

6. Klimaveränderungen der Vergangenheit

In der Vergangenheit der Erde hat es bereits große Klimaveränderungen gegeben, auf die im Folgenden eingegangen wird.

In **Bild 6.1** ist der längstens bekannte Temperaturverlauf dargestellt. Diese Temperaturen wurden aus den in Eisbohrkernen eingeschlossenen Gasen ermittelt. Diese Temperaturbestimmung ist sehr aufwendig und wurde in großangelegten Forschungsprojekten durchgeführt. In Grönland und in der Antarktis ist die größte Eisschicht etwa 3300 m mächtig. Die Höhe ist notwendig, dass das Eis zum Meer abfließen kann. Das Eis am Boden hat dieses hohe Alter. Die an beiden Erdpolen ermittelten Temperaturen stimmen relativ gut überein. Aus dem Bild ist ersichtlich, dass es große Temperaturschwankungen gab. Für diese Temperaturschwankungen werden drei Anomalien der Erdbewegung verantwortlich gemacht, die erstmalig 1920 von Milankovitch postuliert wurden und daher nach ihm benannt sind. Experimentelle Werte hierzu sind erstmalig von [Hays et al. 1976] veröffentlicht worden.

1. Die Exzentrizität (Radiusänderung) der Umlaufbahn der Erde um die Sonne ändert sich mit einem Zyklus von etwa 100 000 Jahren. Der Einfluss anderer Planeten soll hierfür verantwortlich sein.
2. Die Neigung der Erdachse gegenüber der Umlaufbahn der Sonne (Nukleation) ändert sich mit einer Periode von etwa 40 000 Jahren zwischen 22,1 °C und 24,5 °C. Je stärker diese Neigung ist, desto schärfer wird der Unterschied zwischen Sommer und Winter.
3. Die Erdrotationsachse beschreibt wie bei einem Kreisel einen Kegel. Diese Bewegung wird wiederum durch andere Planeten beeinflusst. Die Schwankungen der Kreiselbewegung haben Zyklen zwischen 19 000 und 23 000 Jahren.

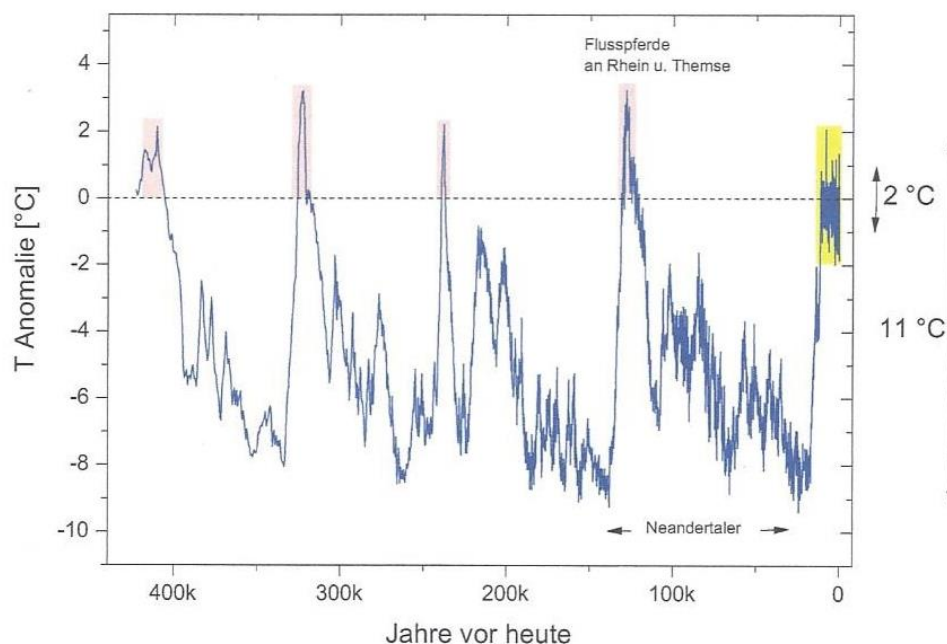


Bild 6.1: Historische Änderungen im Temperaturverlauf der Erde ermittelt aus Eisbohrkernen nach Pelit et al. 1999 und Lüdecke 2018. Der Wert 0 °C entspricht etwa unserer heutigen globalen Durchschnittstemperatur

