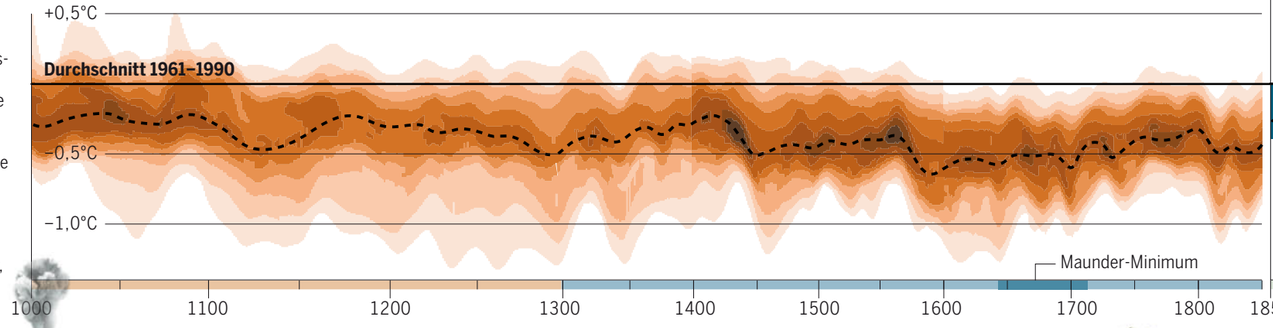
Das Klima der letzten 1000 Jahre

Reise in die Vergangenheit

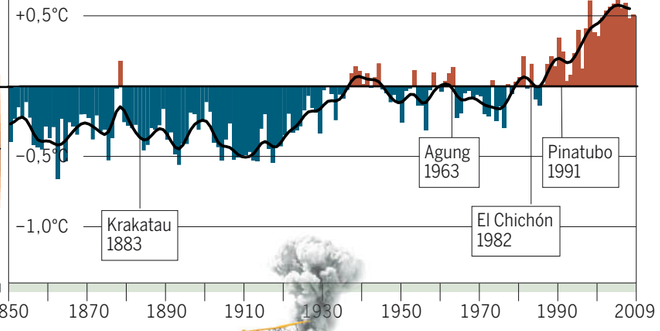
Der Temperaturverlauf für die Zeit vor 1850 wird indirekt bestimmt: mithilfe von Klimaarchiven wie Eisbohrkernen, See- und Meeressedimenten, Baumjahrringen, Gletschern, Korallen und historischen Aufzeichnungen. Je nach Klimaarchiv schwankt die Temperatur, wie die braune Kurve zeigt. Je dunkler die Farbe, desto besser stimmen die Klimaarchive überein. Die gestrichelte Temperaturlinie verläuft entlang der Werte, die mit den meisten Rekonstruktionen übereinstimmen. Die Qualität der rekonstruierten Daten wird mithilfe den Messungen, die es seit 1850 gibt, verifiziert.

Temperatur auf der Nordhemisphäre: Abweichung vom Durchschnitt der Jahresdaten 1961–1990

Rekonstruiert aus verschiedenen Klimaarchiven



Gemessene Jahresabweichungen



Messdaten seit 1850

Tausende Messstationen an Land, Bojen und Schiffe auf den Ozeanen liefern Temperaturdaten der Erdoberfläche. Die durchschnittlichen Jahreswerte der Grafik stammen von der Datenbank HadCRUT3 des britischen Hadley Center. Die Unsicherheiten sind hier nicht eingezeichnet. Messfehler, Temperatureffekte (z.B. wärmere Umgebung bei Messstation einer Stadt) und Stationsdichte auf der Nordhemisphäre (je dichter, desto kleiner der Fehler) sind berücksichtigt. Die Erderwärmung der letzten drei Jahrzehnte ist eindeutig laut Uno-Klimarat (IPCC).



Mittelalterliche Wärmeperiode (1000–1300)

Nordische Seefahrer gründen im 10. Jahrhundert Siedlungen auf Südgrönland. Das arktische Meer ist weit in den Norden eisfrei. Günstige Klimabedingungen herrschen erst in Russland und Grönland, später in fast ganz Europa. Die Bevölkerung Europas wächst von etwa 61 auf 73 Millionen Menschen. Ackerflächen nehmen zu, Bauern roden Wälder und bauen in höheren Lagen an. Die Zahl der Städtegründungen steigt.

