbonat in seine Schale ein. Ein Teil des Planktons sinkt nach dem Absterben im Ozean ab, und wird dort in Meeressedimenten abgelagert. Der entsprechende Anteil an Biomasse und Calciumcarbonat, sowie der darin enthaltene Kohlenstoff, wird dem Kohlenstoffkreislauf der Erde entzogen, und führt zu einer Reduktion der Menge des verfügbaren CO_2 in der Atmosphäre. Phytoplankton braucht, wie wir Menschen auch, Eisen um zu gedeihen. Mehrere Forschungsprojekte im Zeitraum von 1995 bis 2012 untersuchten, inwieweit eine Düngung dieser Meeresbereiche mit Eisensulfat das Wachstum der Algen fördert. Das Risiko dabei ist, dass niemand weiß, welche Folgen die Düngung der Meere und die damit verbundene, massive Förderung eines Teilnehmers eines Ökosystems langfristig bedeutet – wer sagt den Kieselalgen, wann sie mit Wachstum und Vermehrung aufhören sollen?

Entzug von Biomasse
Eine Richtung zur Reduktion des CO_2-Gehalts befasst sich damit, Biomasse wie z.B. Ernteabfälle im großen Stil in tiefen Meeresbereichen zu versenken. So wird die Zersetzung und die damit verbundene CO_2-Freisetzung durch Bakterien verhindert. Hier sind vor allem logistische Probleme, sowie der Grundsatz, die Ökosysteme der Meere nicht aktiv zu verändern, hinderlich.

Können wir das Klima reparieren?

Erde beschatten
Große Vulkane machen es vor. Sie schleudern ihre Asche in große Höhen, die Partikel sorgen für eine leichte Beschattung und es gelangt weniger Sonnenlicht bis zur Erdoberfläche. Der letzte Ausbruch, der diesbezüglich eine nennenswerte Abkühlung verursachte war der Pinatubo 1992. Der Ausbruch des Tambora 1815 war heftiger – ihm folgte 1816 das „Jahr ohne Sommer" auf der Nordhalbkugel. Diese Beobachtungen führten Forscher wie David Keith zu Überlegungen, ob das die Menschheit nicht auch zustande bringt. Große Mengen an Partikeln werden in die Stratosphäre, in Höhen von 20-25 km, geschleudert. Dort verbleiben sie länger als in der darunter liegenden Troposphäre. Diskutiert wird dabei die Verwendung von Schwefelverbindungen, welche die Sonneneinstrahlung auf der Erde reduzieren sollen. Folgen? Unabsehbar. Kosten? Schwer einzuschätzen. Aufwand? Enorm.

Spiegelnde Oberflächen
Weiters diskutiert wird eine aktive Beschattung von Teilen der Erdoberfläche. Sei es durch spiegelnde Oberflächen im All oder durch den Einsatz von mehr reflektierenden Oberflächen an Land. Der technische Aufwand hierbei ist enorm. Zudem sind die Auswirkungen auf Windzirkulationen und Meeresströmungen nicht abschätzbar. Des Weiteren senkt eine Beschattung den CO_2-Gehalt nicht und wäre daher als Gegenmaßnahme zur CO_2-bedingten Versauerung der Meere völlig wirkungslos.

Keiner dieser Wege führt uns gefahrlos in die Zukunft. Die Suche nach technischen Lösungen aus der Klimakrise steckt in den Kinderschuhen. Zu groß sind noch der technische Aufwand und die damit verbundenen Kosten. Auch die Folgen und „Nebenwirkungen" dieser aktiven Eingriffe sind noch nicht abschätzbar, aber vielleicht folgt sie ja bald, die einfache, praktikable und flächendeckend einsetzbare Lösung, das CO_2 in der Atmosphäre zu reduzieren.

Die Hoffnung stirbt bekanntlich zuletzt...

Schlusswort

„Nie haben die Massen nach Wahrheit gedürstet. Von den Tatsachen, die ihnen missfallen, wenden sie sich ab und ziehen es vor, den Irrtum zu vergöttern, wenn er sie zu verführen vermag. Wer sie zu täuschen versteht, wird leicht ihr Herr, wer sie aufzuklären sucht, stets ihr Opfer.“ (Gustave Le Bon)

Erderwärmung – eine hysterische Panikmache?

In den vergangenen Jahrzehnten haben unter anderem Mineralölkonzerne etliche Millionen dafür ausgegeben, Erkenntnisse von Forschern, die schon seit den 1950ern vor einer Erwärmung der Erde warnen, anzuzweifeln, die Folgen herunterzuspielen oder die Forscher öffentlich zu diskreditieren – und das ganz unverhohlen. Um das herauszufinden, braucht man gar keine geheimen Dokumente zu durchforsten, das lässt sich auf gängigen Enzyklopädien im Internet nachlesen und wird nicht einmal dementiert.