Aus dem Bild 6.1 ist ersichtlich, dass die Temperaturänderung in der Erdgeschichte bis zu 11 Kelvin betragen haben. Die Linie 0 °C entspricht etwa unserer heutigen globalen Temperatur. Die Zeiten über 0 °C sind stets relativ kurz gewesen. Die meiste Zeit war es erheblich kälter als heute. Im Moment befinden wir uns in dem Peak der Warmphase. Die Umlaufbahn der Erde ist also besonders dicht an der Sonne. Die Peaktemperaturen in der Vergangenheit scheinen sogar geringfügig höher zu sein als die gegenwärtige Peaktemperatur. Verlängert man den Temperaturverlauf in die Zukunft, ist alsbald (Zeitraum von vielleicht 1 000 Jahren) mit einem drastischen Temperaturabfall zu rechnen.

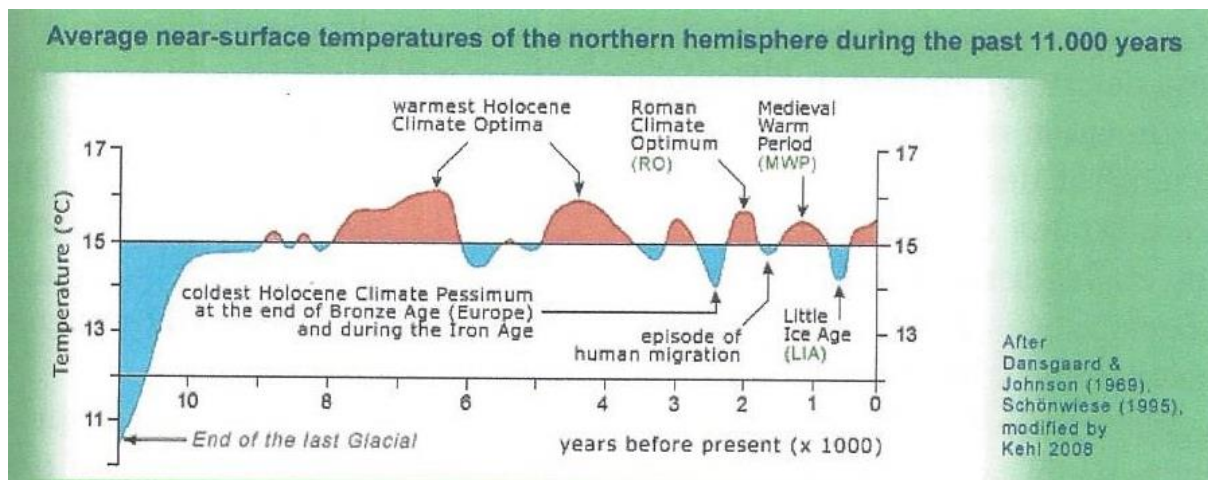


Bild 6.2: Mitteltemperaturen der Nordhemisphäre der letzten 11 000 Jahre (Lüdecke 2018, Kehl 2008)

In **Bild 6.2** ist der Temperaturverlauf in der Nordhemisphäre der letzten 11 000 Jahre gezeigt (Lüdecke 2018, Kehl 2008). Erst ab etwa 10 000 Jahren (Ende der Eiszeit) gibt es in unseren Breiten ein relativ gemäßigtes Klima und die Besiedlung von Europa begann. Die Warm- und Kaltzeiten sind durch besondere Epochen geprägt:

- ca. 3000 v. Chr.: Warmzeit, ca. 1,5 – 2 °C wärmer als heute. Hochkultur in Mesopotamien, Blütezeit der sumerischen Kultur.
- 2200 bis 2000 v. Chr.: Ausgeprägte kalte Epoche mit politischen Wirren durch Einwanderung von Norden in den Mittelmeerraum
- 1850 bis 1200 v. Chr.: Wärmeepoche mit Blütezeit Ägyptens
- 1200 bis 450 v. Chr.: Kalte Epoche 1 – 2 °C niedrigere Temperaturen als heute, mit Vorstoß indogermanischer Völker nach Süden (Dorische Einwanderung)
- 250 v. Chr. bis 350 n. Chr.: Warme, meist niederschlagsreiche Periode (etwa 1 °C wärmer als heute). Blütezeit des Römischen Reiches. Alpenpässe z. T. im Winter passierbar.
- 400 – 700 n. Chr.: Kalte regnerische Epoche. Germanische Völkerwanderung nach Süden in den Mittelmeerraum

- 900 – 1200 n. Chr.: Mittelalterliche Warmzeit, ca. 1 – 1,5 °C wärmer als heute. Besiedlung von Island und Grönland.
- 1300 – 1850 n. Chr.: „Kleine Eiszeit“ mit 1,5 – 2 °C tieferen Temperaturen als heute, mit heftigen Niederschlägen und Stürmen. Alpen-Gletscher stoßen in Täler vor, tiefwinterliche Gemälde aus heute recht milden Regionen, wie z. B. in den Niederlanden.
- ab 1850 n. Chr.: Relativ warme, klimagünstige Zeit.

Die Temperaturen der letzten 10 000 Jahre wurden über sogenannte Proxy-Daten ermittelt. Bei der Kollision von Atomen in der Atmosphäre mit hochenergetischen Teilchen der kosmischen Strahlung entstehen die sogenannten kosmischen Isotope. Hierzu zählen z. B. das Kohlenstoffisotop ^{14}C und das Berylliumisotop ^{10}Be . Diese Isotope werden in Eisschichten und Sedimenten eingelagert und stellen somit kosmochrone Archive für die Intensität der Höhenstrahlung und damit der Sonnenaktivität dar. Die Verhältnisse der Sauerstoffisotope ^{18}O zu ^{16}O und auch von Deuterium zu Wasserstoff in Eis, Tierknochen und Sedimenten, im Allgemeinen abgekürzt als $\delta^{18}\text{O}$ bzw. $\delta^2\text{H}$ stellen weitere Maßstäbe für Vergangenheitstemperaturen dar, denn sie sind temperaturabhängig.

Weitere Verfahren analysieren Baumringdicken, Korallen oder Soma-Indizes von fossilen Blattresten, letztere erlauben Rückschlüsse auf den CO_2 -Gehalt zu Lebzeiten des Blatts. Stomata sind kleine Poren im Blatt, durch welche CO_2 aufgenommen und Sauerstoff wieder abgegeben wird. Zur Altersbestimmung der Fossilfunde gibt es eine Reihe von weiteren ausgefeilten physikalischen Methoden, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Wegen der geringen Isotopenkonzentrationen sind die methodischen Ansprüche an alle einschlägigen Verfahren sehr hoch, ferner kann es zu Verfälschungen durch Ablagerungsprozesse kommen.

Eine der qualitativ besten Proxy-Temperaturkurven für den Zeitraum der letzten 2 000 Jahre wurde von den Forschern Christiansen und Ljungqvist aus 91 Einzelreihen (Eis, Baumringe, Stalagmiten, Sedimente) zusammengesetzt, **Bild 6.3**. Die Zeitauflösung der Kurve von einem Jahr ist so gut, dass sich in der Darstellung der Gesamtzeit Einzelheiten überlagern und der Grobverlauf erst mit Hilfe von Glättung besser erkennbar wird. Gut erkennbar sind das mittelalterliche Klimaoptimum sowie die kleine Eiszeit am Ende des 17. Jahrhunderts. Aus dieser Kurve geht aber auch hervor, dass zu allen Zeiten starke kurzfristige Fluktuationen die Regel waren. Es gab also zwischendurch auch im mittelalterlichen Wärmeoptimum kühlere und während der kleinen Eiszeit mildere Jahre. Das mittelalterliche Wärmeoptimum war im Übrigen durch natürliche Vorgänge gekennzeichnet, die heute angesichts der allseits herrschenden Klimafurcht helle Panik auslösen würden.

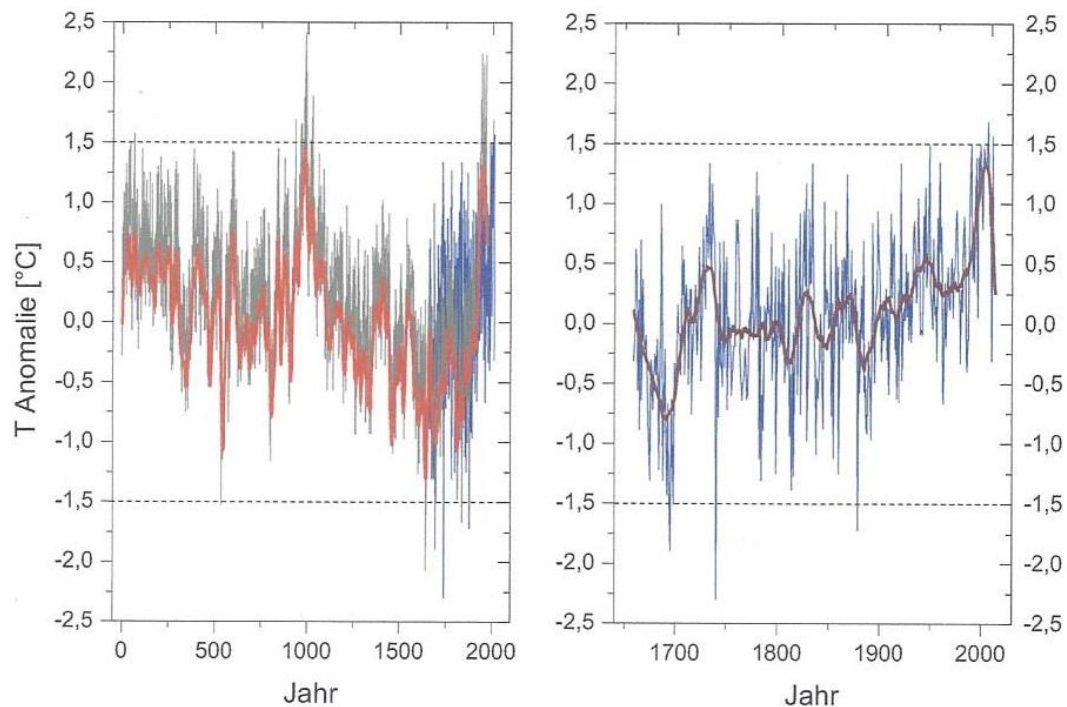


Bild 6.3: Temperaturverlauf der letzten 2000 Jahre (Nordhemisphäre). Grau: Temperaturganglinie von Christiansen/Ljungqvist, blau: mittelenglische Reihe, rot: Glättungen. Rechtes Bild Zeitzoom der Jahr 1650 bis heute, in dem die jüngste Abkühlung erkennbar wird. Die jüngste Erwärmung entspricht etwa der mittelalterlichen Zeit und ist kleiner als das römische Optimum oder gar die beiden Holozän-Maxima in Bild 7.2

So berichtet der Biologe Prof. Josef Reichholf, dass die berühmte Regensburger Steinbrücke in den Jahren 1135 – 1146 in der trockenen Donau gebaut werden konnte. Die großen deutschen Flüsse führten in den heißen Sommern kaum noch Wasser, so dass zu Köln die Einwohner in solchen Sommerzeiten den Rhein trockenen Fußes überquerten. Diese Beschreibung der Messtechnik ist teilweise wörtlich von Lüdecke übernommen.