Warm- und Kaltphasen wechseln ab. Für die Schwankungen sind vermutlich Vulkanausbrüche und Änderungen der Sonneneinstrahlung verantwortlich. Es gibt keine Indizien, dass diese Klimaperiode wärmer war als die letzten Jahrzehnte seit 1980. Unsicher ist, ob die damalige Erwärmung die gesamte Nordhemisphäre erfasst hatte.

Kältere Phase (1300–1850)

Die Siedlungen auf Grönland werden aufgegeben. Im frühen 14. Jahrhundert sind die Winter in Europa deutlich kälter. Immer wieder treten Jahre ohne Sommer auf. Gletscher stossen vor. Es gibt in dieser Zeit auch warme Perioden (1380–1425). Auch in der anschliessenden Kaltphase bis 1500 gibt es in Europa warme Jahre: 1473 und 1540 gelten als die heissesten und trockensten Jahre des letzten Jahrtausends. In Basel blühen die Kirschbäume bereits im März. Im 17. und 18. Jahrhundert, während der «Kleinen Eiszeit» sinkt die Jahrestemperatur etwa 0,2–0,6 Grad gegenüber der mittelalterlichen Wärmeperiode.

Die Zeit zwischen 1645 und 1715 nennt man **Maunder-Minimum.** Ernteerträge sinken, ein grosser Teil der Bevölkerung in Europa verarmt. Die Höhenlandwirtschaft wird aufgegeben. Es leben etwa 170 Millionen Menschen in Europa. Im frühen 18. Jahrhundert wird es wieder wärmer, der Trend der Sonnenaktivität ist steigend.

1850–heute

Nach 1850 beginnen die Gletscher in Europa wieder zu schmelzen. Trotzdem sind die Jahrzehnte bis 1910 im Vergleich zu heute deutlich kühler. Die Erwärmung bis 1940 ist auf die Launen der Natur zurückzuführen, aber auch auf den Anstieg der Treibhausgase und teilweise auf die zunehmende Sonnenaktivität. Zwischen 1940 und 1970 ist das Klima insgesamt konstant: Die Entwicklung der Industrie und des Verkehrs verursacht Feinstaub (Aerosole). Kühlende Effekte der Aerosole und wärmende der Treibhausgase halten sich die Waage. Das Meer als Wärmepuffer könnte eine Rolle spielen.

Schuld an der deutlichen Erwärmung der letzten 30 Jahre sind hauptsächlich die steigenden Treibhausgase durch Verkehr, Haushalte und Industrie. Die Sonnenaktivität zeigt keinen positiven Trend. Asche und Schwefel von Vulkanausbrüchen bringen kältere Jahre. Doch der langjährige Wärmetrend zeigt eindeutig nach oben.