Die Lobbys waren erfolgreich. In weiten Teilen der Bevölkerung wird – trotz der gemessenen Temperaturen und Treibhausgaskonzentrationen, der geschmolzenen Eisflächen, der unzähligen Beobachtungen in der Natur und vielem anderem mehr – fleißig weitergezweifelt.

Die Erde erwärmt sich, darin sind sich fast alle Wissenschaftler einig. Wir uns auch. Und dennoch, würden wir mit unserer Einschätzung gerne falsch liegen! Es würde bedeuten, dass wir den Umstieg auf erneuerbare Energien und Effizienzsteigerungen umsonst gemacht hätten… Umsonst? Wäre es so schlimm, aus Kohle, Gas und Öl ausgestiegen und nicht mehr davon abhängig zu sein? Nichts wäre umsonst gewesen. Die Probleme hätten sich nur in Luft aufgelöst...

Unser Dank gilt allen, die uns bei der Realisierung dieser Mappe geholfen haben. Im Besonderen Dr. Christian Stepanek, Dr. Walter Geibert und Winfried Hebold-Heitz vom Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Eure genauen Analysen und fachlichen Kommentare haben diese Mappe erst ermöglicht! Ein ganz spezielles Danke geht an Andrea Nagl, für ihre – wie immer – genialen Illustrationen! Herzlichen Dank an die Direktoren der inatura Erlebnis Naturschau – Mag. Ruth Swoboda und Dr. Peter Schmid – für ihr grenzenloses Vertrauen in unsere Arbeit. Wir danken auch der Firma Jochum Druck in Schwarzach für die Geduld, die Beratung bei der Umsetzung und die Möglichkeit, mit umweltschonenden Materialien diese Mappe zu verwirklichen.

Verwendete und weiterführende Literatur

Allison I., Bindoff N.L., Bindschadler R.A., Cox P.M., de Noblet N., England M.H., Francis J.E., Gruber N., Haywood A.M., Karoly D.J., Kaser G., Le Quéré C., Lenton T.M., Mann M.E., McNeil B.I., Pitman A.J., Rahmstorf S., Rignot E., Schellnhuber H.J., Schneider S.H., Sherwood S.C., Somerville R.C.J., Steffen K., Steig E.J., Visbeck M. & Weaver A.J. (2009). The Copenhagen Diagnosis. Updating the World of the Latest Climate Science. Philadelphia: Elsevier.

APCC (2014). Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Berner U. & Streif H. (Hrsg.) (2004). Klimafakten: der Rückblick - ein Schlüssel für die Zukunft (4. Auflage). Stuttgart: Schweizerbart.

Böhm R. (2008). Heisse Luft: Reizwort Klimawandel: Fakten, Ängste, Geschäfte. Wien-Klosterneuburg: Edition Va Bene.

Eitzinger J., Kersebaum K.C. & Formayer H. (2009). Landwirtschaft im Klimawandel: Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Clenze: Agrimedia.

Essl F., Lexer M.J. & Seidl R. (2013). Wälder: Anbaugrenzen, Klimaextreme, Parasiten und Störungen. In F. Essl und W. Rabitsch (Hrsg.), Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa (S. 179-192). Heidelberg, Berlin: Springer Spektrum Verlag.

Evans D.A., Beukes N.J. & Kirschvink J.L. (1997). Low-latitude glaciation in the Palaeoproterozoic era. Nature 386, 262 – 266.

Friedrich O., Erbacher J., Moriya K.,Wilson P.A. & Kuhnert H. (2008). Warm salineintermediate waters in the Cretaceous tropical Atlantic Ocean, Nat. Geosc., 1, 453-457.

Fritsche U.R. (2007). Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. Öko-Institut, Büro Darmstadt.

Fuhrer J. (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO_2, ozone, and global climate change. Agriculture, Ecosystems & Environment, 97(1), 1-20. 108.

Gabriel D. (2016). Aktueller Stand der Wissenschaft zum Thema Klimawandel und ein Vorschlag zur didaktischen Umsetzung im Unterricht, Diplomarbeit, Universität Innsbruck. 116 S.

Graßl H. (2005). Das Klima der Erde und seine Änderungen. In Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.). Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten? (S. 18-23). München: pg Verlag München.

Hain M.P., Sigmal D.M. & Haug G.H. (2014). 8.18 – The biological Pump in the Past. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Treatise on Geochemistry (Second Edition), 2014, Pages 485-517.

Hansen J.E. (2005). A Slippery Slope: How Much Global Warming Constitutes "Dangerous Anthropogenic Interference"? In Climatic Change, Volume 68, Number 3, Page 269.

Hartmann J., West A.J., Renforth P., Köhler P., De La Rocha C.L., Wolf-Gladrow D.A., Dürr H.H. & Scheffran J. (2013). Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification, Rev. Geophys., 51, 113–149, doi:10.1002/rog.20004.

Hulme M. & Jones P.D. (1994). Global Climate Change in the instrumental period, Environmental Pollution, 83, 23-36.

IPCC (2007). Häufig gestellte Fragen und Antworten. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor & H.L. Miller (Hrsg.), Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen, Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Cambridge, New York: Cambridge University Press.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, New York: Cambridge University Press.

IPCC (2014). Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

Klein A. (2007). Klimawandel und Tourismus in der Europäischen Union: Folgen für den Wintersport- und Sommertourismus. Saarbrücken: Verlag Dr. Müller.

Köhler P., Hartmann J. & Wolf-Gladrow D.A. (2010). Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine, PNAS, 107, 20228-20233, doi: 10.1073/pnas.1000545107. S. 6.

Latif M. (2009). Klimawandel und Klimadynamik. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Latif M. (2012). Globale Erwärmung. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Niebert K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.

Pollard R.T., Salter I., Sanders R.J. et al. (2009). Southern Ocean deep-water carbon export enhanced by natural iron fertilization, Nature 457, 577–580, doi:10.1038/nature07716.

Rabitsch W. & Essl F. (2013). Änderungen im globalen Klimasystem mit Auswirkungen auf Mitteleuropa. In F. Essl und W. Rabitsch (Hrsg.), Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa (S. 147-153). Heidelberg, Berlin: Springer Spektrum Verlag.

Rahmstorf S. (2005). Die Klimaskeptiker. In Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.), Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten? (S. 76-84). München: pg Verlag München. 112.

Rahmstorf S. & Schellnhuber H.J. (2007). Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie (7. Auflage). München: Verlag C.G.Beck oHG.

Ruddiman W. F. (2008). Earth's Climate, Past and Future (2nd edition), W.H. Freeman, New York, 388 pp.

Schuler S. (2005). Umweltwissen als subjektive Theorie: Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum Klimawandel. In M. Schrenk (Hrsg.), Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ergebnisse empirischer Untersuchungen (S. 97-112). Hamburg: Kovac.

Schuler S. (2011). Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels: Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Bochum: Europäischer Universitätsverlag.

Smolka A. (2005). Klimaänderungen und Vulkanismus. In Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.), Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten? (S. 50-56). München: pg Verlag München.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.) (2006). Die Zukunft der Ozeane: zu hoch, zu warm, zu sauer. Berlin. 114.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012). Geo-Engineering: wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn? Methoden - Rechtliche Rahmenbedingungen – Umweltpolitische Forderungen. 48 S, Dessau.

Umweltbundesamt (2017). Anderl M., Burgstaller J., Gössl M., Haider S., Heller Ch., Ibesich N., Kuschel V., Lampert Ch., Neier H., Pazdernik K., Poupa St., Purzner M., Rigler E., Schieder W., Schneider J., Schodl B., Stix S., Storch A., Stranner G., Vogel J., Wiesenberger H., Winter R. & Zechmeister A. Klimaschutzbericht 2017. Reports, Bd. REP-0622. Umweltbundesamt, Wien.

Internetquellen:

Bayerisches Landesamt für Umwelt. CO_2-Rechner.
https://www.lfu.bayern.de/energie/co2_rechner/index.htm (Abgerufen am 05.03.2018)

NASA Earth Observatory. Global temperatures by Carlowicz M.
https://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/decadaltemp.php?all=y
(Abgerufen am 04.03.2018)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide – Recent global CO_2.
http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html (Abgerufen am 12.09.2015)

Spratt R.M. & Lisiecki L.E. A Late Pleistocene sea level stack, Clim. Past, 12, 1079-1092.
https://doi.org/10.5194/cp-12-1079-2016 (Abgerufen am 17.11.2017)

Stiftung Wissenschaft und Politik – Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit. (SWP). Herausforderung Klimawandel.
http://www.swp-berlin.org/de/swp-themendossiers/klimapolitik.html (Abgerufen am 10.11.2013)

The Columbia Electronic Encyclopedia, 6th ed, Columbia University Press.
https://www.infoplease.com/encyclopedia/pla ces/africa/african-physicalgeography/sahara/climate (Abgerufen am 01.12.2017)

UNEP, n.d., Mato Grosso. Environmental Change Hotspots. Division of Early Warning and Assessment (DEWA). United Nations Environment Programme (UNEP).
https://na.unep.net/atlas/webatlas.php?id=2358 (Abgerufen am 05.03.2018)