Kohlenstoff-Kreislauf

Das Gleichgewicht

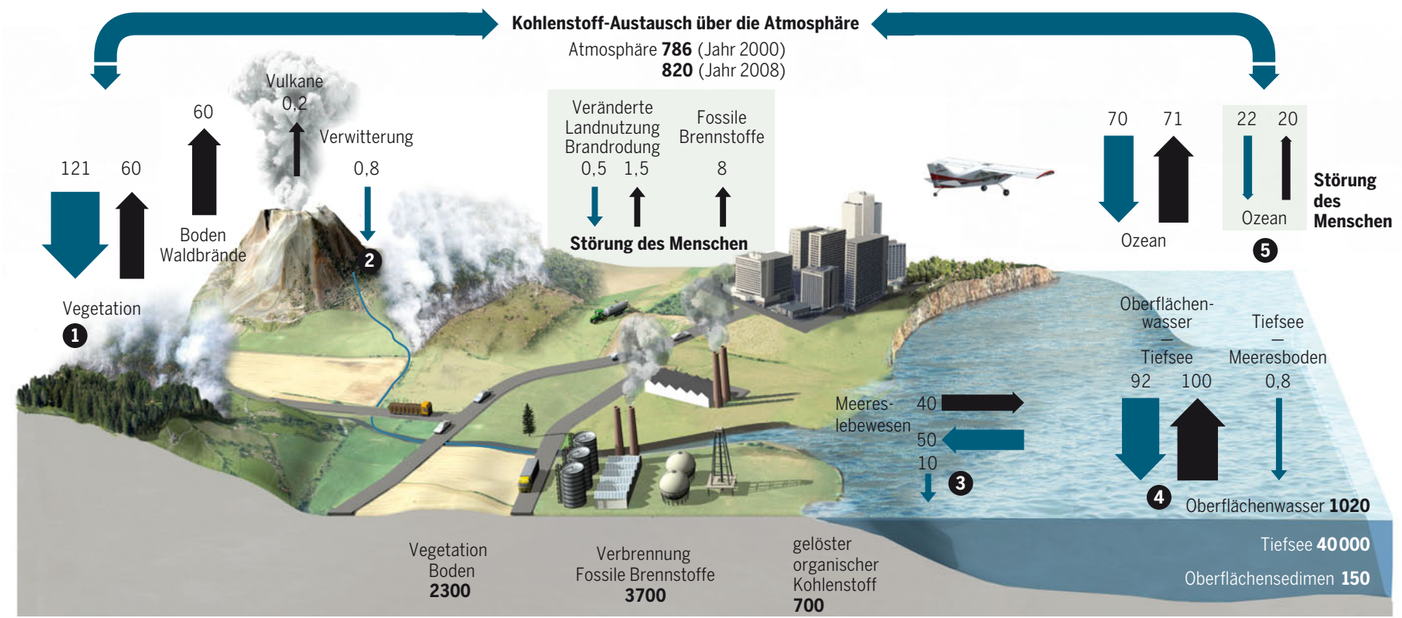
Kohlenstoff C ist für das irdische Leben existenziell. Er ist gespeichert in Böden, Wäldern, in den Meeren und in der Atmosphäre. Zwischen diesen Reservoiren herrscht ein reger Austausch, wobei der Ozean unter dem Strich 1 Milliarde Tonnen C verliert, das Land hingegen 1 Milliarde C speichert. Auch wenn einzelne Posten der Kohlenstoffbilanz noch nicht ganz geklärt sind: Der Kohlenstoffkreislauf ist von Natur aus im Gleichgewicht.

Die Störung

Der Mensch verbrennt Erdöl, Kohle und Erdgas, er brandrodet und verändert Kultur- und Grünland – und dabei gelangt Kohlenstoff bzw. CO_2 in die Atmosphäre. Die Hälfte bleibt dort, den Rest speichern Vegetation und Ozeane. Doch die Aufnahmefähigkeit des Meeres nimmt allmählich ab.

Kleiner Beitrag, gefährliche Erwärmung

Der CO_2-Beitrag des Menschen ist klein, doch er reicht, um die Erde gefährlich zu erwärmen. Der CO_2-Anteil der Gase in der Atmosphäre beträgt heute etwa 0,038 Prozent. Das ist der höchste Wert seit mindestens 800 000 Jahren vor der Industrialisierung. Vor 200 Jahren betrug er 0,028 Prozent. Geht die Entwicklung ungebremst weiter, steigt das Risiko, dass die Schäden durch Stürme, Fluten und Dürren stark ansteigen.



Mengenangaben in Milliarden Tonnen

↓↑ Austausch/pro Jahr

700 Reservoir

❶ Pflanzen binden C über die Fotosynthese in Form von CO_2, ein Teil wird wieder veratmet. Bodenorganismen und Waldbrände setzen C wieder frei.

❷ Flüsse transportieren verwittertes Gestein mit C (Karbonate) ins Meer.

❸ Plankton nimmt C auf, Atmung der Organismen gibt C ab. Ein kleiner Teil C wird als organisches Material in die Tiefe exportiert, dort wird es zersetzt, und C wird wieder frei.

❹ Austausch des Kohlenstoffes durch die Meerdurchmischung.

❺ Zusätzliche Kohlenstoffaufnahme aufgrund der Emissionen des Menschen. Kühles Wasser nimmt C auf, wärmeres gibt ab. Das kann zur Versauerung des Ozeans führen.

Illustration: Micha Treuthardt
Recherche/Redaktion: Martin Läubli

Quellen: IPCC, AR4, WP1/500 Jahre Klimawandel, Christian Pfister, Universität Bern/Hadley Center/Information Stefan Brönnimann und Nicolas Gruber, ETH Zürich; Thomas Stocker, Uni Bern/Der Klimawandel, S. Rahmstorf/Uno/ Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung